



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO ACADÊMICO DO AGreste**  
**NÚCLEO DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DE MODELOS PROBABILÍSTICOS PARA CHUVAS  
INTENSAS NAS MESORREGIÕES DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

LUCAS ALVES MARTINS

CARUARU, 2019

**LUCAS ALVES MARTINS**

**AVALIAÇÃO DE MODELOS PROBABILÍSTICOS PARA CHUVAS  
INTENSAS NAS MESORREGIÕES DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil do Centro  
Acadêmico do Agreste - CAA, da  
Universidade Federal de Pernambuco -  
UFPE, como requisito para a disciplina  
**Projeto Final de Curso.**

Área de concentração: Recursos Hídricos  
Orientador: Prof. Dr. Arthur Paiva Coutinho.

Caruaru, 2019

Catalogação na fonte:  
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

M386a Martins, Lucas Alves.

Avaliação de modelos probabilísticos para chuvas intensas nas mesorregiões do estado de Pernambuco. / Lucas Alves Martins. – 2019.  
71 f. : 30 cm.

Orientador: Artur Paiva Coutinho.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2019.  
Inclui Referências.

1. Distribuição (Teoria da probabilidade). 2. Estimativa de parâmetros. 3. Hidrologia. I. Coutinho, Artur Paiva (Orientador). II. Título.

CDD 620 (23. ed.)  
009)

UFPE (CAA 2019-

## **LUCAS ALVES MARTINS**

### **AVALIAÇÃO DE MODELOS PROBABILÍSTICOS PARA CHUVAS INTENSAS NAS MESORREGIÕES DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para a disciplina **Projeto Final de Curso**.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato **ALUNO APROVADO COM NOTA \_\_\_\_\_**.

Caruaru, 28 de janeiro de 2019.

Banca examinadora:

Prof. Arthur Paiva Coutinho \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. Larissa Fernandes Costa \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Larissa Virgínia da Silva Ribas \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Lucas Ravellys Pyrrho de Alcântara \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Ialy Rayane de Aguiar Costa \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Elder Alpes de Vasconcelos \_\_\_\_\_  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

## **RESUMO**

Ciente da importância da água para sobrevivência e desenvolvimento do ser humano, o regime de precipitação tem se tornado objeto de diversos estudos no mundo. Com a necessidade de desenvolver um ótimo gerenciamento do recurso hídrico, estudos sobre precipitações extremas no estado de Pernambuco são de suma importância, fornecendo informações que podem minimizar os impactos sobre a população e aproveitar a água da chuva como uma fonte eficaz do recurso que se torna escassos em algumas regiões. O presente trabalho tem como objetivo avaliar os modelos probabilísticos para chuvas intensas nas mesorregiões de Pernambuco, sendo esses modelos as distribuições de probabilidade de Gumbel máximos, Log-Normal de dois parâmetros, Generalizada de Valores Extremos, Fréchet máximos, Weibull para 2 parâmetros, Weibull para 3 parâmetros, Gama, Pearson para 3 parâmetros e Log- Pearson para 3 parâmetros. Para a estimativa dos parâmetros utiliza-se do método dos momentos (MOM) e o método da máxima verossimilhança (MVS), tendo seus ajustes à distribuição empírica feita pelos testes de aderência. Para os cinco municípios estudados (Afogados da Ingazeira, Recife, Rio Formoso, Petrolina e Toritama) a distribuição Generalizada de Valores Extremos foi a que mais obteve valores satisfatórios.

**Palavras-chave:** Distribuição de Probabilidade. Estimativa de Parâmetros. Método dos momentos. Método da máxima verossimilhança. Hidrologia estatística.

## **ABSTRACT**

Aware of the importance of water for human survival and development, the precipitation regime has become the object of several studies in the world. With the need to develop a good management of the water resource, studies on extreme rainfall in the state of Pernambuco are of utmost importance, providing information that can minimize impacts on the population and harness rainwater as an effective source of the resource that becomes scarce in some regions. The present work aims to evaluate the probabilistic models for intense rains in the mesoregions of Pernambuco, being these models the maximum probability distributions of Gumbel maximum, Log-Normal of two parameters, Generalized Extreme Values, Fréchet maximums, Weibull for 2 parameters, Weibull for 3 parameters, Range, Pearson for 3 parameters and Log- Pearson for 3 parameters. For the estimation of the parameters, the method of moments (MOM) and the method of maximum likelihood (MVS) are used, with their adjustments to the empirical distribution made by the adhesion tests. For the five municipalities studied (Afogados da Ingazeira, Recife, Rio Formoso, Petrolina and Toritama) the Generalized Distribution of Extreme Values was the one that obtained the most satisfactory values.

Keywords: Probability Distribution. Estimation of Parameters. Method of moments. Maximum Likelihood Method. Statistical hydrology.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 4.1. Localização dos Municípios em estudo no estado de Pernambuco e em suas respectivas mesorregiões.....	19
Figura 4.2. Localização dos postos pluviométricos utilizados nas mesorregiões do estado de Pernambuco .....	20
Figura 5.1. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados(MOM - Afogados da Ingazeira).....	30
Figura 5.2 Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados(MVS - Afogados da Ingazeira).....	31
Figura 5.3. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MOM-Recife). ....	35
Figura 5.4. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MVS - Recife).....	35
Figura 5.5. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MOM - Rio Formoso). .....	39
Figura 5.6. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MVS - Rio Formoso). .....	39
Figura 5.7. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MOM- Petrolina) ...	43
Figura 5.8. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MVS- Petrolina)....	44
Figura 5.9. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MOM- Toritama) ...	48
Figura 5.10. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MVS-Toritama) .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1	Parâmetros estimados pelo método dos momentos (Afogados da Ingazeira) .....	29
Tabela 5.2	Parâmetros estimados pelo método da máxima verossimilhança (Afogados da Ingazeira).....	29
Tabela 5.3	Resultado dos testes de aderência (Afogados da Ingazeira - método dos momentos).....	31
Tabela 5.4	Resultado dos testes de aderência (Afogados da Ingazeira – método da máxima verossimilhança).....	32
Tabela 5.5	Parâmetros estimados pelo método dos momentos (Recife) .....	33
Tabela 5.6	Parâmetros estimados pelo método da máxima verossimilhança (Recife).....	34
Tabela 5.7	Resultado dos testes de aderência (Recife - método dos momentos) .....	36
Tabela 5.8	Resultado dos testes de aderência (Recife - Método da Máxima verossimilhança).....	36
Tabela 5.9	Parâmetros estimados pelo método dos momentos (Rio Formoso).....	38
Tabela 5.10	Parâmetros estimados pelo método da máxima verossimilhança (Rio Formoso) .....	38
Tabela 5.11	Resultado dos testes de aderência (Rio Formoso - método dos momentos).....	40
Tabela 5.12	Resultado dos testes de aderência (Rio Formoso – método da máxima verossimilhança).....	40
Tabela 5.13	Parâmetros estimados pelo método dos momentos (Petrolina) .....	42
Tabela 5.14	Parâmetros estimados pelo método da máxima verossimilhança (Petrolina).....	42
Tabela 5.15	Resultado dos testes de aderência (Petrolina-método dos momentos) .....	44
Tabela 5.16	Resultado dos testes de aderência (Petrolina-método da máxima verossimilhança).....	45
Tabela 5.17	Parâmetros estimados pelo método dos momentos (Toritama) .....	47
Tabela 5.18	Parâmetros estimados pelo método da máxima verossimilhança (Toritama) .....	47
Tabela 5.19	Resultado dos testes de aderência (Toritama-método dos momentos) .....	49
Tabela 5.20	Resultado dos testes de aderência (Toritama-método da máxima verossimilhança).....	49

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 5.1. Melhores resultados de aderência do maior para o menor (Afogados da Ingazeira).....	33
Quadro 5.2. Melhores resultados de aderência do maior para o menor (Recife). .....	37
Quadro 5.3. Melhores resultados de aderência do maior para o menor (Rio Formoso).....	41
Quadro 5.4. Melhores resultados de aderência do maior para o menor (Petrolina). .....	46
Quadro 5.5. Melhores resultados de aderência do maior para o menor (Toritama). .....	50

## **LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS**

ANA – Agência Nacional de águas

APAC – Agencia Pernambucana de águas e Climas

GUM – Gumbel Máximos

LN – Log-Normal de dois Parâmetros

GEV - Generalizada de Valores Extremos

FRE - Fréchet Máximos

W2P - Weibull para 2 Parâmetros

W3P - Weibull para 3 Parâmetros

GAM - Gama

PER - Pearson para 3 parâmetros

LP3 - Log- Pearson para 3 parâmetros

MOM – Método dos Momentos

MVS – Método da Máxima Verossimilhança

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b><i>INTRODUÇÃO</i></b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b><i>OBJETIVOS</i></b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b><i>REFERENCIAL TEÓRICO</i></b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE</b>	<b>15</b>
<b>3.2</b>	<b>ESTIMATIVA DE PARÂMETROS</b>	<b>17</b>
<b>3.3</b>	<b>TESTES DE ADERÊNCIA</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b><i>METODOLOGIA</i></b>	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>ÁREAS DE ESTUDO</b>	<b>19</b>
<b>4.2</b>	<b>OBTENÇÃO DOS DADOS</b>	<b>20</b>
<b>4.3</b>	<b>DISTRIBUIÇÕES TEÓRICAS DE PROBABILIDADE</b>	<b>21</b>
4.3.1	Distribuição de Gumbel.	21
4.3.2	Distribuição Log Normal de 2 Parâmetros.	22
4.3.3	Distribuição Generalizada de Valores Extremos	23
4.3.4	Distribuição de Fréchet (máximos)	23
4.3.5	Distribuição de Weibull para 2 parâmetros	24
4.3.6	Distribuição de Weibull para 3 parâmetros	24
4.3.7	Distribuição Gama	25
4.3.8	Distribuição Pearson para três parâmetros	26
4.3.9	Distribuição Log- Pearson para 3 parâmetros	26
<b>4.4</b>	<b>TESTE DE ADERÊNCIA</b>	<b>27</b>
4.4.1	Teste de Anderson Darlin	27
4.4.2	Teste de Kolmogorov-sminov	27
4.4.3	Teste do Qui-Quadrado de Pearson	28
4.4.4	Coeficiente de determinação	28
<b>5</b>	<b><i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i></b>	<b>29</b>
<b>5.1</b>	<b>AFOGADOS DA INGAZEIRA</b>	<b>29</b>
<b>5.2</b>	<b>RECIFE</b>	<b>33</b>
<b>5.3</b>	<b>RIO FORMOSO</b>	<b>37</b>
<b>5.4</b>	<b>PETROLINA</b>	<b>42</b>

<b>5.5</b>	<b>TORITAMA .....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>53</b>
	<b>APÊNDICE A – DADOS DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS .....</b>	<b>56</b>
	<b>APÊNDICE B – DISTRIBUIÇÕES DOS MODELOS PROBABILÍSTICOS....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A precipitação é de fundamental importância para as diferentes formas de vida, a maneira como se explora o fenômeno é um fator de extrema relevância para o desenvolvimento de uma região. A precipitação pode ocasionar problemas socioambientais, como também é essencial para atividades socioeconômicas, ela tem o poder de alterar a paisagem rapidamente e, ao mesmo tempo, pode servir como fonte de água para a população se bem gerenciada. A caracterização e compreensão desse evento são de notória relevância tendo em vista que de acordo com o local, suas gêneses e dinamizações são distintas (COTTA et al. 2016).

Gerenciamento de recursos hídricos, proteção aos riscos de inundação, modelagem da erosão, estudos agrometeorológicos, otimização da produção agropecuária, estudos climáticos de fenômenos atmosféricos, mudanças climáticas são exemplos das atividades que podem ser realizadas pelo homem, ligadas a precipitação (DOS SANTOS et al. 2018).

Estudos sobre precipitações extremas de uma região são de suma importância, pois, fornecem informações para diagnóstico de impacto, frequência e previsões proporcionando conhecimentos, que podem minimizar os impactos sobre a população local (COTTA et al. 2016). Municípios nas cinco mesorregiões do estado de Pernambuco têm sido atingidos por precipitações extremas ao longo dos anos, mesmo não sendo frequente em alguns municípios.

A agricultura familiar é uma das principais fontes de renda dos municípios do interior do estado, localizados em mesorregiões onde as chuvas são mal distribuídas ao longo do tempo, tornando-se também necessário para esses municípios os estudos sobre precipitações extremas. Segundo Silva et al. (2012), no Agreste do Estado de Pernambuco é comum áreas destinadas à agricultura, nas quais possuem condições desfavoráveis de drenagem natural e culturas que dependem das condições climáticas, fundamentalmente das chuvas, da sua quantidade, intensidade e distribuição.

De acordo com Caldeira et al. (2015), para a modelagem de chuvas intensas são utilizados dados pluviográficos ou pluviométricos, sendo que, existe uma dificuldade de se encontrar dados pluviográficos no Brasil. Como existe uma disponibilidade maior de dados pluviométricos, a utilização de metodologias alternativas utilizando informações pluviométricas, ganha importância (COUTINHO et al., 2013).

No caso de chuvas máximas diárias anuais, que pode ser considerada como uma variável aleatória pode-se aplicar os modelos de distribuição de probabilidade de Gumbel máximos, Log-Normal de dois parâmetros, Generalizada de Valores Extremos, Fréchet

máximos, Weibull para 2 parâmetros, Weibull para 3 parâmetros, Gama, Pearson para 3 parâmetros e Log- Pearson para 3 parâmetros (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Diante do apresentado torna-se justificável a análise, em municípios do estado de Pernambuco, de distribuições de variáveis aleatórias que melhor se ajustem à modelagem de eventos de precipitação máxima diária anual.

## 2 OBJETIVOS

Determinar a distribuição de variáveis aleatórias que melhor se ajusta para modelagem de eventos de precipitação máxima diária anual, em cada mesorregião do estado de Pernambuco.

### 2.1 *Objetivos específicos:*

- Determinar os parâmetros dos modelos de distribuição de probabilidade mais utilizados para eventos de precipitação extrema no estado de Pernambuco;
- Avaliar a distribuição de melhor ajuste aos dados empíricos por meio de testes de aderência;
- Determinar o modelo mais indicado para cada mesorregião do estado de Pernambuco.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Função de Distribuição de Probabilidade**

Segundo Naghettini e Portela (2011), as funções de distribuição de probabilidade são funções que descrevem o comportamento de uma variável aleatória, essa que por sua vez é definida por Naghettini e Pinto (2007) como uma função X que associa um valor numérico a cada resultado de um experimento.

Ainda de acordo com Naghettini e Pinto (2007) as variáveis aleatórias podem assumir valores numéricos inteiros e estar associada a um espaço amostral finito, sendo classificada como variável discreta. Elas também podem assumir qualquer valor real, sendo classificada como variável contínua. Para caracterizar as probabilidades associadas aos possíveis valores de variáveis aleatórias discretas X, se utiliza das funções de massa de probabilidade (FMP) representada por  $p_x(x)$ . Quando se trata de variável contínua a função equivalente à FMP é chamada de função densidade de probabilidade (FDP), sendo ela uma função não negativa geralmente denotada por  $f_x(x)$ .

As somas de  $p_x(x)$  de uma FMP relativas aos sucessivos valores de x é chamada de função acumulada de probabilidade (FAP) e é denotada por  $P(x)$ , a FAP indica a probabilidade da variável X discreta ser menor ou igual ao argumento x. Tratando-se de variáveis contínuas, a correspondente à função acumulada de probabilidade é representada por  $F_x(x)$  (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Guimarães (2015) destaca que existem diversas distribuições teóricas, que servem como modelo probabilístico de fenômenos aleatórios. Como as variáveis hidrológicas são aleatórias, podem ser representadas por algum tipo de distribuição teórica. Naghettini e Portela (2011) afirmam que um modelo de distribuição de probabilidades é uma forma matemática abstrata capaz de representar as variações possíveis de uma variável aleatória. Sendo também uma forma não paramétrica, um modelo matemático prescrito por parâmetros, no qual, os valores numéricos os definem e o particularizam para uma amostra de variável aleatória.

Com variáveis aleatórias discretas têm-se como principais distribuições que encontram aplicação na hidrologia às distribuições Binomial e geométrica. Para variáveis contínuas pode-se destacar um conjunto de distribuições que são utilizados na metodologia do presente trabalho, são elas as distribuições de probabilidade de Gumbel máximos, Log-Normal de dois parâmetros, Generalizada de Valores Extremos, Fréchet máximos, Weibull para 2 parâmetros,

Weibull para 3 parâmetros, Gama, Pearson para 3 parâmetros e Log-Pearson para 3 parâmetros (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Caldeira et al. (2015) utilizaram às distribuições de probabilidade Log-Normal a dois parâmetros, Log-Normal a três parâmetros e Gumbel para ajustar séries de precipitações máximas diárias anual, verificando que as distribuições se mostraram adequadas para modelagem probabilística de eventos extremos de precipitação no estado do Rio Grande do Sul. Os mesmos concluíram que para Rio Grande do Sul a distribuição Log-Normal a três parâmetros foi a que melhor se ajustou.

Em sua pesquisa Cotta et al. (2016) apresentaram uma modelagem estatística das precipitações máximas mensais e precipitação acumulada mensal para o município de Vitória-ES no período de janeiro de 1993 a dezembro de 2012. Na qual as distribuições de valores extremos de Gumbel foram ajustadas para os valores de máximos mensais de precipitação.

Franco et al. (2014) analisaram a precisão dos ajustes das distribuições de probabilidade de Gumbel, Gama e Generalizada de Valores Extremos para série histórica de dados de chuvas extremas na Bacia Hidrográfica do rio Verde. Concluindo que a distribuição de probabilidades GEV utilizando o método dos ML para estimativa dos parâmetros e a distribuição Gumbel pelo método MV, são as mais adequadas para estudos de probabilidade de precipitação máxima diária anual.

Visando a utilização de relações que permitam a estimativa da chuva crítica de projeto, com base em dados pluviométricos De Oliveira et al. (2018) empregaram a distribuição de Gumbel em seu estudo de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás.

Para analisar a distribuição de quantidade diária de precipitação e do número de dias com chuva e determinar a variação da probabilidade de ocorrência de precipitação diária na cidade de Santa Maria Rio Grande do Sul, Da Silva et al. (2007) verificaram as funções de distribuição de gama, Weibull com três parâmetros, reduzidos para dois, normal, log-normal e exponencial, chegando à conclusão que as funções que melhor descreveram a distribuição de probabilidade para Santa Maria com os dados utilizados foram gama e Weibull.

Sansigolo (2008) ajustou as distribuições de probabilidade incluindo a Normal, Gumbel, Fréchet, Weibull, LogNormal e Pearson 3 aos extremos anuais de precipitação máxima diária para Piracicaba em São Paulo. Sendo que a distribuição que melhor se ajustou aos extremos de precipitação máxima diária foi à distribuição de Gumbel.

Com o objetivo de estabelecer a relação entre intensidade, duração e frequência da precipitação pluvial para 10 estações pluviográficas em Tocantins, Silva et al. (2003) ajustaram modelos teóricos de distribuição de probabilidade aos dados de chuvas intensas, ele

testou os modelos probabilísticos de Gumbel, Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson e LogPearson III.

### **3.2 Estimativa de parâmetros**

A partir de uma amostra finita de observações de uma variável aleatória como uma amostra de precipitações diárias máximas anuais qualquer se deve proceder à estimativa dos valores numéricos dos parâmetros que descrevam o modelo de distribuição de probabilidades da população donde provém a amostra (NAGHETTINI; PORTELA, 2011). Para isso necessita-se dos modelos probabilísticos denominados de inferência estatística. Os métodos de inferência estatística são métodos que fazem a associação entre realidade física e a concepção abstrata de um modelo probabilístico. (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

As estimativas das características populacionais como, média, variância, coeficiente de assimetria e as inferências sobre a distribuição de probabilidade e sobre os valores dos seus parâmetros são obtidos dos valores observados, os quais representam os fatos concretos, pois a população é um termo conceitual que remete para um conjunto infinito de elementos possivelmente observáveis. Já a amostra é constituída por N observações reais que se supõem terem sido aleatoriamente sorteadas, uma a uma, de modo independente entre si, de uma única população, tendo assim um comportamento probabilístico dado por certa densidade de probabilidades  $f(x)$ . (NAGHETTINI; PORTELA, 2011).

Naghettini e Pinto (2007) destacam entre outros alguns métodos de estimação de parâmetros: (i) método dos momentos; (ii) o método da máxima verossimilhança; (iii) o método dos momentos-L; (iv) o método da máxima entropia; (v) o método dos mínimos quadrados; (vi) o método generalizado dos momentos; e (vii) o método dos momentos mistos. Sendo que os mais observados na literatura são os métodos dos momentos (MOM), de máxima verossimilhança (MVS) e dos momentos-L (MML).

Alves et al. (2013), Cotta et al. (2016), Sansigolo (2008), Dos Santos et al. (2018), Rodrigues et al. (2013), utilizaram máxima verossimilhança para estimar os parâmetros, De Oliveira et al. (2008) estimaram os parâmetros pelo método dos momentos. Mello e Silva (2005) além do método da máxima verossimilhança utilizaram também o método dos momentos e Franco et al. (2014) para a estimação dos parâmetros de suas distribuições utilizou os três mais comum, os métodos dos momentos, de máxima verossimilhança e dos momentos-L.

### **3.3 Testes de aderência**

Guimarães (2015) demonstra que mesmo as distribuições representem as variáveis hidrológicas, não significa que elas sigam perfeitamente essas distribuições, o ajuste perfeito é impossível. Assim, dispondo-se de variáveis hidrológicas tem que se determinar a distribuição teórica que melhor se ajuste a distribuição empírica. O ajustamento das distribuições teóricas às distribuições empíricas de variável hidrológica é efetuado através de testes de hipóteses.

Naghettini e Pinto (2007) destacam como uma classe importante de testes de hipóteses referente à verificação da forma de uma distribuição de probabilidade, a classe constituídas pelos testes de aderência, que são aqueles que verificam a eventual adequação entre as probabilidades ou frequências, como calculadas por um modelo distributivo qualquer e as correspondentes frequências com que, determinados valores amostrais são observados.

Os testes mais conhecidos são os testes de aderência ou de ajustamento do Qui-Quadrado, de Kolmogorov-Smirnov, de Anderson-Darling e de Filliben. Naghettini e Portela (2011) apresentam algumas deficiências para esses testes mesmo proporcionando uma avaliação quantitativa do grau de aderência, sendo elas: não são objetivamente decisivas no que se diz respeito à qualidade do ajustamento das caudas superiores das distribuições de valores máximos, onde, em geral existem poucos pontos amostrais; e não foram concebidos para comparar, em termos relativos e por meio das suas estatísticas. Para os testes de aderência são considerados valores satisfatórios aqueles com significância probabilística de 5%.

Caldeira et al. (2015), Sansigolo (2008) e Da Silva et al. (2007) utilizaram os testes de aderência do Qui-Quadrado e de Kolmogorov-Smirnov para testar a adequação das distribuições aplicadas em seus estudos. Cotta et al. (2016), De Oliveira et al. (2018) e Silva et al. (2003) optaram pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. A avaliação da melhor distribuição utilizada por Alves et al. (2013) foi baseada nos testes de aderência Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov. Franco et al. (2014) avaliou as distribuições por todos os testes já mencionados nesse trabalho, o de Qui-Quadrado, de Kolmogorov-Smirnov, de Anderson-Darling e de Filliben.

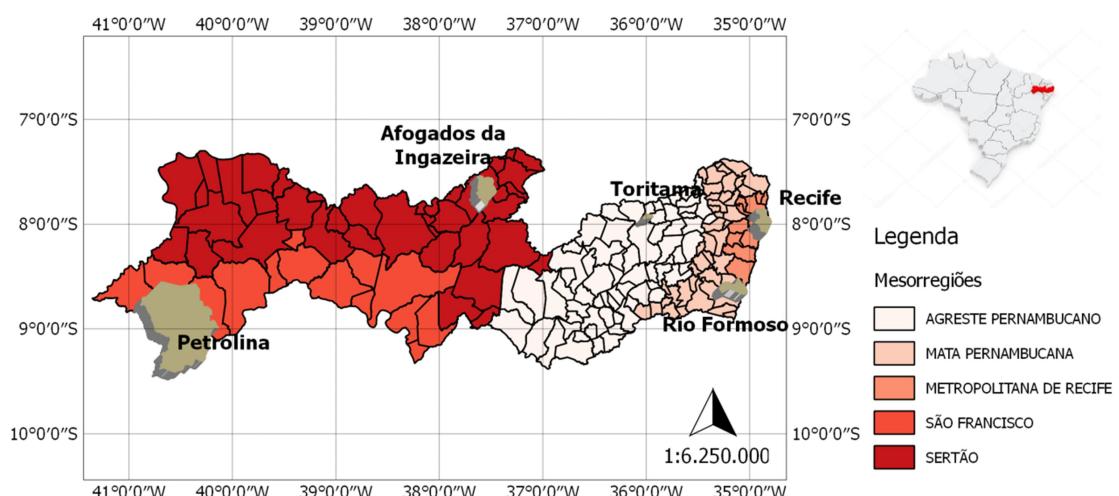
Rodrigues et al. (2013) avaliaram o potencial das distribuições gama, log-normal e Weibull na modelagem de precipitação mensal na cidade de Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul e verificou via teste de Kolmogorov- Sminorv a aderência das distribuições às condições pluviométricas.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Áreas de Estudo

O estudo foi realizado em cinco municípios das diferentes mesorregiões do estado de Pernambuco, sendo eles: Afogados da Ingazeira (Mesorregião do Sertão Pernambucano), Recife (Mesorregião Metropolitana do Recife), Rio Formoso (Mesorregião da Mata Pernambucana), Petrolina (Mesorregião do São Francisco) e Toritama (Mesorregião do Agreste Pernambucano). Na Figura 4.1 é mostrada a localização de cada município no estado de Pernambuco, assim como suas mesorregiões.

*Figura 4.1. Localização dos Municípios em estudo no estado de Pernambuco e em suas respectivas mesorregiões*



O município de Afogados da Ingazeira está localizado a  $7^{\circ} 45' 3''$  a sul e  $37^{\circ} 38' 20''$  à oeste. É um município de clima AS (clima tropical com estação seca de verão) de acordo com a classificação Köppen, localizado na mesorregião do Sertão Pernambucano e está a 386 km da capital Pernambucana. Esse município tem a maior parte da precipitação concentrada entre os meses de janeiro a maio. Afogados da Ingazeira é um dos municípios mais prósperos da microrregião do Pajeú na área de serviços comercio e Lazer, tem como base de sua economia a pecuária de corte e pequena agricultura, destacaram-se também pela avicultura.

A capital pernambucana está localizada a  $08^{\circ} 03' 14''$  a sul e  $34^{\circ} 52' 51''$  oeste. A cidade de Recife tem um clima AS (clima tropical com estação seca de verão) de acordo com a classificação Köppen e chuvas concentradas entre abril e julho. Esse município, localizado na

mesorregião metropolitana do recife possui problemas com alagamentos, tendo como destaque a enchente de 1975 que ficou marcada na história da capital.

Rio Formoso é uma cidade Pernambucana localizada a 88 km da capital fica a  $08^{\circ} 39' 50''$  a sul e a  $35^{\circ} 09' 32''$  oeste na mesorregião da Zona da Mata Pernambucana, as chuvas se concentram mais nos meses entre maio e junho. A classificação do clima é Am (clima tropical monçônico) de acordo com a classificação Köppen.

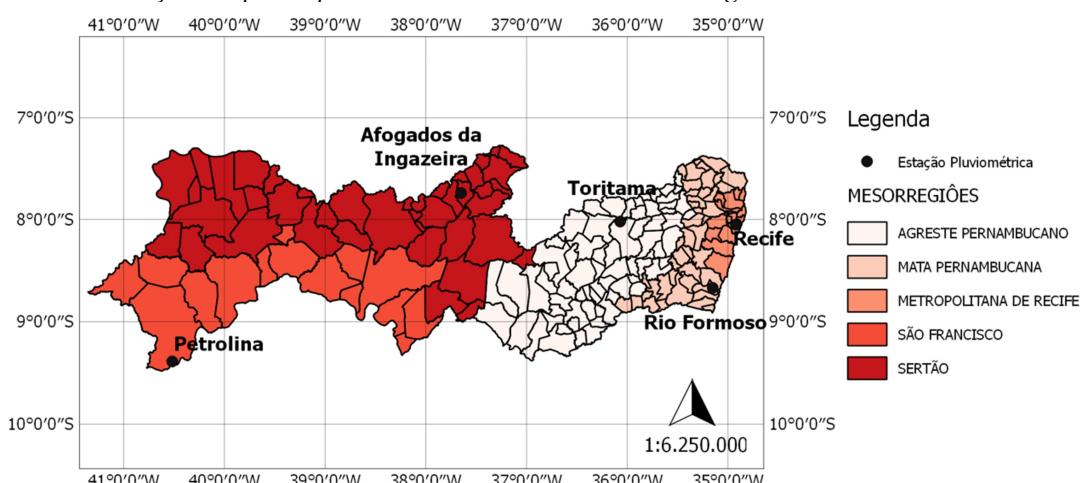
Petrolina situa-se na Mesorregião do São Francisco Pernambucano, localizada a  $9^{\circ} 23' 34''$  S  $40^{\circ} 30' 28''$  O. O clima desse município é classificado como BSh (Clima quente de estope) segundo a classificação Köppen. O município de Petrolina se destaca por sua agricultura irrigada, onde se tem um dos mais desenvolvidos polos de irrigação do Vale do São Francisco, a cidade é uma grande produtora e exportadora de frutas e tem um dos maiores centros vinícola do país.

Toritama localiza-se a uma latitude  $8^{\circ} 0' 24''$  sul e a uma longitude  $36^{\circ} 3' 24''$  oeste, encontra-se na Mesorregião do Agreste Pernambucano, o clima é classificado como BSh (clima das estepes quentes) segundo a classificação Köppen, com chuvas no outono e inverno. A Cidade é integrante do polo de confecção do qual é a principal fonte de renda do município.

## 4.2 Obtenção dos Dados

Os dados pluviométricos dos postos foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA) e da Agência Pernambucana de Águas e Climas (Apac). Para cada município foi selecionado um posto pluviométrico, o qual irá representar a mesorregião em que o município esta inserido. Na Figura 4.2 estão apresentadas às localizações dos postos pluviométricos escolhidos.

*Figura 4.2. Localização dos postos pluviométricos utilizados nas mesorregiões do estado de Pernambuco*



Com os dados, foram selecionados os valores das precipitações diárias máximas anuais. As análises contêm dados que variam de: 1914 a 2017 para o posto pluviométrico 737023 de Afogados da Ingazeira; 1962 a 2017 para o posto 834007 de Recife; 1934 a 2017 para o posto 835044 de Rio Formoso; 1963 a 2017 para o posto 70 de Toritama.

Os dados de precipitação diária foram organizados em ordem decrescente e foi determinada a função empírica pela fórmula de Weibull (Equação 1) de acordo com Naghettini e Pinto (2007).

$$F_{\text{emp}} = \frac{i}{n + 1} \quad (1)$$

Em que:  $F_{\text{emp}}$  é a frequência empírica excedente;  $n$  é o tamanho da série histórica; e  $i$  é a posição ocupada pelo dado na série.

#### **4.3 Distribuições Teóricas de Probabilidade**

As análises de precipitações foram ajustadas às distribuições de probabilidade de Gumbel máximos, Log-Normal de dois parâmetros, Generalizada de Valores Extremos, Fréchet máximos, Weibull para 2 parâmetros, Weibull para 3 parâmetros, Gama, Pearson para 3 parâmetros e Log-Pearson para 3 parâmetros.

##### 4.3.1 Distribuição de Gumbel.

A função Densidade de Probabilidade da distribuição de Gumbel é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[ -\frac{x - \beta}{\alpha} - \exp \left[ -\frac{x - \beta}{\alpha} \right] \right] \quad (2)$$

Na qual  $x$  é a variável aleatória contínua, que corresponde à precipitação diária máxima anual,  $\alpha$  é o parâmetro de escala e  $\beta$  o parâmetro de posição.

A Função Densidade de Probabilidade Acumulada Excedente da distribuição de Gumbel é dada por:

$$F_{\text{exc}}(x) = 1 - \exp \left[ -\exp \left[ -\frac{x - \beta}{\alpha} \right] \right] \quad (3)$$

Na qual  $x$  é a variável aleatória contínua, que corresponde à precipitação diária máxima anual,  $\alpha$  é o parâmetro de escala e  $\beta$  o parâmetro de posição. Sendo  $F_{\text{exc}}(x)$  a probabilidade de eventos que ultrapassem o valor  $x$  em questão ( $P[X \geq x]$ ).

Para estimar os parâmetros de escala e posição ( $\alpha$  e  $\beta$ ) utilizou-se o Método dos Momentos (MOM) e o Método da Máxima Verossimilhança. O MOM consiste em igualar os momentos amostrais aos momentos populacionais, onde os valores de média ( $E[x]$ ) e

variância ( $\sigma^2$ ) são os mesmos. Diante disso, têm-se os estimadores de  $\alpha$  e  $\beta$  calculados da seguinte forma:

$$E[x] = \beta + 0.5772\alpha \quad (4)$$

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2 * \alpha^2}{6} \quad (5)$$

Para o método da máxima verossimilhança em termos formais, a função de é dada por:

$$L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) = \prod_{i=1}^N f_y(y_i, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k) \quad (6)$$

Sendo essa função uma função dos parâmetros  $\theta_j$ . Os valores  $\theta_j$  que maximizam essa função são aqueles que também maximizam a probabilidade de que a Amostra Aleatória Simples (AAS) específica, constituída por  $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_N$ , tenha sido sorteada da população, tal como definida pela densidade prescrita. A busca da condição de máximo para a função de verossimilhança resulta no seguinte sistema de k equações e k incógnitas:

$$\frac{\partial L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)}{\partial \theta_j} = 0; j = 1, 2, \dots, k \quad (7)$$

#### 4.3.2 Distribuição Log Normal de 2 Parâmetros.

A função Densidade de Probabilidade da distribuição Log Normal de dois Parâmetros é dada por:

$$F[x] = \frac{1}{x * \sigma_{ln} * \sqrt{2 * \pi}} * \text{Exp}\left[-0.5 * \left(\frac{\text{Log}[x] - \mu_{ln}}{\sigma_{ln}}\right)\right] \quad (8)$$

Sendo  $\mu_{ln}$  o parâmetro relacionado ao primeiro momento amostral e  $\sigma_{ln}$  o parâmetro relacionado ao segundo momento amostral.

A Função Densidade de Probabilidade Acumulada Excedente da distribuição Log Normal de dois Parâmetros é dada por:

$$F_{exc}[x] = \int_x^{+\infty} \frac{1}{x * \sigma_{ln} * \sqrt{2 * \pi}} * \text{Exp}\left[-0.5 * \left(\frac{\text{Log}[x] - \mu_{ln}}{\sigma_{ln}}\right)\right] dx \quad (9)$$

Usando o método dos momentos, estimam-se os parâmetros de primeiro e segundo momento amostral, sendo:

$$E[x] = \text{Exp} \left[ \mu_{ln} + \frac{\sigma_{ln}^2}{2} \right] \quad (10)$$

$$\sigma^2 = E[x]^2 * (\text{Exp}[\sigma_{ln}^2] - 1) \quad (11)$$

Para o método da máxima verossimilhança utiliza-se da equação (6) e (7).

#### 4.3.3 Distribuição Generalizada de Valores Extremos

A função Densidade de Probabilidade da distribuição Generalizada de Valores Extremos é dada por:

$$F[x] = \frac{1}{\alpha} \left[ 1 - \kappa * \left( \frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{\kappa-1}} [\text{Exp}[-\left[ 1 - \kappa * \left( \frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{\kappa}}]] \quad (12)$$

Na qual  $\kappa$  é o parâmetro de forma,  $\alpha$  é o parâmetro de escala e  $\beta$  o parâmetro de posição.

A Função Densidade de Probabilidade Acumulada Excedente da distribuição Generalizada de Valores Extremos é dada por:

$$F_{exc}[x] = 1 - \text{Exp} \left[ -\left( 1 - \kappa * \left( \frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right)^{1/\kappa} \right] \quad (13)$$

Usando o método dos momentos, estimam-se os parâmetros de forma, escala e posição, sendo:

$$E[x] = \beta + \frac{\alpha}{\kappa} * (1 - \Gamma[1 + \kappa]) \quad (14)$$

$$\sigma^2 = \frac{\alpha}{\kappa} * (\Gamma[1 + 2 * \kappa] - \Gamma^2[1 + \kappa]) \quad (15)$$

Tendo o coeficiente de assimetria dado por:

$$\gamma = \frac{\kappa}{|\kappa|} \frac{-\Gamma[1 + 3\kappa] + 3\Gamma[1 + \kappa]\Gamma[1 + 2\kappa] - 2\Gamma^2[1 + \kappa]}{(\Gamma[1 + 2 * \kappa] - \Gamma^2[1 + \kappa])^{3/2}} \quad (16)$$

Para o método da máxima verossimilhança utiliza-se da equação (6) e (7).

#### 4.3.4 Distribuição de Fréchet (máximos)

A função Densidade de Probabilidade da distribuição de Fréchet máximo é dada por:

$$F[x] = \frac{\theta}{y_0} * \left(\frac{y_0}{x}\right)^{\theta+1} \text{Exp}\left[-\left(\frac{y_0}{x}\right)^\theta\right] \quad (17)$$

Sendo:  $y_0$  o parâmetro de escala e  $\theta$  o parâmetro de forma.

A Função Densidade de Probabilidade Acumulada Excedente da distribuição de Fréchet é dada por:

$$F_{exc}[x] = 1 - \text{Exp}\left[-\left(\frac{y_0}{x}\right)^\theta\right] \quad (18)$$

Os parâmetros de escala e forma são estimados utilizando MOM, onde:

$$E[x] = y_0 \Gamma\left[1 - \frac{1}{\theta}\right] \quad (19)$$

$$\sigma^2 = y_0^2 \left( \Gamma\left[1 - \frac{2}{\theta}\right] - \Gamma^2\left[1 + \frac{1}{\theta}\right] \right) \quad (20)$$

Para o método da máxima verossimilhança utiliza-se da equação (6) e (7).

#### 4.3.5 Distribuição de Weibull para 2 parâmetros.

A função Densidade de Probabilidade da distribuição Weibull para 2 parâmetros é dada por:

$$F[x] = \frac{\alpha}{\beta} * \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} \text{Exp}\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (21)$$

Na qual  $\alpha$  é o parâmetro de forma e  $\beta$  o parâmetro de escala.

A Função Densidade de Probabilidade Acumulada Excedente da distribuição de Weibull para 2 parâmetros é dada por:

$$F_{exc}[x] = 1 - \left(1 - \text{Exp}\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right]\right) \quad (22)$$

Utilizando MOM estimam-se os valores dos parâmetros de forma e escala, onde:

$$E[x] = \beta \Gamma\left[1 + \frac{1}{\alpha}\right] \quad (23)$$

$$\sigma^2 = \beta^2 \left( \Gamma\left[1 + \frac{1}{\alpha}\right] - \Gamma^2\left[1 + \frac{1}{\alpha}\right] \right) \quad (24)$$

Para o método da máxima verossimilhança utiliza-se da equação (6) e (7).

#### 4.3.6 Distribuição de Weibull para 3 parâmetros.

A função Densidade de Probabilidade da distribuição Weibull para 3 parâmetros é dada por:

$$F[x] = \alpha * \left( \frac{x - \xi}{\beta - \xi} \right)^{\alpha-1} \text{Exp} \left[ - \left( \frac{x - \xi}{\beta - \xi} \right)^\alpha \right] \quad (25)$$

Sendo  $\alpha$  o parâmetro de forma,  $\beta$  o parâmetro de escala e  $\xi$  é parâmetro de ajuste a três parâmetros.

A Função Densidade de Probabilidade Acumulada Excedente da distribuição de Weibull para 2 parâmetros é dada por:

$$F_{exc}[x] = 1 - \left( 1 - \text{Exp} \left[ - \left( \frac{x - \xi}{\beta - \xi} \right)^\alpha \right] \right) \quad (26)$$

Com o método dos momentos estimam-se os parâmetros de forma, escala e ajuste a três parâmetros, sendo:

$$E[x] = \xi + (\beta - \xi) \Gamma \left[ 1 + \frac{1}{\alpha} \right] \quad (27)$$

$$\sigma^2 = (\beta - \xi)^2 \left( \Gamma \left[ 1 + \frac{1}{\alpha} \right] - \Gamma^2 \left[ 1 + \frac{1}{\alpha} \right] \right) \quad (28)$$

Tendo o coeficiente de assimetria dado por:

$$\gamma = \frac{-\Gamma \left[ 1 + \frac{3}{\alpha} \right] + 3\Gamma \left[ 1 + \frac{2}{\alpha} \right] \Gamma \left[ 1 + \frac{1}{\alpha} \right] - 2 \Gamma^2 \left[ 1 + \frac{1}{\alpha} \right]}{\left( \Gamma \left[ 1 + \frac{2}{\alpha} \right] - \Gamma^2 \left[ 1 + \frac{1}{\alpha} \right] \right)^{3/2}} \quad (29)$$

Para o método da máxima verossimilhança utiliza-se da equação (6) e (7).

#### 4.3.7 Distribuição Gama

A função Densidade de Probabilidade da distribuição Gama é dada por:

$$F[x] = \frac{\left( \frac{x}{\theta} \right)^{\eta-1} * \text{Exp} \left[ - \left( \frac{x}{\theta} \right) \right]}{\theta * \Gamma[\eta]} \quad (30)$$

Na qual  $\theta$  é o parâmetro de escala e  $\eta$  o parâmetro de forma.

A função Densidade de Probabilidade Acumulada Excedente da distribuição Gama é dada por:

$$F_{exc}[x] = \int_x^{+\infty} \frac{\left( \frac{x}{\theta} \right)^{\eta-1} * \text{Exp} \left[ - \left( \frac{x}{\theta} \right) \right]}{\theta * \Gamma[\eta]} dx \quad (31)$$

Estimando-se os parâmetros de escala e forma pelo MOM, tem-se:

$$E[x] = \eta\theta \quad (32)$$

$$\sigma^2 = \eta\theta^2 \quad (33)$$

Para o método da máxima verossimilhança utiliza-se da equação (6) e (7).

#### 4.3.8 Distribuição Pearson para três parâmetros

A função Densidade de Probabilidade da distribuição Pearson para três parâmetros é dada por:

$$F[x] = \frac{\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} * \text{Exp}\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)\right]}{\alpha * \Gamma[\beta]} \quad (34)$$

Sendo  $\alpha$  o parâmetro de escala,  $\beta$  parâmetro de forma e  $\gamma$  o coeficiente de assimetria.

A função Densidade de Probabilidade Acumulada Excedente da distribuição Pearson para três parâmetros é dada por:

$$F_{exc}[x] = \int_x^{+\infty} \frac{\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} * \text{Exp}\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)\right]}{\alpha * \Gamma[\beta]} dx \quad (35)$$

Os parâmetros de escala e forma são estimados pelo MOM, sendo:

$$E[x] = \alpha\beta + \gamma \quad (36)$$

$$\sigma^2 = \alpha^2\beta \quad (37)$$

O coeficiente de assimetria é dado por:

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta}} \quad (38)$$

Para o método da máxima verossimilhança utiliza-se da equação (6) e (7).

#### 4.3.9 Distribuição Log- Pearson para 3 parâmetros.

A função Densidade de Probabilidade da distribuição Log Pearson para três parâmetros é dada por:

$$F[x] = \frac{\left(\frac{LN[x]-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} * \text{Exp}\left[-\left(\frac{LN[x]-\gamma}{\alpha}\right)\right]}{\alpha * \Gamma[\beta]} \quad (39)$$

Na qual  $\alpha$  é o parâmetro de escala,  $\beta$  é o parâmetro de forma e  $\gamma$  é o coeficiente de assimetria.

A função Densidade de Probabilidade Acumulada Excedente da distribuição Log Pearson para 3 parâmetros é dada por:

$$F_{exc}[x] = \int_x^{+\infty} \frac{\left(\frac{LN[x] - \gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} * \text{Exp}\left[-\left(\frac{LN[x] - \gamma}{\alpha}\right)\right]}{\alpha * \Gamma[\beta]} dx \quad (40)$$

Os parâmetros de escala e forma são estimados por MOM, sendo:

$$E[Ln[x]] = \alpha\beta + \gamma \quad (41)$$

$$\sigma_{ln}^2 = \alpha^2\beta \quad (42)$$

O coeficiente de assimetria é dado por:

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta}} \quad (43)$$

#### 4.4 Teste de Aderência

Para avaliar a adequação dos modelos teóricos estatísticos as distribuições empíricas de probabilidade foram utilizados os testes de aderência de Anderson Darling (AD), Kolmogorov-sminov (KS) e Qui-Quadrado de Pearson ( $\chi^2$ ). Utilizou-se ainda o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para quantificar a qualidade dos ajustes. Para os testes de aderência foram considerados valores satisfatórios aqueles com significância probabilística de 5%, ou seja, valores obtidos que apresentam resultados maiores que 0,95.

##### 4.4.1 Teste de Anderson Darlin

Segundo Naghettini e Pinto (2007) o teste de aderência de Anderson Darlin é um teste baseado na diferença entre funções de probabilidade empírica e teórica. O teste da mais ênfase as caudas das distribuições sendo um teste não paramétrico, na qual as maiores ou menores observações podem alterar a qualidade do ajuste.

O teste de Anderson Darlin é dado por:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \left( \frac{[F_{emp} - F_{exc}]^2}{F_{exc}[1 - F_{exc}]} * FDP \right) dx \quad (43)$$

Sendo  $F_{emp}$  a função de distribuição empírica de probabilidade,  $F_{exc}$  a função de probabilidade acumulada excedente e FDP a função de densidade de probabilidade.

##### 4.4.2 Teste de Kolmogorov-sminov

De acordo com Naghettini e Pinto (2007) o teste de Kolmogorov Sminov (KS) é um teste no qual se tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidade acumuladas, empíricas e teóricas, de variáveis aleatórias contínuas. É um teste não paramétrico dado por:

$$D_N = \sup_{-\infty < x < \infty} |F_N(x) - F(x)| \quad (44)$$

Sendo  $F_N(x)$  a função de distribuição acumulada empírica dos dados e  $F(x)$  função de distribuição acumulada assumida para os dados.

#### 4.4.3 Teste do Qui-Quadrado de Pearson

Segundo Naghettini e Pinto (2007) o teste do Qui-Quadrado de Pearson ( $\chi^2$ ) é um teste no qual se utiliza a diferença quadrática entre os valores observados e os valores teóricos. O teste compara os números de elementos da amostra efetivamente contidos nos sucessivos intervalos com os valores esperados, dos números desses elementos, avaliados em conformidade com o modelo. O teste do Qui-Quadrado é dado por:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{[F_{emp} - F_{exc}]^2}{F_{emp}} \quad (45)$$

Sendo  $F_{emp}$  a função de distribuição empírica de probabilidade e  $F_{exc}$  a função de probabilidade acumulada excedente.

#### 4.4.4 Coeficiente de determinação

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) determina a correlação da variância nos valores experimentados que podem ser atribuídos aos observados. Quanto maior for o valor do coeficiente de determinação, melhor ele se ajusta ao modelo. O  $R^2$  é dado por:

$$R^2 = \frac{(n * (\sum Mi * Ti) - \sum Mi * \sum Ti)^2}{(n * \sum Ti^2 - (\sum Ti)^2) * (n * \sum Mi^2 - (\sum Mi)^2)} \quad (46)$$

Sendo:

$M_i$ - valores calculados pelos modelos;

$T_i$ - valores observados das séries históricas;

$n$ - número total de dados

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Afogados da Ingazeira

Para a estação 737023 do município de Afogados da Ingazeira localizada na Mesorregião do Sertão, latitude -7,74 e longitude -37,65 têm-se as precipitações máximas ao longo dos anos de 1914 até 2017 (Apêndice).

Na Tabela 5.1 e 5.2 são apresentados os valores dos parâmetros ajustados para cada distribuição de variáveis aleatórias pelo Método dos Momentos e pelo Método da Máxima Verossimilhança respectivamente.

*Tabela 5.1 Parâmetros estimados pelo Método dos Momentos (Afogados da Ingazeira).*

Distribuição	Parâmetros			
GUM	$\alpha$ :	21,08537	$\beta$ :	55,3167
LN	$\mu_{\ln}$ :	4,12603	$\sigma_{\ln}$ :	0,362284
GEV	$\alpha$ :	21,48669	$\beta$ :	55,39205
FRE	$\theta$ :	3,206814	$y_o$ :	52,18415
W2P	$\alpha$ :	2,690113	$\beta$ :	75,89815
W3P	$\alpha$ :	1,515062	$\beta$ :	71,87018
GAM	$\theta$ :	10,83746	$\eta$ :	6,227152
PER	$\alpha$ :	11,00948	$\beta$ :	6,034078
LP3	$\alpha$ :	0,036835	$\beta$ :	117,9014
			$\gamma$ :	-0,20811

*Fonte: o autor (2019)*

*Tabela 5.2 Parâmetros estimados pelo Método da Máxima Verossimilhança (Afogados da Ingazeira).*

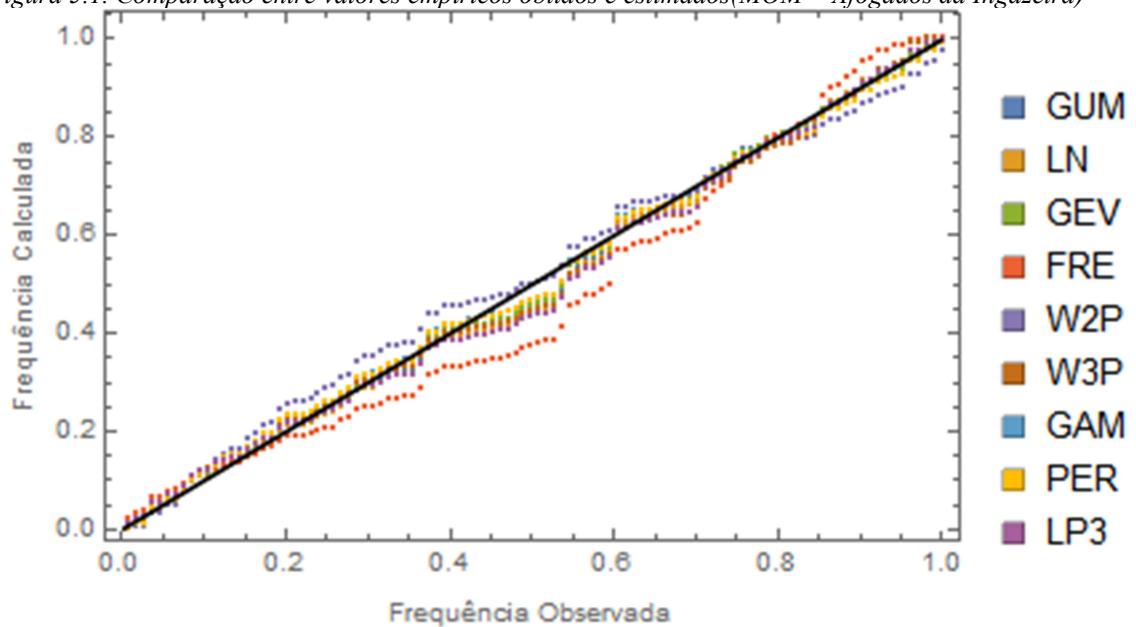
Distribuição	Parâmetros			
GUM	$\alpha$ :	20,62382	$\beta$ :	54,83484
LN	$\mu_{\ln}$ :	4,124856	$\sigma_{\ln}$ :	0,388886
GEV	$\alpha$ :	21,00913	$\beta$ :	55,56681
FRE	$\theta$ :	2,425026	$y_o$ :	50,68556
W2P	$\alpha$ :	2,82226	$\beta$ :	74,63563
W3P	$\alpha$ :	2,086789	$\beta$ :	56,06166
GAM	$\theta$ :	9,317323	$\eta$ :	7,132867
PER	$\alpha$ :	7,353168	$\beta$ :	11,13283
LP3	$\alpha$ :	0,034658	$\beta$ :	128,4856
			$\gamma$ :	-0,32823

*Fonte: o autor (2019)*

Percebe-se que nos parâmetros ajustados para os dois métodos para a cidade de Afogados da Ingazeira os parâmetros obtidos pela distribuição de Gumbel estão próximos aos valores encontrados pelo GEV, onde o valor de forma ( $\kappa$ ) de GEV está próximo de 0. Da mesma forma os valores de escala e forma de GAM e PER III apresentam valores bem próximos pelo método dos momentos.

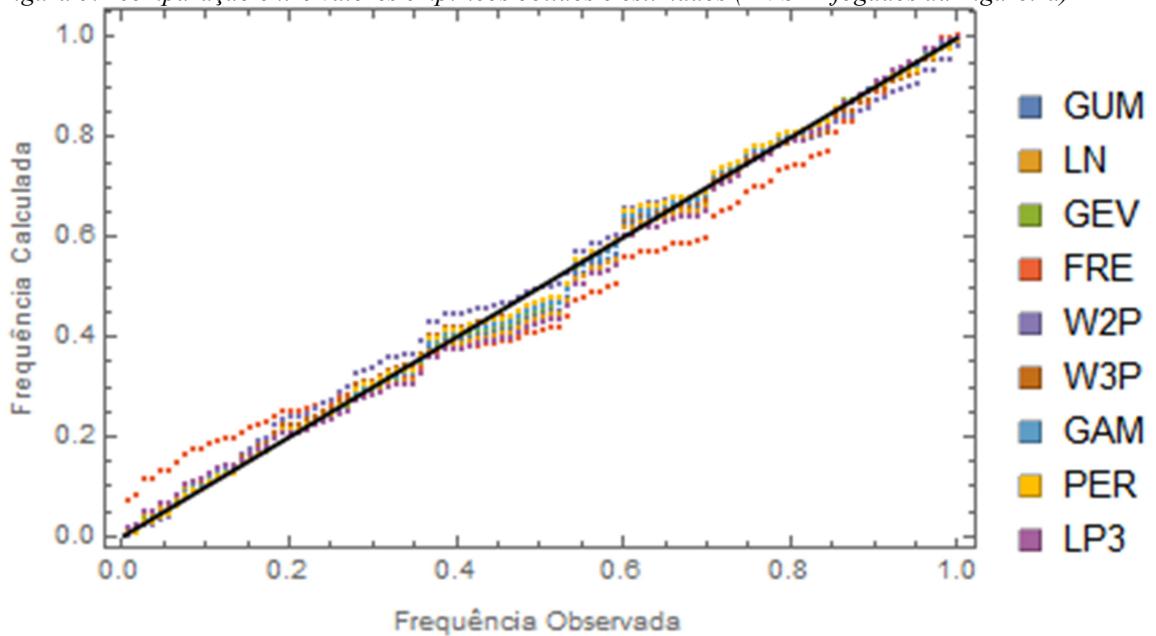
Na Figura 5.1 e 5.2 é apresentada uma comparação entre valores empíricos obtidos pela série histórica de precipitação máxima diária anual e os valores estimados por cada distribuição de variáveis aleatórias, pelos métodos MOM e MVS respectivamente, para o posto pluviométrico de Afogados da Ingazeira.

*Figura 5.1. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados(MOM - Afogados da Ingazeira)*



*Fonte: o autor (2019)*

Figura 5.2 comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MVS - Afogados da Ingazeira)



Fonte: o autor (2019)

Na figura 5.1 observa-se que a distribuição FRE e W2P são as que apresentam piores ajustes em relação aos dados observados. Para a distribuição de FRE nota-se o pior caso onde os valores medidos estão mais distantes dos ajustes havendo uma subestimação de valores. Pelo método da verossimilhança observa-se que as distribuições de FRE e W2P ainda são as mais distantes dos ajustes. Porém nota-se que a distribuição W2P está um pouco melhor ajustada em comparação ao método dos momentos. A distribuição de FRE pode ocasionar uma superestimação do tempo de retorno, já a distribuição W2P pode ocasionar subestimação do tempo de retorno.

Na Tabela 5.3 e 5.4 são mostrados os resultados em Afogados da Ingazeira dos testes de aderências de Anderson Darling (AD), Kolmogorov-Smirnov (KS) e Qui-Quadrado de Pearson ( $\chi^2$ ). Como também o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para a quantificação da qualidade dos ajustes estatísticos.

Tabela 5.3 Resultados dos testes de aderência (Afogados da Ingazeira - Método dos Momentos)

Distribuição	AD	KS	$\chi^2$	$R^2$
GUM	0,99994	0,972915	0,868976	0,99622
LN	0,999272	0,919163	0,932037	0,995228
GEV	0,999972	0,972914	0,827183	0,996588
FRE	0,331673	0,169515	0,347951	0,972032
W2P	0,776959	0,972915	0,7877	0,992171
W3P	0,989036	0,917614	0,879363	0,994011
GAM	0,999311	0,995438	0,808296	0,99706
PER	0,999304	0,995438	0,883191	0,997055
LP3	0,985673	0,831782	0,898485	0,99296

Fonte: o autor (2019)

*Tabela 5.4 Resultado dos testes de aderência (Afogados da Ingazeira – Método da Máxima Verossimilhança)*

Distribuição	AD	KS	$\chi^2$	R <sup>2</sup>
GUM	0,999653	0,915131	0,84472	0,995402
LN	0,996168	0,826725	0,74037	0,994289
GEV	0,999953	0,971214	0,765891	0,996674
FRE	0,218294	0,485783	0,618193	0,972037
W2P	0,899654	0,994902	0,812315	0,994017
W3P	0,999795	0,999736	0,936999	0,997178
GAM	0,999991	0,995035	0,951041	0,997077
PER	0,999963	0,999747	0,95479	0,99709
LP3	0,957491	0,716453	0,695809	0,991757

*Fonte: o autor (2019)*

Utilizando o Método dos Momentos, para o teste de Anderson Darling observou-se melhores resultados na distribuição GEV, seguidos por, Gumbel, Gama, Pearson para 3 parâmetros, Log Normal, W3P e Log Pearson. As distribuições de Fréchet e Weibull II não foram consideradas satisfatórias. O teste KS aponta a distribuição de PER com o melhor ajuste, seguido por, Gama, Gumbel, WP2 e GEV. LN, FRE, W3P e LP3 não atingiram valores satisfatórios e Fréchet apresentou os valores mais distantes do considerado satisfatório. Pelo teste de Aderência do Qui-Quadrado nenhuma das distribuições foram consideradas satisfatórias. Para R<sup>2</sup> apenas FRE não atingiu valor superior a 0,99.

Utilizando o Método da Máxima Verossimilhança, se observa que para o teste de Anderson Darling que as distribuições de Fréchet e Weibull II não foram consideradas satisfatórias. O teste KS aponta a distribuição de PER com o melhor ajuste, seguido por, W3P Gama, WP2, e GEV. Pelo teste de Aderencia do Qui-Quadrado apenas as distribuições PER e Gama atingem valores satisfatórios, o que difere do MOM onde nenhuma distribuição atingiu 0,95. Para R<sup>2</sup> apenas FRE não atingiu valor superior a 0,99.

No quadro 5.1 são apresentados as distribuições com os melhores resultados de aderência, do maior para o menor, para cada teste e R<sup>2</sup>, para MOM e MVS.

*Quadro 5.1. Melhores resultados de aderência do maior para o menor (Afogados da Ingazeira)*

Afogados da Ingazeira								
	AD		KS		$\chi^2$	$R^2$		
MOM	GEV	0,999972	GAM	0,995438	LN	0,932037	GAM	0,99706
	GUM	0,99994	PER	0,995438	LP3	0,898485	PER	0,997055
	GAM	0,999311	GUM	0,972915	PER	0,883191	GEV	0,996588
	PER	0,999304	W2P	0,972915	W3P	0,879363	GUM	0,99622
	LN	0,999272	GEV	0,972914	GUM	0,868976	LN	0,995228
	W3P	0,989036	LN	0,919163	GEV	0,827183	W3P	0,994011
	LP3	0,985673	W3P	0,917614	GAM	0,808296	LP3	0,99296
	W2P	0,776959	LP3	0,831782	W2P	0,7877	W2P	0,992171
	FRE	0,331673	FRE	0,169515	FRE	0,347951	FRE	0,972032
MVS	GAM	0,999991	PER	0,999747	PER	0,95479	W3P	0,997178
	PER	0,999963	W3P	0,999736	GAM	0,951041	PER	0,99709
	GEV	0,999953	GAM	0,995035	W3P	0,936999	GAM	0,997077
	W3P	0,999795	W2P	0,994902	GUM	0,84472	GEV	0,996674
	GUM	0,999653	GEV	0,971214	W2P	0,812315	GUM	0,995402
	LN	0,996168	GUM	0,915131	GEV	0,765891	LN	0,994289
	LP3	0,957491	LN	0,826725	LN	0,74037	W2P	0,994017
	W2P	0,899654	LP3	0,716453	LP3	0,695809	LP3	0,991757
	FRE	0,218294	FRE	0,485783	FRE	0,618193	FRE	0,972037

*Fonte: o autor (2019)*

## 5.2 Recife

Para a estação 834007 do município de Recife localizado na Mesorregião Região metropolitana do Recife de Latitude -8,05 e Longitude -34,92, têm-se as precipitações diárias máximas ao longo dos anos de 1962 até 2017 (Apêndice).

Na Tabela 5.5 e 5.6 são apresentados os valores dos parâmetros ajustados para cada distribuição de variáveis aleatórias pelo Método dos Momentos e pelo Método da Máxima Verossimilhança, respectivamente, em Recife.

*Tabela 5.5 Parâmetros estimados pelo Método dos Momentos (Recife)*

Distribuição	Parâmetros			
GUM	$\alpha$ :	35,71672	$\beta$ :	101,3979
LN	$\mu_{\ln}$ :	4,75153	$\sigma_{\ln}$ :	0,36314
GEV	$\alpha$ :	29,7387	$\beta$ :	100,9518
FRE	$\theta$ :	3,954939	$y_0$ :	99,77083
W2P	$\alpha$ :	2,893129	$\beta$ :	136,8463
W3P	$\alpha$ :	1,313158	$\beta$ :	127,0747
GAM	$\theta$ :	17,19971	$\eta$ :	7,093868
PER	$\alpha$ :	17,50151	$\beta$ :	6,851321
LP3	$\alpha$ :	0,02501	$\beta$ :	168,1394
			$\gamma$ :	2,104013
			$\xi$ :	62,39521
			$\eta$ :	0,543617

*Fonte: o autor 2019*

*Tabela 5.6 Parâmetros estimados pelo Método da Máxima Verossimilhança (Recife)*

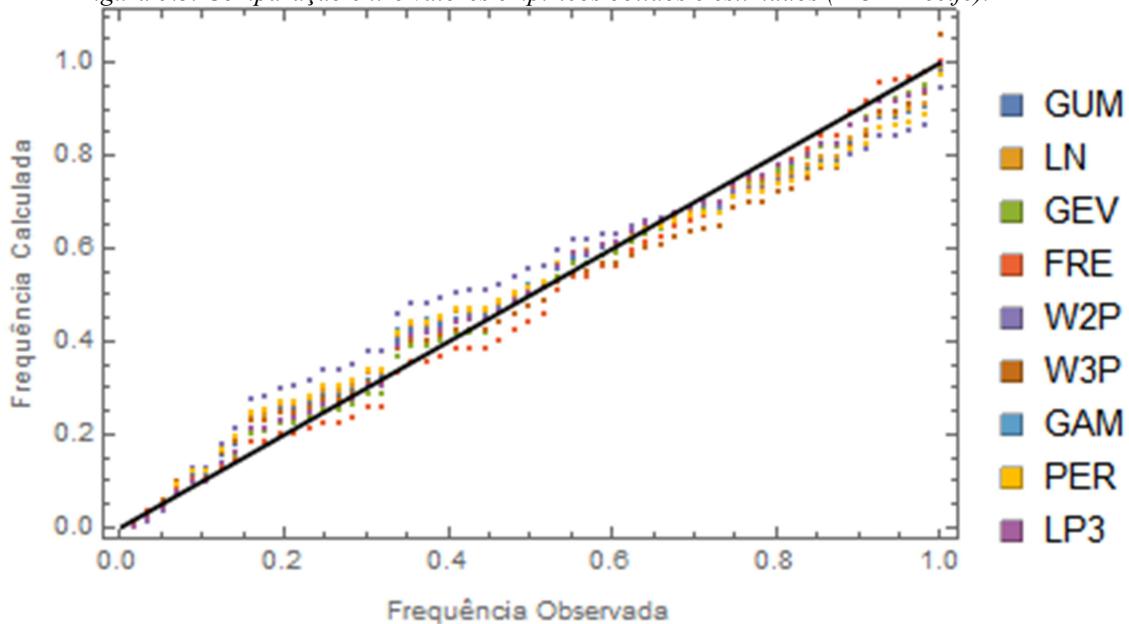
Distribuição	Parâmetros			
GUM	$\alpha$ :	30,52824	$\beta$ :	103,5521
LN	$\mu_{\ln}$ :	4,748812	$\sigma_{\ln}$ :	0,324303
GEV	$\alpha$ :	29,62497	$\beta$ :	102,122
FRE	$\theta$ :	3,314765	$y_0$ :	99,0097
W2P	$\alpha$ :	2,657106	$\beta$ :	136,6998
W3P	$\alpha$ :	1,718035	$\beta$ :	82,24728
GAM	$\theta$ :	13,2575	$\eta$ :	9,203285
PER	$\alpha$ :	11,74918	$\beta$ :	11,81236
LP3	$\alpha$ :	0,024127	$\beta$ :	174,2972
			$\gamma$ :	0,543617

*Fonte: o autor 2019*

Para a cidade de Recife observou-se que o parâmetro de posição calculado pela distribuição de Gumbel está próximo ao valor encontrado por GEV. Percebe-se uma maior diferença nos valores desses parâmetros quando são estimados pelo Método dos Momentos onde o valor do parâmetro de escala está com uma diferença maior em relação aos resultados encontrados pelo MVS. O valor de forma ( $\kappa$ ) de GEV é maior no MOM. Comparando os dois Métodos, os parâmetros de escala encontrados para cada distribuição apresentam valores próximos, onde foi notada uma diferença um pouco maior nas distribuições de GUM, GAM e PER. Nos parâmetros da segunda coluna, quando comparado os dois métodos, é notável uma diferença maior de valores nas distribuições de W3P, PER e LP3.

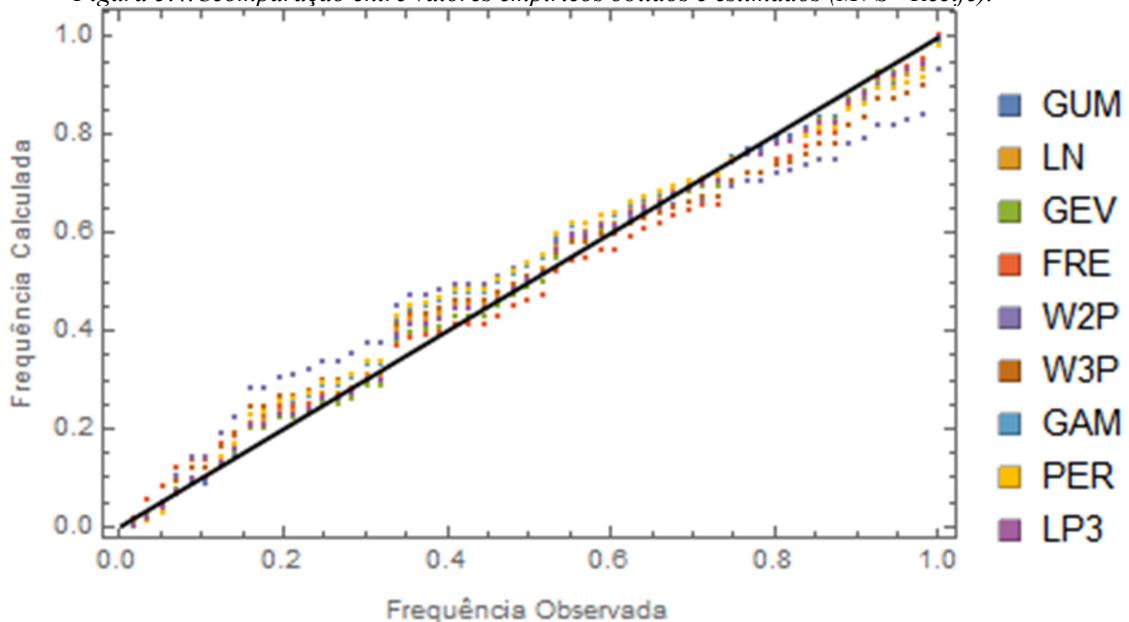
Na Figura 5.3 e 5.4 é apresentada uma comparação entre valores empíricos obtidos pela série histórica de precipitação máxima diária anual e os valores estimados por cada distribuição de variáveis aleatórias, pelos métodos MOV e MVS respectivamente, para o posto pluviométrico presente no município de Recife.

Figura 5.3. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MOM-Recife).



Fonte: o autor 2019

Figura 5.4. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MVS - Recife).



Fonte: o autor 2019

Pela figura 5.3 e 5.4 percebe-se que, utilizando o Método dos Momentos, bem como o Método da Máxima Verossimilhança, a distribuição W2P é a que pior se ajusta aos valores observados. Os pontos demonstram que a distribuição está sendo superestimada, o que pode ocasionar uma subestimação do tempo de retorno.

Na Tabela 5.7 e 5.8 são mostrados os resultados em Recife dos testes de aderências de Anderson Darling (AD), Kolmogorov-Smirnov (KS) e o teste de Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ). Na

quantificação da qualidade dos ajustes estatísticos se utilizou do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

*Tabela 5.7 Resultado dos testes de aderência (Recife - Método dos Momentos)*

Distribuição	AD	KS	$\chi^2$	$R^2$
GUM	0,818596	0,979063	0,928624	0,990383
LN	0,823939	0,979920	0,837636	0,988782
GEV	0,995746	0,998981	0,969313	0,996198
FRE	0,995768	0,998938	0,944184	0,993406
W2P	0,311224	0,77453	0,800789	0,961779
W3P	0,792574	0,907661	0,810928	0,986574
GAM	0,587446	0,906556	0,839848	0,982551
PER	0,587446	0,906556	0,839848	0,982863
LP3	0,99064	0,998938	0,951598	0,994081

*Fonte: o autor (2019)*

*Tabela 5.8 Resultado dos testes de aderência (Recife – Método da Máxima Verossimilhança)*

Distribuição	AD	KS	$\chi^2$	$R^2$
GUM	0,995303	0,999999	0,833136	0,994421
LN	0,979491	0,998981	0,913143	0,992169
GEV	0,999818	0,999999	0,938802	0,996311
FRE	0,905908	0,979911	0,868145	0,992473
W2P	0,211198	0,464793	0,578143	0,96141
W3P	0,654278	0,907661	0,820665	0,985137
GAM	0,872429	0,979908	0,726493	0,985157
PER	0,831459	0,906738	0,908807	0,983024
LP3	0,997474	0,999999	0,924812	0,994338

*Fonte: o autor (2019)*

Pelo Método dos Momentos, o teste de Anderson Darling apresentou melhores resultados na distribuição Fréchet, seguidos por GEV e LP3. O teste KS aponta a distribuição de GEV e FRE com o melhor ajuste, seguido por LP3, LN e Gumbel, as demais distribuições não atingiram valores satisfatórios pelo teste KS. Pelo teste de Aderencia do Qui-Quadrado apenas as distribuições de GEV e LP3 foram consideradas satisfatórias. Para  $R^2$  a distribuição de GUM, GEV, FRE e LP3 atingiram valores superiores a 0,99.

Pelo método da maxima verossimilhança as distribuições que apresentam bons resultados são as de GEV, LP3, GUM e LN. O teste KS aponta as distribuições GUM, GEV e LP3 com excelentes resultados, seguidos por LN, FRE e GAM. Não apresentaram valores satisfatórios no teste KS as distribuições W3P, PER e W2P. Pelo teste de Aderencia do Qui-

Quadrado nenhuma distribuição foi considerada satisfatória. Para  $R^2$  as distibuições W2P, W3P, GAM e PER não atingiram valores superiores a 0,99.

No quadro 5.2 são apresentados as disdtribuições com os melhores resultados de aderência do maior para o menor para cada teste e  $R^2$ , para MOM e MVS.

*Quadro 5.2. Melhores resultados de aderência do maior para o menor (Recife).*

		Recife							
		AD		KS		$\chi^2$		$R^2$	
MOM	FRE	0,995768	GEV	0,998981	GEV	0,969313	GEV	0,996198	
	GEV	0,995746	FRE	0,998938	LP3	0,951598	LP3	0,994081	
	LP3	0,99064	LP3	0,998938	FRE	0,944184	FRE	0,993406	
	LN	0,823939	LN	0,97992	GUM	0,928624	GUM	0,990383	
	GUM	0,818596	GUM	0,979063	GAM	0,839848	LN	0,988782	
	W3P	0,792574	W3P	0,907661	PER	0,839848	W3P	0,986574	
	GAM	0,587446	GAM	0,906556	LN	0,837636	PER	0,982863	
	PER	0,587446	PER	0,906556	W3P	0,810928	GAM	0,982551	
	W2P	0,311224	W2P	0,77453	W2P	0,800789	W2P	0,961779	
MVS	GEV	0,999818	GUM	0,999999	GEV	0,938802	GEV	0,996311	
	LP3	0,997474	GEV	0,999999	LP3	0,924812	GUM	0,994421	
	GUM	0,995303	LP3	0,999999	LN	0,913143	LP3	0,994338	
	LN	0,979491	LN	0,998981	PER	0,908807	FRE	0,992473	
	FRE	0,905908	FRE	0,979911	FRE	0,868145	LN	0,992169	
	GAM	0,872429	GAM	0,979908	GUM	0,833136	GAM	0,985157	
	PER	0,831459	W3P	0,907661	W3P	0,820665	W3P	0,985137	
	W3P	0,654278	PER	0,906738	GAM	0,726493	PER	0,983024	
	W2P	0,211198	W2P	0,464793	W2P	0,578143	W2P	0,96141	

*Fonte: o autor (2019)*

### 5.3 Rio Formoso

Para a estação 835044 do município de Rio Formoso localizada na Mesorregião da Zona da Mata (Lat -8,67; Long -35,15) têm-se as precipitações diárias máximas ao longo dos anos de 1934 até 2017 (Apêndice).

Na Tabela 5.9 e 5.10 são apresentados os valores dos parâmetros ajustados para cada distribuição de variáveis aleatórias pelo método dos momentos e o método de máxima verossimilhança respectivamente, em Rio Formoso.

*Tabela 5.9 Parâmetros estimados pelo Método dos Momentos (Rio Formoso)*

Distribuição	Parâmetros			
GUM	$\alpha$ :	27,00226	$\beta$ :	88,63179
LN	$\mu_{\ln}$ :	4,59381	$\sigma_{\ln}$ :	0,32365
GEV	$\alpha$ :	28,92403	$\beta$ :	89,06868
FRE	$\theta$ :	3,95209	$y_o$ :	85,47645
W2P	$\alpha$ :	3,314759	$\beta$ :	116,1555
W3P	$\alpha$ :	1,734512	$\beta$ :	111,3367
GAM	$\theta$ :	11,50921	$\eta$ :	9,055071
PER	$\alpha$ :	11,60207	$\beta$ :	8,910699
LP3	$\alpha$ :	0,0232	$\beta$ :	195,6872
			$\gamma$ :	0,834145
			$\gamma$ :	0,054389

*Fonte: o autor (2019)**Tabela 5.10 Parâmetros estimados pelo Método da Máxima Verossimilhança (Rio Formoso)*

Distribuição	Parâmetros			
GUM	$\alpha$ :	27,1433	$\beta$ :	88,4421
LN	$\mu_{\ln}$ :	4,594283	$\sigma_{\ln}$ :	0,324537
GEV	$\alpha$ :	27,1432	$\beta$ :	88,44195
GEV	$\kappa$ :	-1,037E-05		
FRE	$\theta$ :	3,195358	$y_o$ :	84,27322
W2P	$\alpha$ :	3,164422	$\beta$ :	116,3379
W3P	$\alpha$ :	1,974845	$\beta$ :	73,17282
GAM	$\theta$ :	10,6953	$\eta$ :	9,744154
PER	$\alpha$ :	8,649559	$\beta$ :	14,80058
LP3	$\alpha$ :	0,023002	$\beta$ :	197,3711
	$\gamma$ :	-23,801852		
	$\gamma$ :	0,0543892		

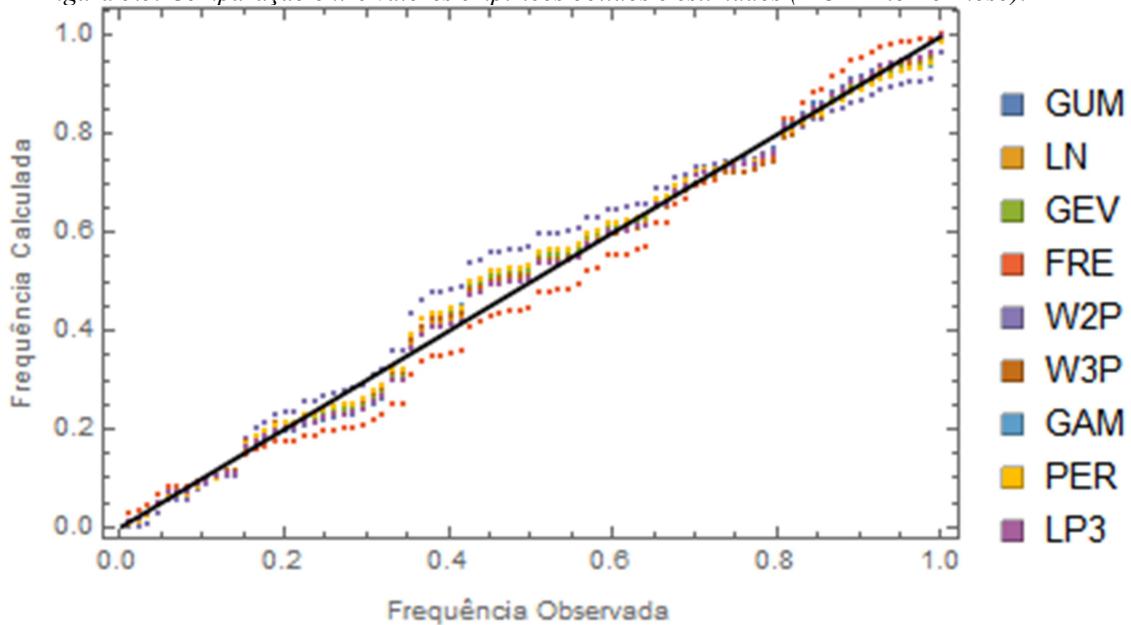
*Fonte: o autor (2019)*

Percebe-se que os parâmetros estimados pelo método dos momentos para a cidade de Rio Formoso os parâmetros de Gumbel de escala e posição estão próximo aos valores encontrados de GEV e o valor de forma ( $\kappa$ ) de GEV, é próximo a zero. Os valores de escala e forma de Gama e Pearson III apresentam valores bem próximos. Os valores da primeira coluna de parâmetros estimados pelo MVS estão próximos do encontrado no MOM, já na segunda coluna se torna visível a diferença nas distribuições onde o terceiro parâmetro apresenta um resultado com uma diferença maior.

Na Figura 5.5 e 5.6 é apresentada uma comparação entre valores empíricos obtidos pela série histórica de precipitação máxima diária anual e os valores estimados por cada

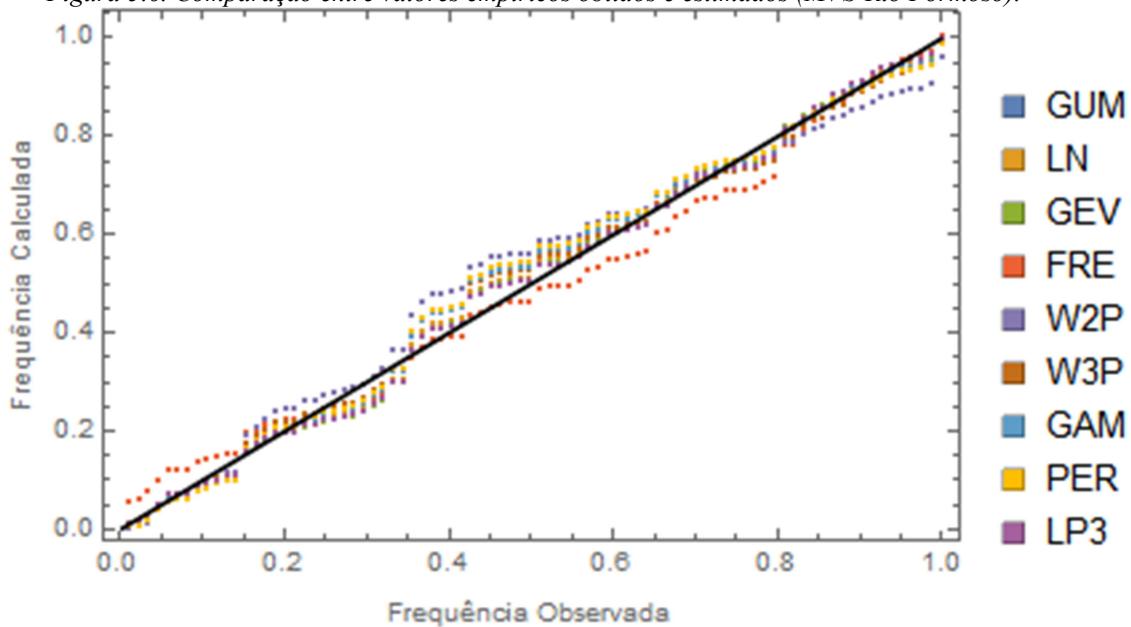
distribuição de variáveis aleatórias, pelo método dos momentos e pelo método da máxima verossimilhança respectivamente.

*Figura 5.5. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MOM-Rio Formoso).*



*Fonte: o autor (2019)*

*Figura 5.6. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MVS-Rio Formoso).*



*Fonte: o autor (2019)*

Nas Figuras 5.5 e 5.6 percebe-se que as distribuições FRE e W2P apresentam os piores resultados de ajustes para ambos os métodos de estimativa de parâmetros. A distribuição W2P

apresenta a superestimação dos valores observados o que pode ocasionar uma subestimação do tempo de retorno previsto.

Na Tabela 5.11 e 5.12 são demonstrados os resultados em Rio Formoso dos testes de aderências de Anderson Darling (AD), Kolmogorov-Smirnov (KS) e o teste Qui-Quadrado de Pearson ( $\chi^2$ ). Na quantificação da qualidade dos ajustes estatísticos se utilizou do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>).

*Tabela 5.11 Resultado dos testes de aderência (Rio Formoso - método dos momentos)*

Distribuição	AD	KS	$\chi^2$	R <sup>2</sup>
GUM	0,996916	0,983194	0,996805	0,994269
LN	0,996491	0,998457	0,998814	0,993978
GEV	0,986875	0,99852	0,999775	0,992863
FRE	0,672488	0,721	0,819723	0,986133
W2P	0,55836	0,588987	0,962204	0,975828
W3P	0,992484	0,998551	0,999635	0,993798
GAM	0,943942	0,983393	0,997484	0,990823
PER	0,943942	0,983393	0,997484	0,990908
LP3	0,997854	0,99852	0,997904	0,994702

*Fonte: o autor (2019).*

*Tabela 5.12 Resultado dos testes de aderência (Rio Formoso – método da máxima verossimilhança)*

Distribuição	AD	KS	$\chi^2$	R <sup>2</sup>
GUM	0,996502	0,983194	0,996805	0,994363
LN	0,997066	0,998457	0,998814	0,993971
GEV	0,996502	0,983194	0,996805	0,994363
FRE	0,757307	0,933762	0,992906	0,987821
W2P	0,506256	0,720017	0,973966	0,976862
W3P	0,971606	0,983783	0,9984	0,991395
GAM	0,961622	0,934736	0,999065	0,990323
PER	0,912352	0,933266	0,994934	0,988116
LP3	0,998168	0,99852	0,994674	0,994673

*Fonte: o autor (2019).*

Pelo metodo dos momentos, para o teste de Anderson Darling observou-se melhores resultados na distribuição LP3 seguido por GUM, LN, W3P e GEV. As distribuições de GAM, PER, FRE, W2P foram consideradas insatisfatórias. O teste KS aponta a dirtribuição de W3P, GEV, LP3 e LN com o melhor ajuste, seguido por GAM, PER e GUM. As destribuições de FRE e W2P não atingiram valores satisfatórios. Pelo teste de Aderencia do Qui-Quadrado apenas a distriuição de FRE foi considerada insatisfatória. As demais apresentaram valor maior que 0,95, sendo o valor mais proximo de 1, da distribuição de GEV. Para R<sup>2</sup> as distribuições FRE e W2P não atingiram valores maiores que 0,99.

Pelo Método da verossimilhança, para o teste de Anderson Darling as distribuições que apresentam os melhores resultados são as distribuições de LP3, LN, GUM, GEV, W3P e GAM as outras três distribuições não apresentaram valores satsfatórios no teste AD. O teste KS aponta a dirtribuição de LP3, LN, W3P, GUM e GEV com os melhores ajustes, as demais não apresentaram valores supeiores a 0,95. Pelo teste de Aderencia do Qui-Quadrado todas atingiram valores satisfatorios sendo a ordem do maior para o menor GAM, LN, W3p, GUM, GEV, PER, LP3, FRE e W2P. . Para R<sup>2</sup> as distribuições FRE, W2P e PER não atingiram valores maiores que 0,99.

No quadro 5.3 são apresentados as distribuições com os melhores resultados de aderência do maior para o menor para cada teste e R<sup>2</sup>, para MOM e MVS.

*Quadro 5.3. Melhores resultados de aderência do maior para o menor (Rio Formoso).*

		Rio Formoso							
		AD		KS		$\chi^2$		R <sup>2</sup>	
MOM	LP3	0,997854	W3P	0,998551	GEV	0,999775	LP3	0,994702	
	GUM	0,996916	GEV	0,99852	W3P	0,999635	GUM	0,994269	
	LN	0,996491	LP3	0,99852	LN	0,998814	LN	0,993978	
	W3P	0,992484	LN	0,998457	LP3	0,997904	W3P	0,993798	
	GEV	0,986875	GAM	0,983393	GAM	0,997484	GEV	0,992863	
	GAM	0,943942	PER	0,983393	PER	0,997484	PER	0,990908	
	PER	0,943942	GUM	0,983194	GUM	0,996805	GAM	0,990823	
	FRE	0,672488	FRE	0,721	W2P	0,962204	FRE	0,986133	
	W2P	0,55836	W2P	0,588987	FRE	0,819723	W2P	0,975828	
MVS	LP3	0,998168	LP3	0,99852	GAM	0,999065	LP3	0,994673	
	LN	0,997066	LN	0,998457	LN	0,998814	GUM	0,994363	
	GUM	0,996502	W3P	0,983783	W3P	0,9984	GEV	0,994363	
	GEV	0,996502	GUM	0,983194	GUM	0,996805	LN	0,993971	
	W3P	0,971606	GEV	0,983194	GEV	0,996805	W3P	0,991395	
	GAM	0,961622	GAM	0,934736	PER	0,994934	GAM	0,990323	
	PER	0,912352	FRE	0,933762	LP3	0,994674	PER	0,988116	
	FRE	0,757307	PER	0,933266	FRE	0,992906	FRE	0,987821	
	W2P	0,506256	W2P	0,720017	W2P	0,973966	W2P	0,976862	

*Fonte: o autor (2019).*

## 5.4 Petrolina

Para a estação de código 4 do município de Petrolina localizada na Mesorregião do São Francisco de Latitude -9.39 e Longitude -40.52 têm-se as precipitações diárias máximas ao longo dos anos de 1937 até 2014 (Apêndice).

Na tabela 5.13 e 5.14 são apresentados os valores dos parâmetros ajustados para cada distribuição de variáveis aleatórias pelo método dos momentos e pelo método da máxima verossimilhança respectivamente, em Petrolina.

*Tabela 5.13 Parâmetros estimados pelo método dos momentos (Petrolina)*

Distribuição		Parâmetros		
GUM	$\alpha$ :	22,50651	$\beta$ :	53,46941
LN	$\mu_{\ln}$ :	4,089594	$\sigma_{\ln}$ :	0,415726
GEV	$\alpha$ :	24,31442	$\beta$ :	53,89281
FRE	$\theta$ :	2,772602	$y_o$ :	48,93657
W2P	$\alpha$ :	2,458599	$\beta$ :	74,93311
W3P	$\alpha$ :	1,77786	$\beta$ :	72,60645
GAM	$\theta$ :	12,53839	$\eta$ :	5,300483
PER	$\alpha$ :	12,69	$\beta$ :	5,17
LP3	$\alpha$ :	0,046319	$\beta$ :	99,74409
			$\gamma$ :	-0,52136

*Fonte: o autor (2019)*

*Tabela 5.14 Parâmetros estimados pelo método da máxima verossimilhança (Petrolina)*

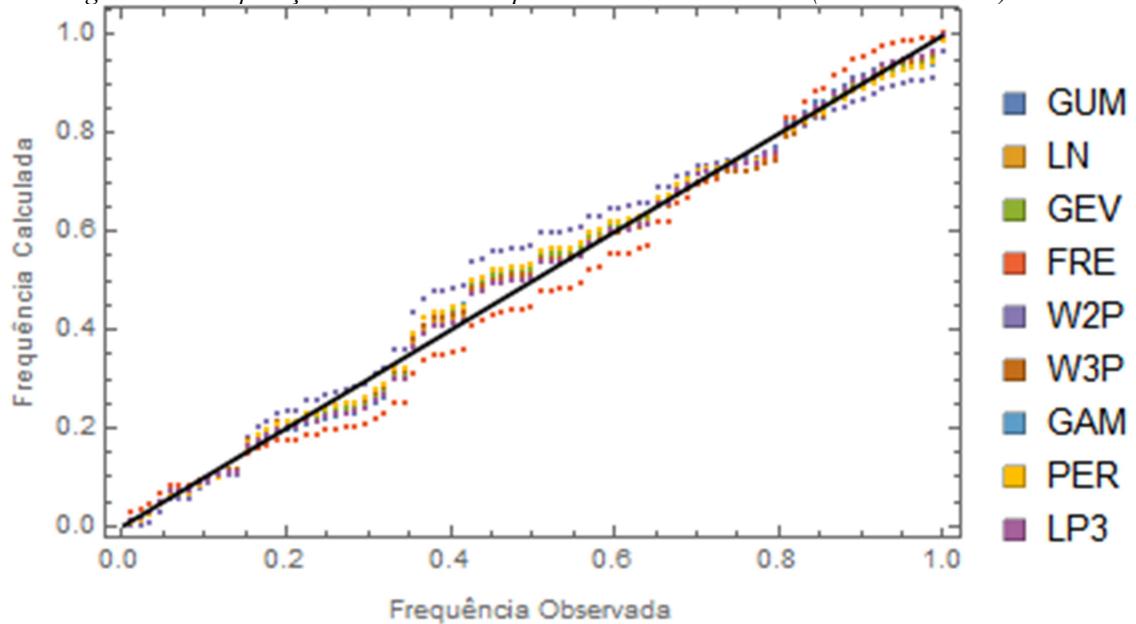
Distribuição		Parâmetros		
GUM	$\alpha$ :	23,493	$\beta$ :	53,16767
LN	$\mu_{\ln}$ :	4,098694	$\sigma_{\ln}$ :	0,462598
GEV	$\alpha$ :	23,85665	$\beta$ :	53,84206
FRE	$\theta$ :	1,921358	$y_o$ :	47,3948
W2P	$\alpha$ :	2,456444	$\beta$ :	75,02348
W3P	$\alpha$ :	2,060836	$\beta$ :	63,74503
GAM	$\theta$ :	12,6149	$\eta$ :	5,268331
PER	$\alpha$ :	10,56198	$\beta$ :	7,247021
LP3	$\alpha$ :	0,048191	$\beta$ :	95,86888
			$\gamma$ :	-0,52136

*Fonte: o autor (2019)*

Por ambos os métodos nos parâmetros ajustados para a cidade de Petrolina os parâmetros de Gumbel de escala e posição estão próximo aos valores encontrados de GEV e o valor de forma ( $\kappa$ ) de GEV, é próximo a zero. Os valores de escala e forma de Gama e Pearson III apresentam valores bem próximos. Comparando os métodos percebe-se uma diferença maior nos valores de parâmetros, nas distribuições onde existe o terceiro parâmetro e esse terceiro parâmetro tem uma diferença maior.

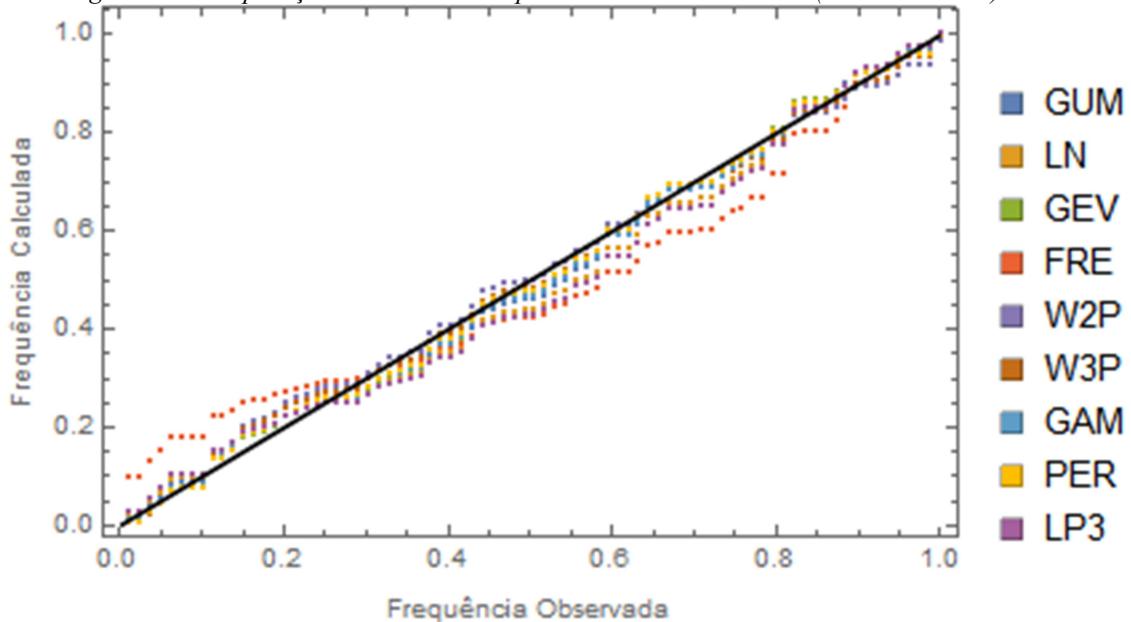
Na Figura 5.7 e 5.8 é apresentada uma comparação entre valores empíricos obtidos pela série histórica de precipitação máxima diária anual e os valores estimados por cada distribuição de variáveis aleatórias, pelo método dos momentos e pelo método da máxima verossimilhança, para o posto pluviométrico presente no município de Petrolina.

*Figura 5.7. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MOM- Petrolina)*



*Fonte: o autor (2019)*

Figura 5.8. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MVS- Petrolina)



Fonte: o autor (2019)

Na figura 5.7 se observa que as distribuições FRE e W2P são as que apresentam os piores ajustes. A distribuição W2P visualmente parece ser pior do que a distribuição de FRE, ela mostra pontos acima da linha e mais distantes do observado, o que pode ocasionar um tempo de retorno subestimado. Já na figura 5.8 são visíveis os piores ajustes para a distribuição de FRE e LP3, sendo a distribuição de FRE a que apresenta os piores ajustes, demonstrando uma subestimação dos valores o que pode acarretar em uma superestimação no tempo de retorno previsto.

Na Tabela 5.15 e 5.16 são demonstrados os resultados em Petrolina dos testes de aderências de Anderson Darling (AD), Kolmogorov-Smirnov (KS) e o teste Qui-Quadrado de Pearson ( $\chi^2$ ).

Tabela 5.15 Resultado dos testes de aderência (Petrolina-método dos momentos)

Distribuição	AD	KS	$\chi^2$	R <sup>2</sup>
GUM	0,9941	0,997274	0,948699	0,993534
LN	0,824834	0,915487	0,920462	0,987651
GEV	0,999583	0,999959	0,967786	0,995996
FRE	0,250887	0,319364	0,521579	0,9559
W2P	0,986758	0,999961	0,986829	0,995784
W3P	0,997731	0,999961	0,970441	0,995043
GAM	0,999601	0,999961	0,994815	0,995503
PER	0,999627	0,999961	0,996121	0,995405
LP3	0,863176	0,914662	0,894478	0,984512

Fonte: o autor (2019)

*Tabela 5.16 Resultado dos testes de aderência (Petrolina-método da máxima verossimilhança)*

Distribuição	AD	KS	$\chi^2$	R <sup>2</sup>
GUM	0,997139	0,997389	0,982303	0,994071
LN	0,955093	0,975979	0,978722	0,989051
GEV	0,999334	0,999959	0,982303	0,995637
FRE	0,176795	0,549321	0,763444	0,958621
W2P	0,985275	0,999961	0,987679	0,995705
W3P	0,998561	0,999963	0,988026	0,996412
GAM	0,999601	0,999961	0,994815	0,995479
PER	0,999677	0,999959	0,988026	0,996377
LP3	0,848883	0,915367	0,950956	0,984232

*Fonte: o autor (2019)*

Pelo método dos momentos, para o teste de Anderson Darling observou-se excelentes resultados na distribuição PER, GAM, GEV, W3P, GUM e W3P. As distribuições de LP3, LN e FRE foram insatisfatórias. O teste KS aponta excelentes resultados para a distribuição W2P, W3P, GAM, PER, GEV, GUM. As distribuições de FRE, LN e LP3 não atingiram valores satisfatórios. Pelo teste de Aderência do Qui-Quadrado foi considerada satisfatória a distribuições de PER, GAM, W2P, W3P e GEV. Para R<sup>2</sup> as distribuições GUM, GEV, W2P, W3P, GAM e PER atenderam os valores maiores que 0,99.

Pelo método da máxima verossimilhança, para AD, as distribuições PER, GAM, GEV, W3P, GUM, W2P e LN demonstraram resultados satisfatórios. O teste KS aponta resultados superiores a 0,95 para a distribuição W3P, W2P, GAM, GEV, PER, GUM e LN. Pelo teste de Aderência do Qui-Quadrado foi considerada satisfatória as distribuições GAM, W3P, PER, W2P, GUM, GEV, LN e LP3. Para R<sup>2</sup> as distribuições GUM, GEV, W2P, W3P, GAM e PER atenderam valores maiores que 0,99.

No quadro 4.4 são apresentados as distribuições com os melhores resultados de aderência do maior para o menor para cada teste e R<sup>2</sup>, para a estimativa dos parâmetros pelo método dos momentos e pelo método da máxima verossimilhança. Se percebe a distribuição de FRE, com os piores resultados, para todos os testes e com o valor mais longe do número 1 para R<sup>2</sup> em ambos os métodos utilizados para a estimativa dos parâmetros.

*Quadro 5.4. Melhores resultados de aderência do maior para o menor (Petrolina).*

Petrolina								
	AD		KS		$\chi^2$		$R^2$	
MOM	PER	0,999627	W2P	0,999961	PER	0,996121	GEV	0,995996
	GAM	0,999601	W3P	0,999961	GAM	0,994815	W2P	0,995784
	GEV	0,999583	GAM	0,999961	W2P	0,986829	GAM	0,995503
	W3P	0,997731	PER	0,999961	W3P	0,970441	PER	0,995405
	GUM	0,9941	GEV	0,999959	GEV	0,967786	W3P	0,995043
	W2P	0,986758	GUM	0,997274	GUM	0,948699	GUM	0,993534
	LP3	0,863176	LN	0,915487	LN	0,920462	LN	0,987651
	LN	0,824834	LP3	0,914662	LP3	0,894478	LP3	0,984512
	FRE	0,250887	FRE	0,319364	FRE	0,521579	FRE	0,9559
MVS	PER	0,999677	W3P	0,999963	GAM	0,994815	W3P	0,996412
	GAM	0,999601	W2P	0,999961	W3P	0,988026	PER	0,996377
	GEV	0,999334	GAM	0,999961	PER	0,988026	W2P	0,995705
	W3P	0,998561	GEV	0,999959	W2P	0,987679	GEV	0,995637
	GUM	0,997139	PER	0,999959	GUM	0,982303	GAM	0,995479
	W2P	0,985275	GUM	0,997389	GEV	0,982303	GUM	0,994071
	LN	0,955093	LN	0,975979	LN	0,978722	LN	0,989051
	LP3	0,848883	LP3	0,915367	LP3	0,950956	LP3	0,984232
	FRE	0,176795	FRE	0,549321	FRE	0,763444	FRE	0,958621

*Fonte: o autor (2019)*

## 5.5 Toritama

Para a estação 70 do município de Toritama localizada na Mesorregião do Agreste de Latitude -8,02 e Longitude -36,07 têm-se as precipitações diárias máximas ao longo dos anos de 1963 até 2017 (Apêndice).

Nas tabelas 5.17 e 5.18 são apresentados os valores dos parâmetros ajustados para cada distribuição de variáveis aleatórias pelo método dos momentos e pelo método da máxima verossimilhança, em Toritama.

*Tabela 5.17 Parâmetros estimados pelo método dos momentos (Toritama)*

Distribuição	Parâmetros			
GUM	$\alpha$ :	21,87828	$\beta$ :	50,39615
LN	$\mu_{\ln}$ :	4,054535	$\sigma_{\ln}$ :	0,42527
GEV	$\alpha$ :	22,51383	$\beta$ :	50,5207
FRE	$\theta$ :	3,040489	$y_o$ :	47,67686
W2P	$\alpha$ :	2,391512	$\beta$ :	71,09868
W3P	$\alpha$ :	1,554016	$\beta$ :	67,81253
GAM	$\theta$ :	12,49411	$\eta$ :	5,044269
PER	$\alpha$ :	12,69775	$\beta$ :	4,88377
LP3	$\alpha$ :	0,046425	$\beta$ :	82,56368
			$\gamma$ :	0,221243

*Fonte: o autor (2019)**Tabela 5.18 Parâmetros estimados pelo método da máxima verossimilhança (Toritama)*

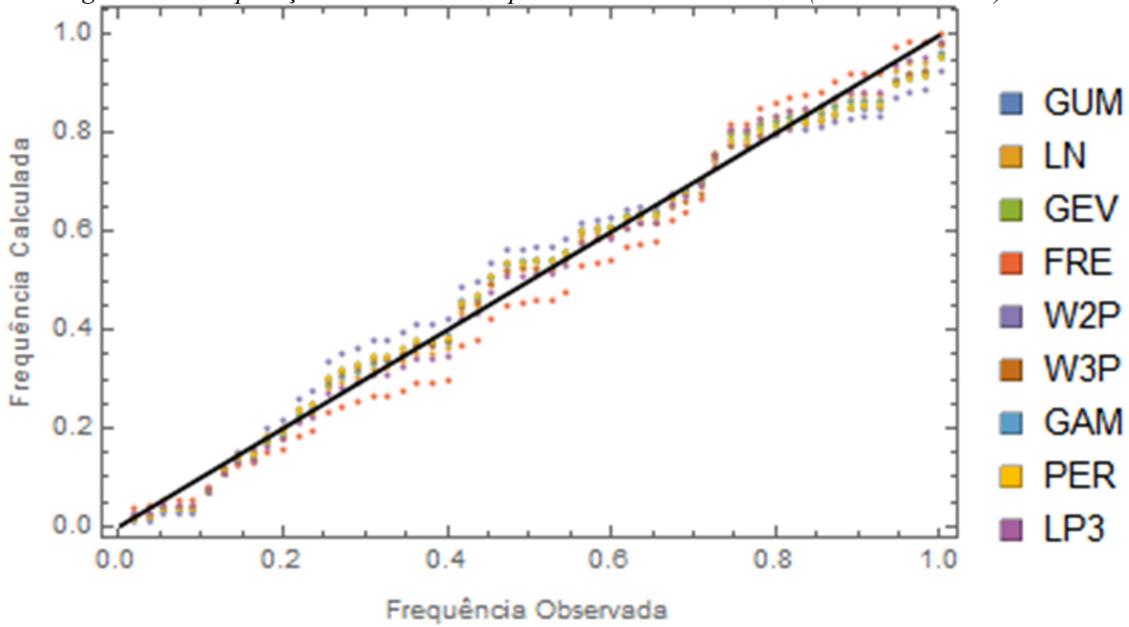
Distribuição	Parâmetros			
GUM	$\alpha$ :	20,10543	$\beta$ :	50,6719
LN	$\mu_{\ln}$ :	4,054274	$\sigma_{\ln}$ :	0,42184
GEV	$\alpha$ :	20,10527	$\beta$ :	50,67178
GEV	$\kappa$ :	-1,1E-05		
FRE	$\theta$ :	2,661448	$y_o$ :	47,00659
W2P	$\alpha$ :	2,411272	$\beta$ :	71,34078
W3P	$\alpha$ :	1,447718	$\beta$ :	43,5219
W3P	$\xi$ :	23,57642		
GAM	$\theta$ :	10,93277	$\eta$ :	5,764653
PER	$\alpha$ :	9,485818	$\beta$ :	7,622455
PER	$\gamma$ :	-9,28179		
LP3	$\alpha$ :	0,045371	$\beta$ :	84,48141
LP3	$\gamma$ :	0,221243		

*Fonte: o autor (2019)*

Nos parâmetros ajustados nos dois métodos para a cidade de Toritama os parâmetros de Gumbel de escala e posição estão próximo aos valores encontrados de GEV e o valor de forma ( $\kappa$ ) de GEV, é próximo a zero. Os valores de escala e forma de Gama e Pearson III apresentam valores bem próximos nos métodos dos momentos e em MVS nota-se uma diferença maior, pois o parâmetro de forma está com uma diferença maior de zero. Na distribuição PER é mais visível a diferença de parâmetros, principalmente no parâmetro de forma.

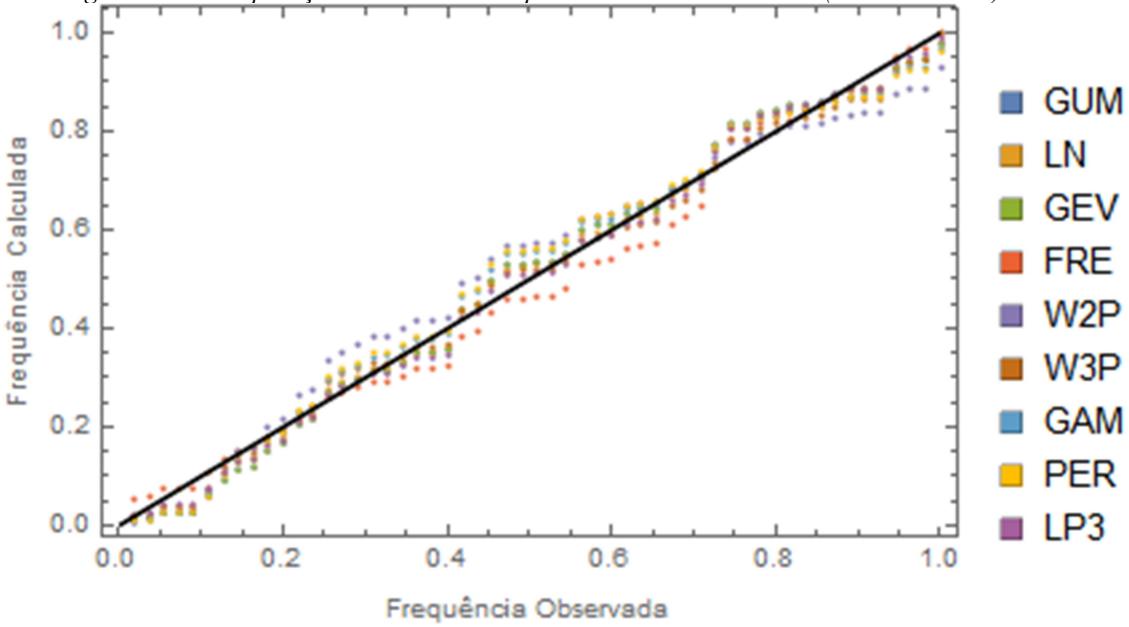
Na Figura 5.9 e 5.10 é apresentada uma comparação entre valores empíricos obtidos pela série histórica de precipitação máxima diária anual e os valores estimados por cada distribuição de variáveis aleatórias, pelo método do momento e o método da máxima verossimilhança, para o posto pluviométrico presente no município de Petrolina.

Figura 5.9. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MOM- Toritama)



Fonte: o autor (2019)

Figura 5.10. Comparação entre valores empíricos obtidos e estimados (MVS-Toritama)



Fonte: o autor (2019)

Nas Figuras 5.9 e 5.10 percebe-se que as distribuições FRE e W2P apresentam os piores resultados de ajustes para ambos os métodos de estimativa de parâmetros. A distribuição W2P apresenta a superestimação dos valores observados o que pode ocasionar uma subestimação do tempo de retorno previsto, já na parte superior da cauda a distribuição W2P apresenta valores subestimados.

Na Tabela 5.19 e 5.20 são demonstrados os resultados em Toritama dos testes de aderências de Anderson Darling (AD), Kolmogorov-Smirnov (KS) e o teste Qui-Quadrado de Pearson ( $\chi^2$ ). Para R<sup>2</sup> todas as distibuições atendaram os valores satisfatorio, tendo como melhor resutado LP3.

*Tabela 5.19 Resultado dos testes de aderência (Toritama-método dos momentos)*

Distribuição	AD	KS	$\chi^2$	R <sup>2</sup>
GUM	0,9478	0,998817	0,788317	0,990073
LN	0,987491	0,998866	0,793675	0,992801
GEV	0,913255	0,998817	0,788317	0,988607
FRE	0,870161	0,899975	0,67783	0,985076
W2P	0,528678	0,901915	0,804454	0,972194
W3P	0,949549	0,978444	0,841317	0,991156
GAM	0,869329	0,978444	0,934552	0,987284
PER	0,869329	0,978444	0,934552	0,987614
LP3	0,998528	0,998767	0,932725	0,994016

*Fonte: o autor 2019*

*Tabela 5.20 Resultado dos testes de aderência (Toritama-método da máxima verossimilhança)*

Distribuição	AD	KS	$\chi^2$	R <sup>2</sup>
GUM	0,924165	0,998866	0,781324	0,990916
LN	0,987491	0,998866	0,793675	0,99278
GEV	0,924165	0,998866	0,781324	0,990917
FRE	0,954186	0,977989	0,768021	0,988379
W2P	0,544207	0,901915	0,621361	0,971224
W3P	0,996723	0,998817	0,916097	0,993262
GAM	0,898152	0,978444	0,940989	0,986612
PER	0,817778	0,977527	0,781467	0,98399
LP3	0,997878	0,998767	0,872261	0,99391

*Fonte: o autor 2019*

Pelo método dos momentos, para o teste de Anderson Darling observou-se melhores resultados na distribuição LP3 e LN. As demais distribuições foram insatisfatoria. O teste KS aponta excelentes resultados para a distribuição LN, GUM, GEV, LP3, WP3, GAM e PER. Apenas as destribuições FRE e W2P não atingiram valores satisfatorios. Pelo teste de Aderencia do Qui-Quadrado nenhuma distribuição foi considerada satisfatoria. Para R<sup>2</sup> todas as distibuições atendaram os valores satisfatorio.

Pelo método da máxima verossimilhança, para AD as distribuições LP3, W3P, LN e FRE demonstraram resultados satisfatórios. No teste KS apenas a distribuição W2P não atingiu resultados satisfatórios, sendo os melhores resultados das distribuições do maior para o menor GUM, LN, GEV, W3P, LP3, GAM, FRE e PER. Pelo teste de Aderencia do Qui-Quadrado nenhuma distribuição foi considerada satisfatoria. Para R<sup>2</sup> as distibuições GUM, LN, GEV, W3P e LP3 atendaram valores maiores que 0,99.

No quadro 5.5 são apresentados as disdtribuições com os melhores resultados de aderência do maior para o menor para cada teste e R<sup>2</sup>, para MOM e MVS.

*Quadro 5.5. Melhores resultados de aderência do maior para o menor (Toritama).*

		Toritama						
		AD	KS	$\chi^2$		$R^2$		
MOM	LP3	0,998528	LN	0,998866	GAM	0,934552	LP3	0,994016
	LN	0,987491	GUM	0,998817	PER	0,934552	LN	0,992801
	W3P	0,949549	GEV	0,998817	LP3	0,932725	W3P	0,991156
	GUM	0,9478	LP3	0,998767	W3P	0,841317	GUM	0,990073
	GEV	0,913255	W3P	0,978444	W2P	0,804454	GEV	0,988607
	FRE	0,870161	GAM	0,978444	LN	0,793675	PER	0,987614
	GAM	0,869329	PER	0,978444	GUM	0,788317	GAM	0,987284
	PER	0,869329	W2P	0,901915	GEV	0,788317	FRE	0,985076
	W2P	0,528678	FRE	0,89975	FRE	0,67783	W2P	0,972194
MVS	LP3	0,997878	GUM	0,998866	GAM	0,940989	LP3	0,99391
	W3P	0,996723	LN	0,998866	W3P	0,916097	W3P	0,993262
	LN	0,987491	GEV	0,998866	LP3	0,872261	LN	0,99278
	FRE	0,954186	W3P	0,998817	LN	0,793675	GEV	0,990917
	GUM	0,924165	LP3	0,998767	PER	0,781467	GUM	0,990916
	GEV	0,924165	GAM	0,978444	GUM	0,781324	FRE	0,988379
	GAM	0,898152	FRE	0,977989	GEV	0,781324	GAM	0,986612
	PER	0,817778	PER	0,977527	FRE	0,768021	PER	0,98399
	W2P	0,544207	W2P	0,901915	W2P	0,621361	W2P	0,971224

*Fonte: o autor 2019*

## 6 CONCLUSÃO

Utilizando o MOM para a estimativa de parâmetros para as distribuições teóricas de probabilidade, levando em consideração o número de teste onde cada distribuição atinge os valores satisfatórios, se tem para a cidade de Afogados da Ingazeira os melhores ajustes nas distribuições GUM, GEV, GAM e PER. Para Recife a distribuição que apresenta os melhores ajustes é a de GEV que demonstrou resultados satisfatórios em todos os testes de aderência e o coeficiente de determinação é o mais próximo de um. Para Rio formoso as distribuições de GUM, LN, GEV, W3P e LP3 são indicadas. Para Petrolina são indicadas as distribuições GUM, PER, W2P, W3P e GEV e para Toritama as distribuições LN e LP3. Para o estado de Pernambuco, a distribuição GEV foi a que apresentou mais resultados com valores acima de 0,95 nos testes de aderência, sendo a distribuição de Fréchet a que apresentou menos resultados.

Utilizando o MVS para a estimativa de parâmetros, levando em consideração o número de teste onde cada distribuição atinge os valores satisfatórios, se tem para a cidade de Afogados da Ingazeira os melhores ajustes nas distribuições de GAM e PER. Para Recife a distribuição que apresenta os melhores ajustes é a de GEV que só não demonstrou resultados satisfatórios no teste Qui-Quadrado, porém nenhuma distribuição atingiu valores maiores que 0,95 nesse teste. O coeficiente de determinação é o mais próximo de um para a distribuição de GEV. Para Rio formoso as distribuições LP3, LN, W3P, GUM e GEV atenderam todos os testes, sendo LP3 com os melhores resultados e com o coeficiente de determinação mais próximo de um. Para Petrolina são indicadas as distribuições W3P, PER, W2P, GEV, GAM e GUM, sendo a W3P mais indicada por obter melhores ajustes. Para Toritama as distribuições LN, LP3 e W3P são as mais indicadas. Utilizando o MVS, as distribuições GEV e LN são as que mais apresentam resultados acima de 0,95. De um modo geral, considerando o numero de testes atendidos, GEV apresenta os melhores ajustes às séries históricas do Estado de Pernambuco.

O modelo mais indicado para cada mesorregião de Pernambuco é aquele que apresenta os melhores resultados, de acordo com suas respectivas cidades, mas deve-se atentar que devido as diferentes distribuições para as cidades estudadas com os diferentes resultados, devem ser avaliados mais municípios de uma mesma mesorregião e verificar os diferentes resultados nos testes.

O método utilizado para estimar os parâmetros da distribuição influencia nos testes, como é possível perceber com os resultados que usando o MVS, no geral os testes apresentam melhores resultados.

## **REFERÊNCIAS**

- ALVES, A. V. P., DA SILVA SANTOS, G. B., DE MENEZES FILHO, F. C. M., & SANCHES, L. Análise dos métodos de estimação para os parâmetros das distribuições de Gumbel e GEV em eventos de precipitações máximas na cidade de Cuiabá-MT. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 6, n.1, 2013.
- CATALUNHA, M. J.; SEDIYAMA, G. C.; LEAL, B. G.; SOARES, C. P. B.; RIBEIRO, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria**, v.10, n.1, p.153-162, 2002.
- COTTA, H. H. A., CORREA, W. S. C., ALBUQUERQUE, T. T.A. Aplicação da distribuição de Gumbel para valores extremos de precipitação no município de Vitória-ES. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, 2016.
- COUTINHO, A. P., RIBAS, L. V., LEITE, L. L. L., ANTONINO, A. C. D., CABRAL, J. J. S. P., MONTENEGRO, S. M. G. L., MELO, T. A. T. Determinação de equações de chuvas intensas para municípios das mesorregiões do estado de Pernambuco através do método de Bell. **XX Simpósio brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves/RS**, 2013.
- DA SILVA, J. C., HELDWEIN, A. B., MARTINS, F. B., TRENTIN, G., & GRIMM, E. L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p 67-72, 2007.
- DE QUEIROZ, M. M., & CHAUDHRY, F. H. Análise de eventos hidrológicos extremos, usando-se a distribuição GEV e momentos LH. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 10, n. 2, p 381-389, 2006
- DE OLIVEIRA, L. F., JORGE, C. D. A., FIOREZE, A. P., & DA SILVA, M. A. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 12, n. 6, p 620-625, 2008.

DOS SANTOS, R. S., VIEIRA, P. D., EVANGELISTA, D. H. R., OLIVEIRA, L. J. C., NONATO, D. Caracterização de extremos mensais de precipitação em Cacoal (RO). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018.

FRANCO, C. S., MARQUES, R. F., OLIVEIRA, A. S., & DE OLIVEIRA, L. F.). Distribuição de probabilidades para precipitação máxima diária na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v.18, n. 7, 2014.

GUIMARÃES, R. C. **Probabilidade e estatística aplicadas à hidrologia**. 2015.

MEDEIROS, R. M., HOLANDA, R. M., VIANA, M. A., SILVA, V. P. Climate classification in Köppen model for the state of Pernambuco – Brazil. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 3, p 219-234, 2018.

MELLO, C. D., & SILVA, A. D. Métodos estimadores dos parâmetros da distribuição de Gumbel e sua influência em estudos hidrológicos de projeto. **Irriga**, v. 10, n. 4, p. 318-334, (2005).

NAGHETTINI, M., & PORTELA, M. M. Probabilidade e estatística aplicadas à hidrologia. Texto de apoio à unidade curricular Hidrologia e Recursos Hídricos do 3º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, 2011.

RODRIGUES, J. A., DOS SANTOS FILHO, J., & CHAVES, L. M. (). Funções densidade de probabilidade para a estimativa de precipitação mensal. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 34, n. 1), p 3-8, 2013

SANSIGOLO, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p 341-346, 2008.

SILVA, B. M., MONTENEGRO, S. M. G. L., FERNANDHA, B. S., FILHO, P. F. A. Chuvas Intensas em Localidades do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 3, p 135-146, 2012.

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

## APÊNDICE A – Dados dos postos pluviométricos

*Quadro A.1 Séries Históricas dos municípios de cada mesorregião*

Estação	Rio Formoso (835044)	Estação	Recife (834007)	Estação	Toritama (70)	Estação	Afogados da Ingazeira (00737023)	Estação	Petrolina (4)
MESO	Zona da Mata	MESO	RMR	MESO	Agreste	MESO	Sertão	MESO	São Francisco
Lat	-8,67	Lat	-8,05	Lat	-8,02	Lat	-7,74	Lat	-9,39
Long	-35,15	Long	-34,92	Long	-36,07	Long	-37,65	Long	-40,52
1934	127,7	1962	149,2	1963	122,2	1915	36,5	1937	60
1935	148,7	1963	87,6	1964	67,6	1916	66,5	1938	56
1936	105,4	1964	125,5	1965	97,4	1917	68,5	1939	66,6
1937	134,2	1965	176,4	1966	122,4	1918	68,7	1940	72
1938	160,3	1966	208,5	1967	37,4	1919	68,2	1941	65,3
1939	58,5	1967	74,7	1968	58,2	1920	69,4	1942	111,4
1940	74,2	1968	101,3	1969	71,6	1921	54	1943	31,3
1941	80,3	1969	135,9	1970	70,2	1922	44,8	1944	76,5
1942	90,5	1970	335,8	1971	74	1923	53,2	1945	30,7
1943	122,2	1971	104,8	1972	50,6	1924	69,4	1946	54,4
1944	136,6	1972	85,6	1973	56,3	1925	40,1	1947	76,2
1945	61,2	1973	165,3	1974	29,8	1926	70,5	1948	42
1946	65,2	1974	98	1975	70,3	1927	36,7	1949	71
1947	170,7	1975	99	1976	79,2	1928	46,5	1950	42
1948	89,4	1976	106,6	1977	107,2	1929	67,3	1951	78,5
1949	80,5	1977	92	1978	50,1	1930	38,4	1952	46,4
1950	92,4	1978	97	1979	24,3	1931	65,5	1953	65
1951	78,4	1979	97,2	1980	52,4	1932	34,8	1954	56
1952	70,5	1980	159,7	1981	67,6	1933	52,7	1955	91
1953	86,2	1981	71	1982	46,2	1934	91,2	1956	64,6
1954	90,2	1982	104,7	1983	38,6	1935	69,4	1957	110
1955	67,1	1983	123,1	1984	134	1936	29,5	1958	27,7
1956	81,4	1984	100,4	1985	80,4	1937	75,3	1959	45,2
1957	79,1	1985	89,4	1986	67	1938	19,4	1960	156
1958	98,1	1986	235	1987	56	1939	108,4	1961	68,9
1959	98,3	1987	90	1988	37,6	1940	75,5	1962	49,5
1960	70,2	1988	114,4	1989	122	1941	40,2	1963	56
1961	84,2	1989	108,9	1990	42,8	1942	66,2	1964	156,5
1962	95,2	1990	176,4	1991	29,4	1943	100,6	1965	82,5
1963	128	1991	102,6	1992	47,3	1944	49,7	1966	98
1964	98,6	1992	92	1993	35	1945	39	1967	81,9
1965	42,1	1993	79,5	1994	40	1946	63,7	1968	48
1966	160,5	1994	146	1995	38,2	1947	54,4	1969	51,4

Continuação

1967	95,3	1995	120	1996	37	1948	70,6	1970	50
1968	80,1	1996	144	1997	35,2	1949	45	1971	51,9
1969	72,1	1997	85,6	1998	40	1950	120,8	1972	82,2
1970	150,5	1998	50,9	1999	35	1951	53,6	1973	85
1971	74,0	1999	81,3	2000	56,4	1952	59,8	1974	80
1972	90,5	2000	185,9	2001	56	1953	25,8	1975	65,9
1973	89,7	2001	74,6	2002	85	1954	48,9	1976	120,5
1974	86,4	2002	141,1	2003	50,2	1955	50,4	1977	72
1975	126,4	2003	145,7	2004	87	1956	54,3	1978	131,2
1976	64,5	2004	113,2	2005	69	1957	85,2	1979	64,6
1977	106,0	2005	141,1	2006	61,8	1958	80	1980	97,9
1978	95,5	2006	93,4	2007	36	1959	58,7	1981	59,1
1979	155,2	2007	118	2008	93	1960	73,2	1982	60,3
1980	148,6	2008	116	2009	92	1961	53,4	1983	83
1981	98,9	2009	122,8	2010	138	1962	49,3	1984	82,4
1982	62,8	2010	149,7	2011	55	1963	85	1985	73,4
1983	67,8	2011	135,8	2012	51,8	1964	77,2	1986	24,7
1984	130,6	2012	121,8	2013	31	1965	80,7	1987	24,7
1985	107,4	2013	119,8	2014	61	1966	75	1988	89,3
1986	120,8	2014	106,4	2015	48	1967	92,5	1989	24,7
1987	81,6	2015	139,3	2016	72,6	1968	95	1990	37
1988	124,0	2016	119,8	2017	52	1969	43,7	1991	49,5
1989	152,6	2017	73	-	-	1970	65,8	1992	62,5
1990	56,6	-	-	-	-	1971	78	1993	64
1991	110,0	-	-	-	-	1972	55,2	1994	77,2
1992	100,6	-	-	-	-	1973	69	1995	62
1993	60,4	-	-	-	-	1974	96	1996	33,9
1994	98	-	-	-	-	1975	95	1997	50
1995	125	-	-	-	-	1976	44	1998	30
1996	187,8	-	-	-	-	1977	47	1999	90
1997	161,3	-	-	-	-	1978	68	2000	45
1998	125,4	-	-	-	-	1979	45,4	2001	95
1999	80,5	-	-	-	-	1980	59,8	2002	50
2000	202,8	-	-	-	-	1981	115	2003	84
2001	105	-	-	-	-	1982	84,2	2004	77,5
2002	92	-	-	-	-	1983	61	2005	88
2003	83,5	-	-	-	-	1984	34,5	2006	47
2004	95	-	-	-	-	1985	25	2007	110
2005	82	-	-	-	-	1986	114	2008	30,6
2006	58	-	-	-	-	1987	47	2009	37,3
2007	117	-	-	-	-	1988	103	2010	35,5
2008	132,6	-	-	-	-	1989	89	2011	110
2009	117	-	-	-	-	1990	53,4	2012	86
2010	130	-	-	-	-	1991	97,8	2013	13

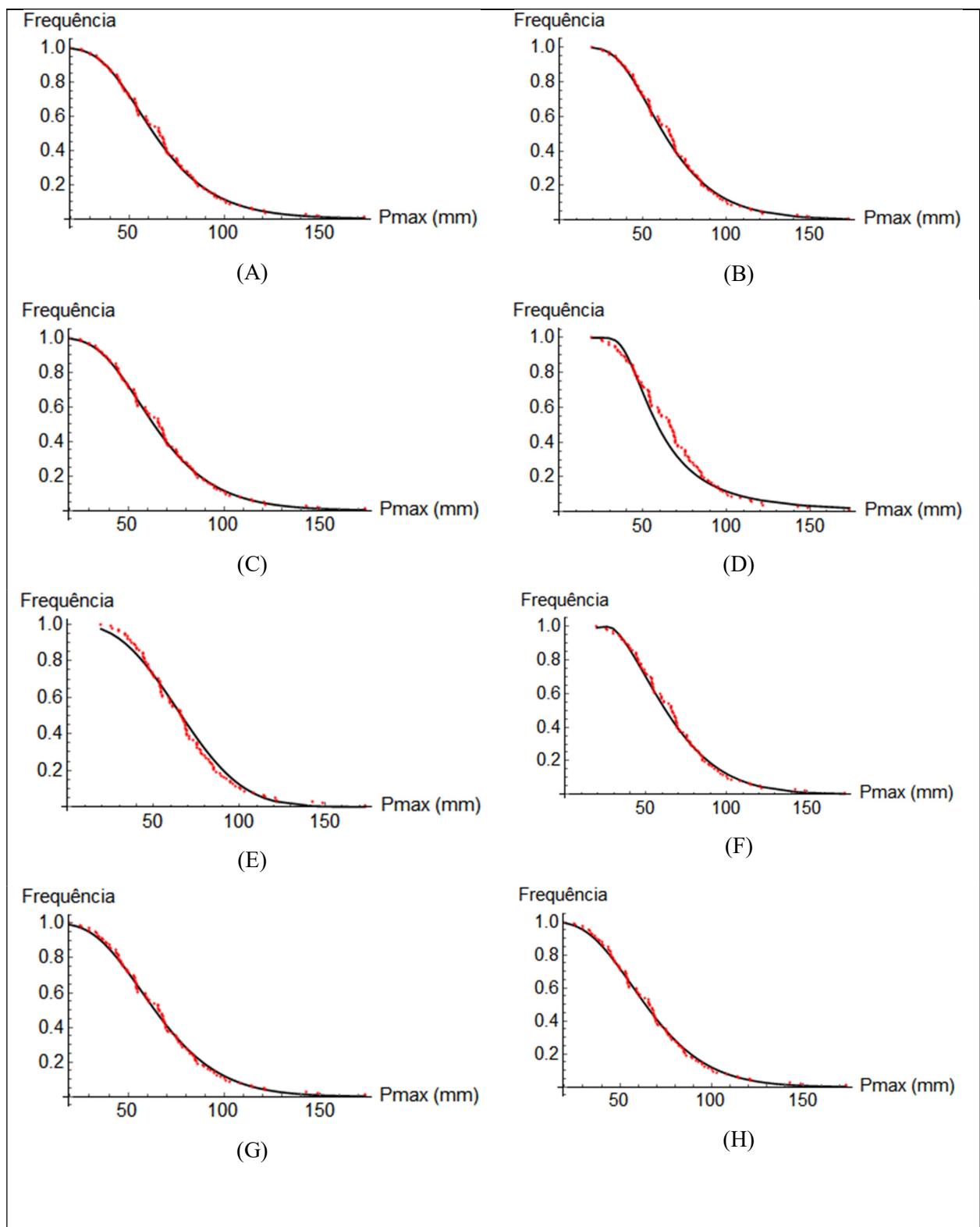
Continuação

2011	130	-	-	-	-	1992	47,6	2014	37
2012	59	-	-	-	-	1993	33,6	2015	37
2013	100	-	-	-	-	1994	60,8	-	-
2014	126	-	-	-	-	1995	82,4	-	-
2015	94,3	-	-	-	-	1996	86,4	-	-
2016	106	-	-	-	-	1997	121,2	-	-
2017	211	-	-	-	-	1998	67,8	-	-
-	-	-	-	-	-	1999	65,4	-	-
-	-	-	-	-	-	2000	43,4	-	-
-	-	-	-	-	-	2001	89,4	-	-
-	-	-	-	-	-	2002	76,4	-	-
-	-	-	-	-	-	2003	41,2	-	-
-	-	-	-	-	-	2004	75	-	-
-	-	-	-	-	-	2005	59,2	-	-
-	-	-	-	-	-	2006	148,6	-	-
-	-	-	-	-	-	2007	33,2	-	-
-	-	-	-	-	-	2008	83,4	-	-
-	-	-	-	-	-	2009	82,2	-	-
-	-	-	-	-	-	2010	55,2	-	-
-	-	-	-	-	-	2011	142,4	-	-
-	-	-	-	-	-	2012	100,2	-	-
-	-	-	-	-	-	2013	29,5	-	-
-	-	-	-	-	-	2014	44,7	-	-
-	-	-	-	-	-	2015	77,3	-	-
-	-	-	-	-	-	2016	84,9	-	-
-	-	-	-	-	-	2017	54,5	-	-

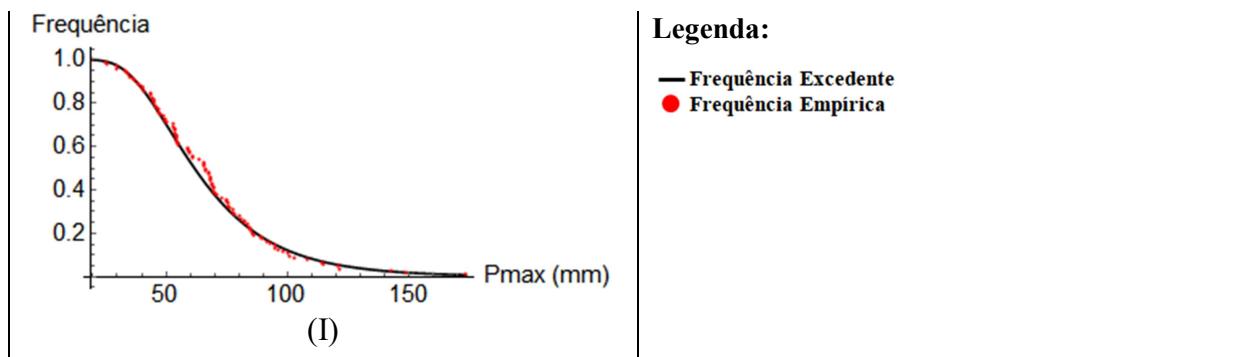
Fonte: o Autor (2019)

## APÊNDICE B – Distribuições dos modelos probabilísticos

Figura B.1 Distribuições dos modelos probabilísticos para a cidade de Afogados da Ingazeira (MOM): (A) = GUM; (B)=LN; (C)=GEV; (D)=FRE; (E)= W2P; (F)=W3P; (G)= GAM; (H)= PER; (I)=LP3.

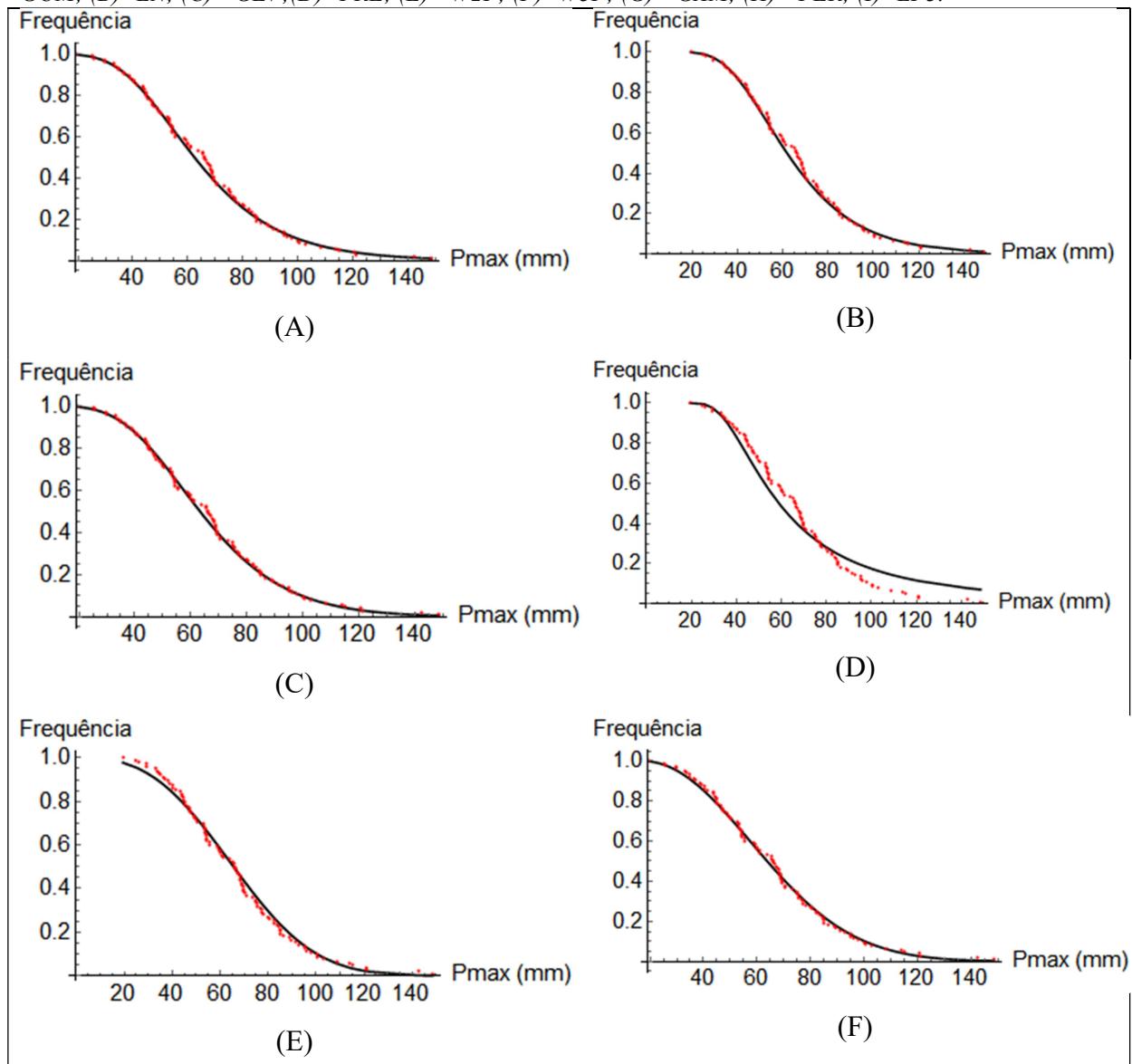


Continuação

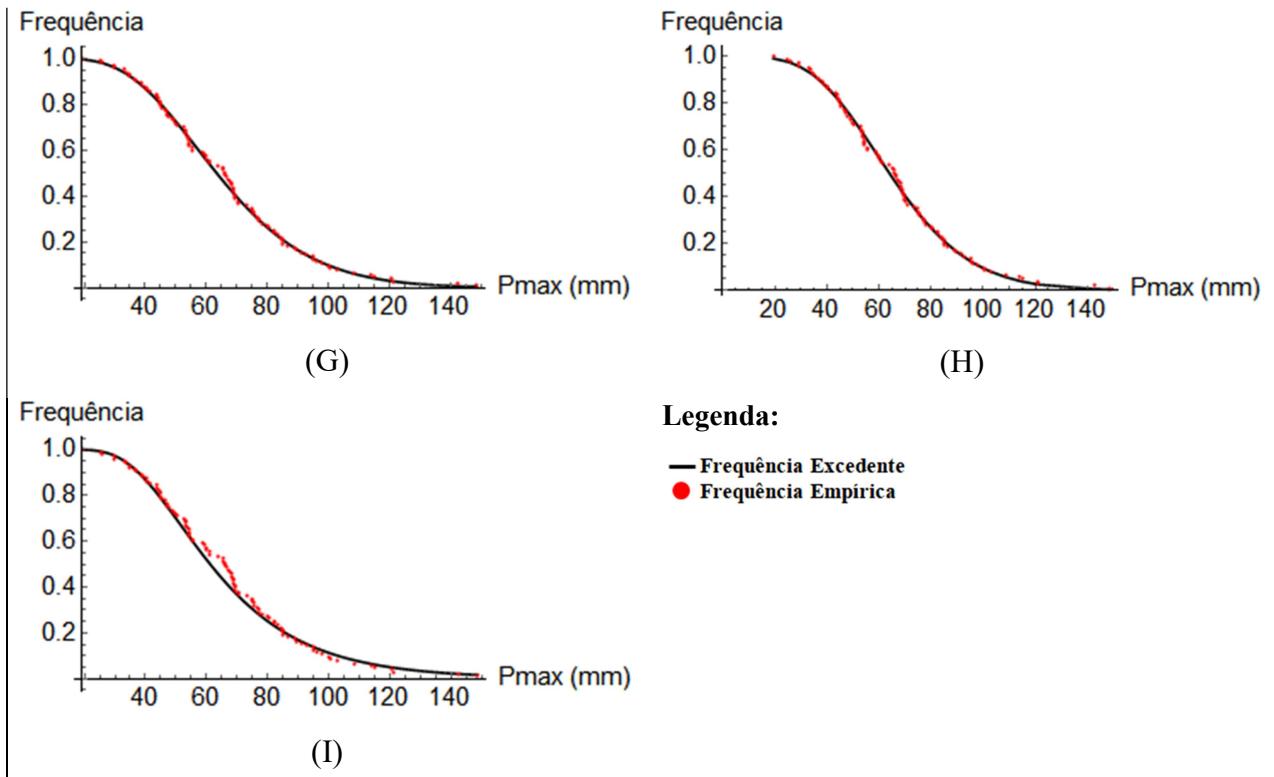


Fonte: o Autor (2019)

Figura B.2 Distribuições dos modelos probabilísticos para a cidade de Afogados da Ingazeira (MVS): (A) = GUM; (B)=LN; (C)= GEV; (D)=FRE; (E)= W2P; (F)=W3P; (G)= GAM; (H)= PER; (I)=LP3.

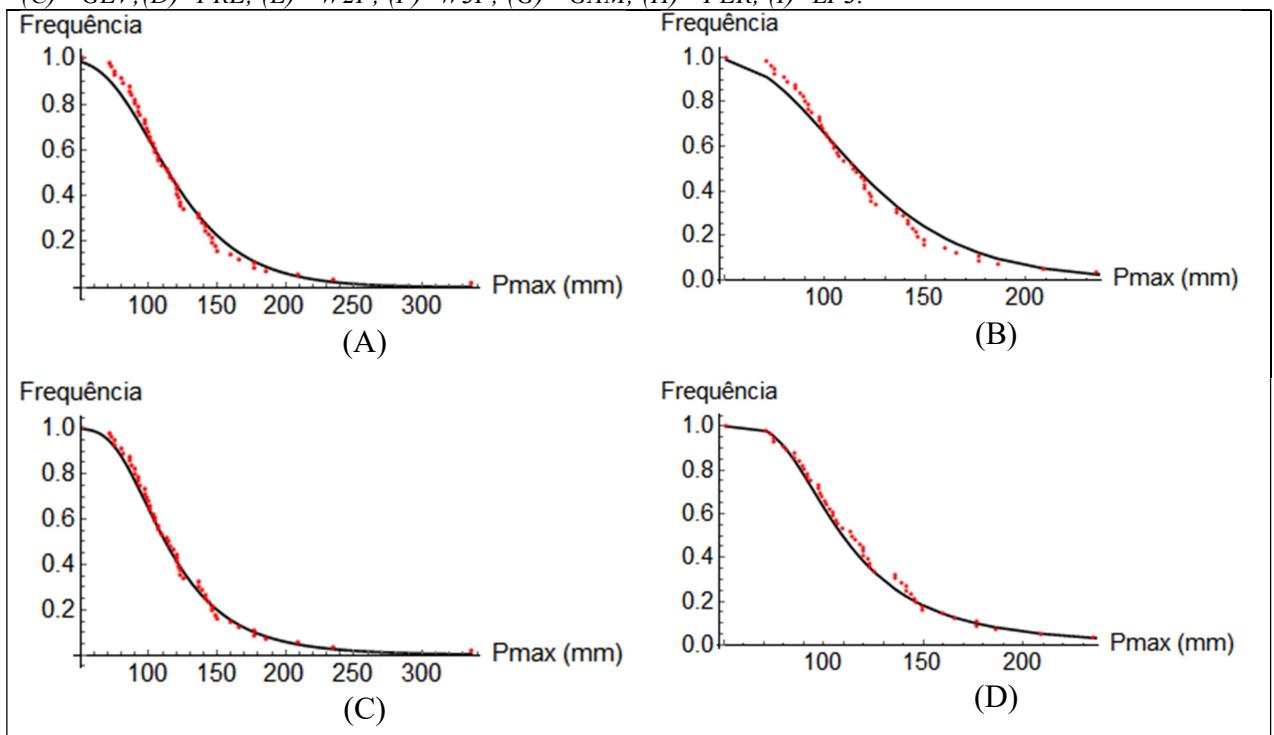


(Continuação)



Fonte: o Autor (2019)

Figure B.3 Distribuições dos modelos probabilísticos para a cidade de Recife (MOM): (A) = GUM; (B)=LN; (C)=GEV;(D)=FRE; (E)= W2P; (F)=W3P; (G)= GAM; (H)= PER; (I)=LP3.



(Continuação)

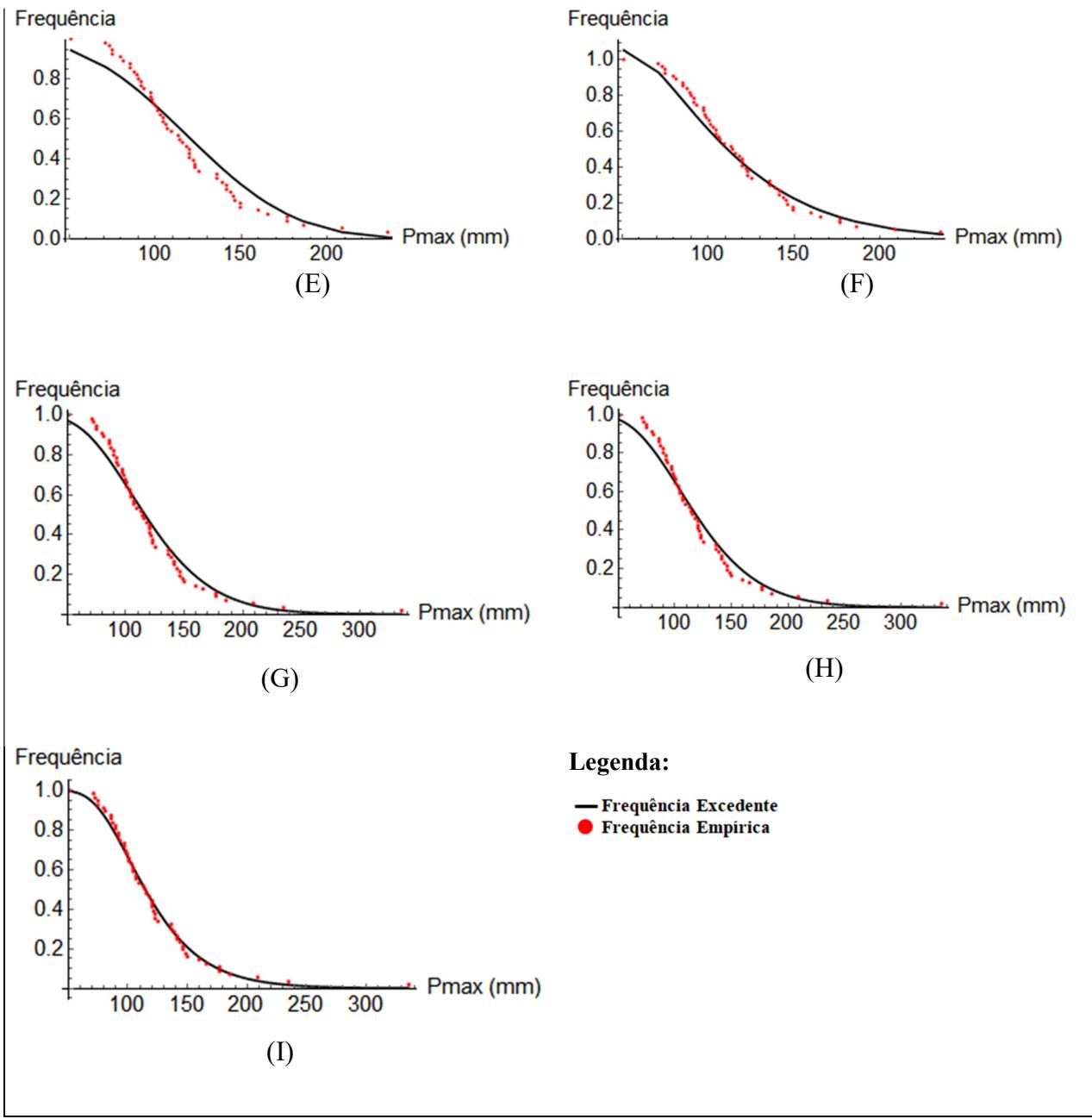
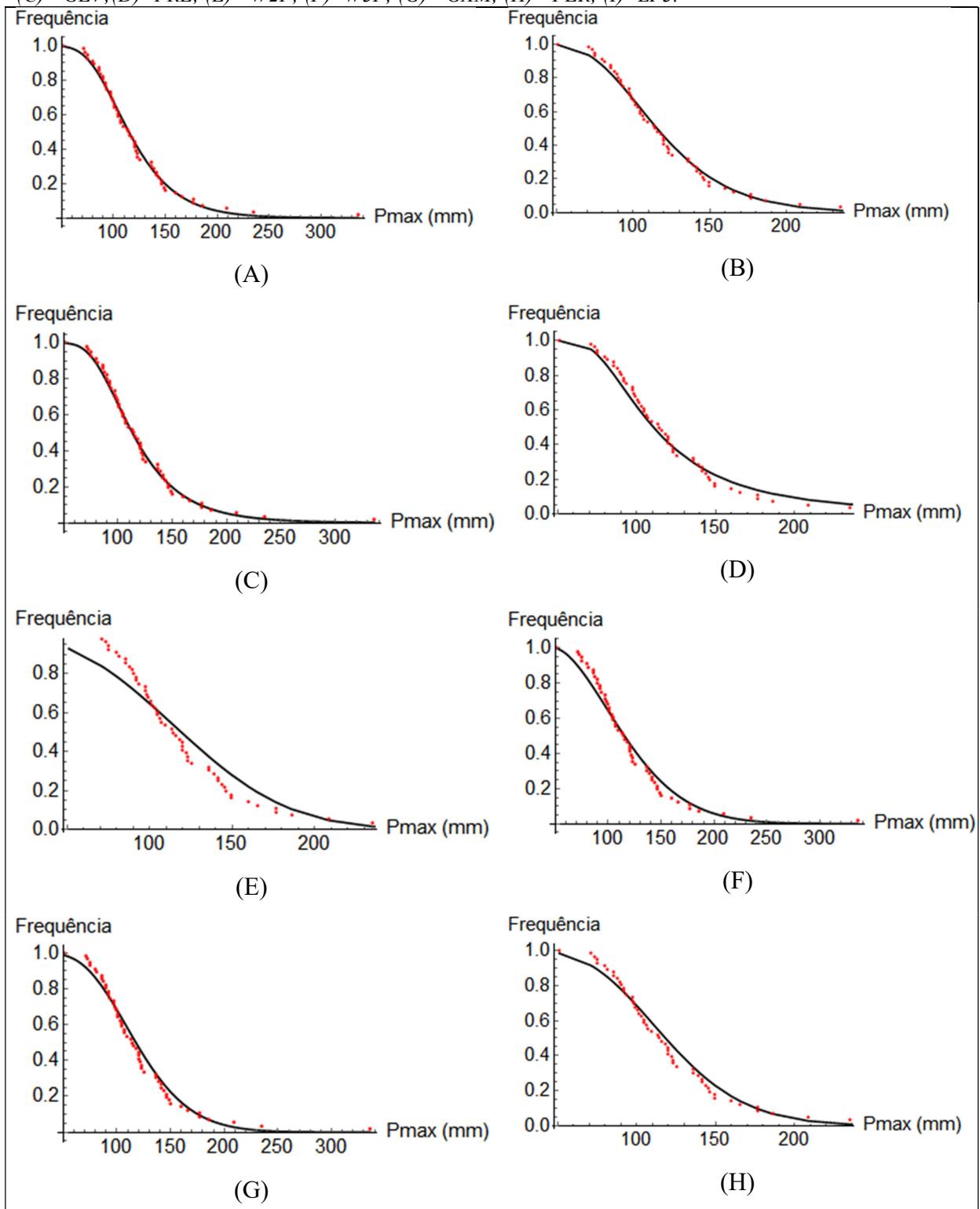
*Fonte O Autor (2019)*

Figure B.4 Distribuições dos modelos probabilísticos para a cidade de Recife (MVS): (A) = GUM; (B)=LN; (C)= GEV; (D)=FRE; (E)= W2P; (F)=W3P; (G)= GAM; (H)= PER; (I)=LP3.



(Continuação)

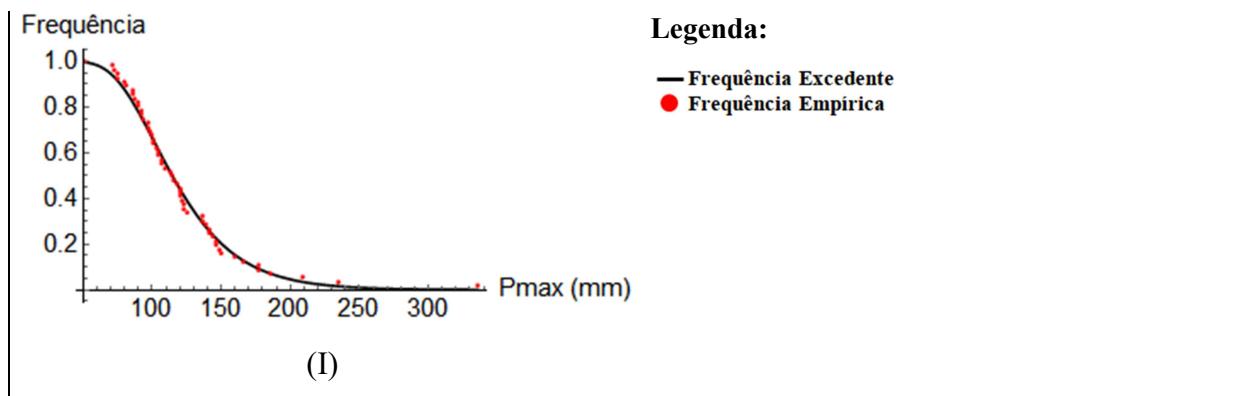
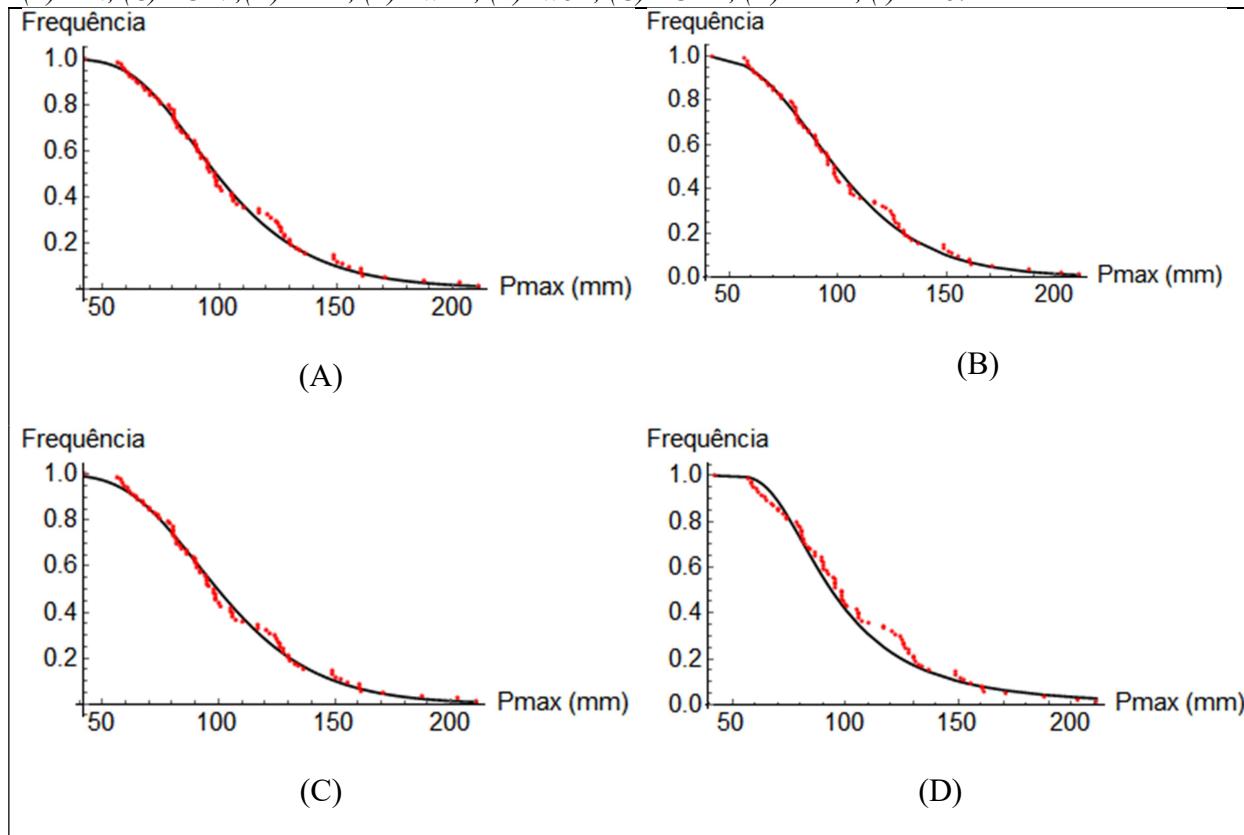
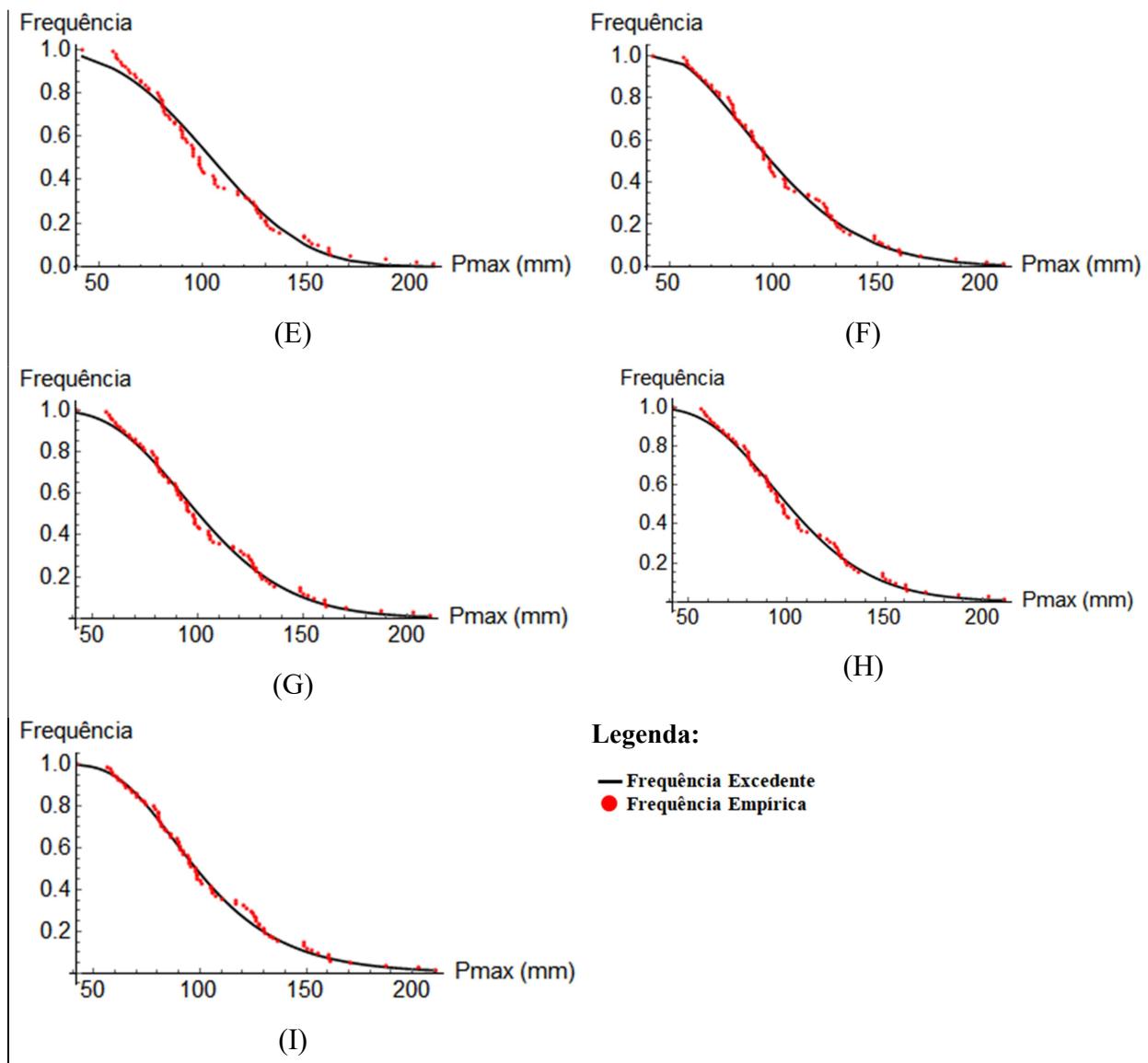
*Fonte O Autor (2019)*

Figura B.5 - Distribuições dos modelos probabilísticos para a cidade de Rio Formoso (MOM): (A) = GUM; (B)=LN; (C)= GEV; (D)=FRE; (E)= W2P; (F)=W3P; (G)= GAM; (H)= PER; (I)=LP3.

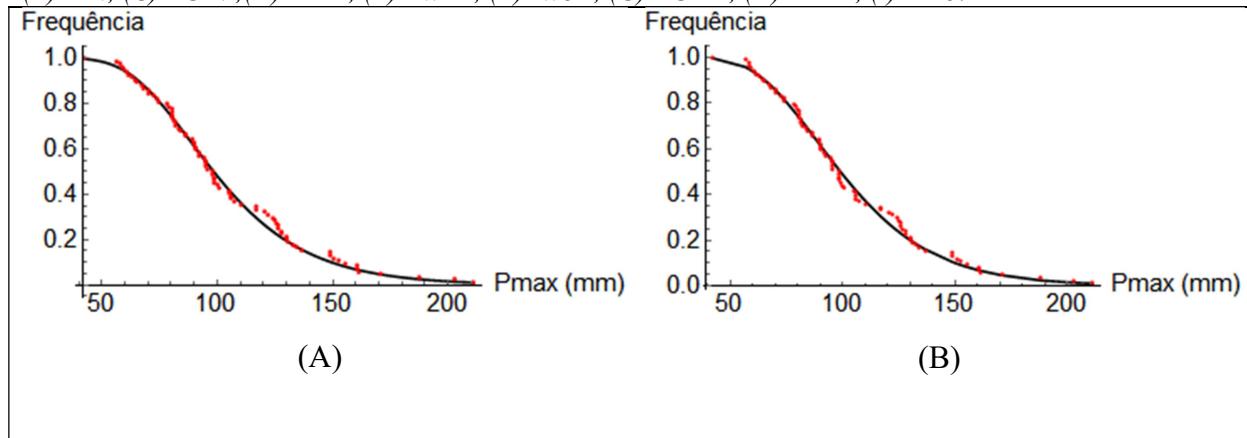


(Continuação)

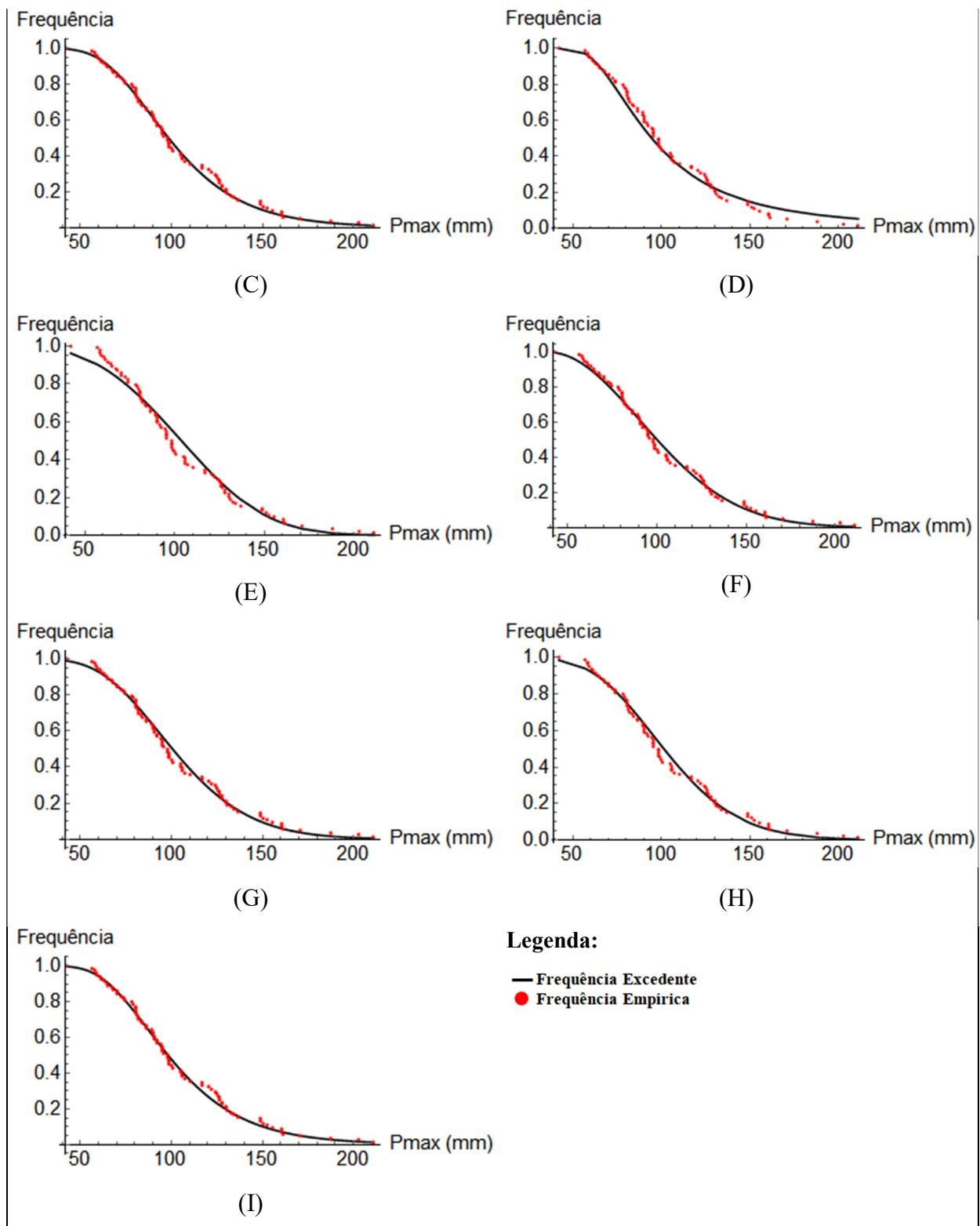


Fonte: O Autor (2019)

Figura B.6 - Distribuições dos modelos probabilísticos para a cidade de Rio Formoso (MVS): (A) = GUM; (B)=LN; (C)= GEV; (D)=FRE; (E)= W2P; (F)=W3P; (G)= GAM; (H)= PER; (I)=LP3.

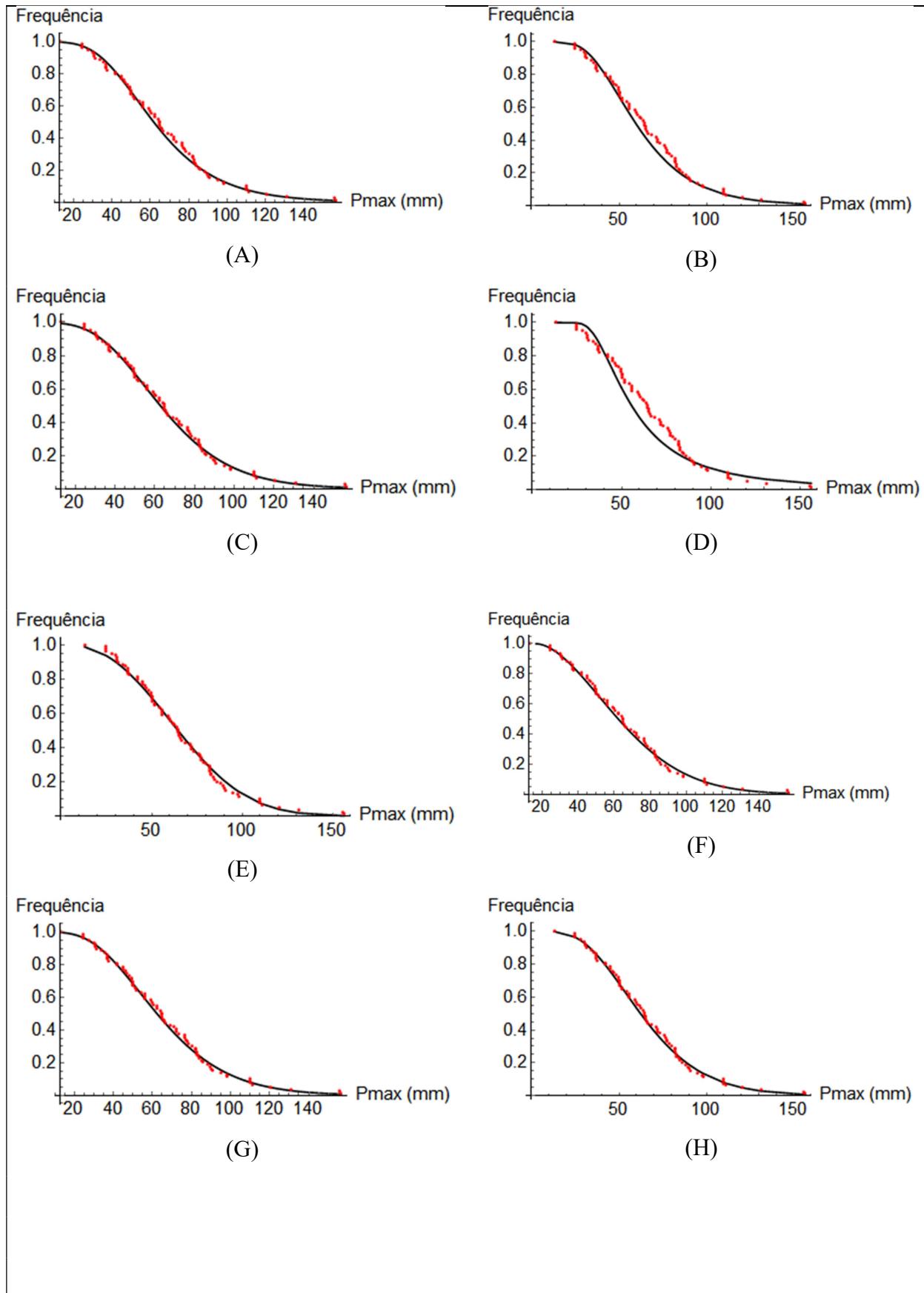


(Continuação)

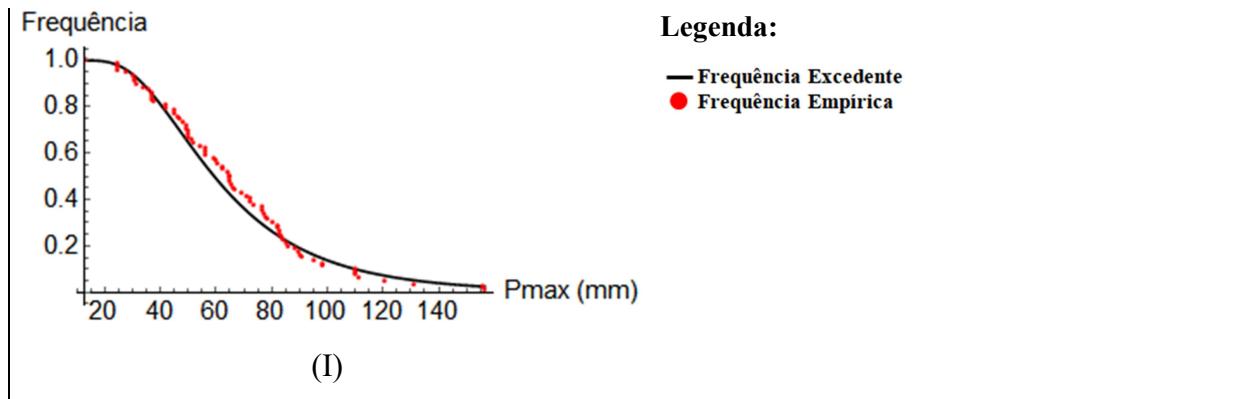


Fonte: O Autor (2019)

Figura B.7 - Distribuições dos modelos probabilísticos para a cidade de Petrolina (MOV): (A) = GUM; (B)=LN; (C)= GEV; (D)=FRE; (E)= W2P; (F)=W3P; (G)= GAM; (H)= PER; (I)=LP3.

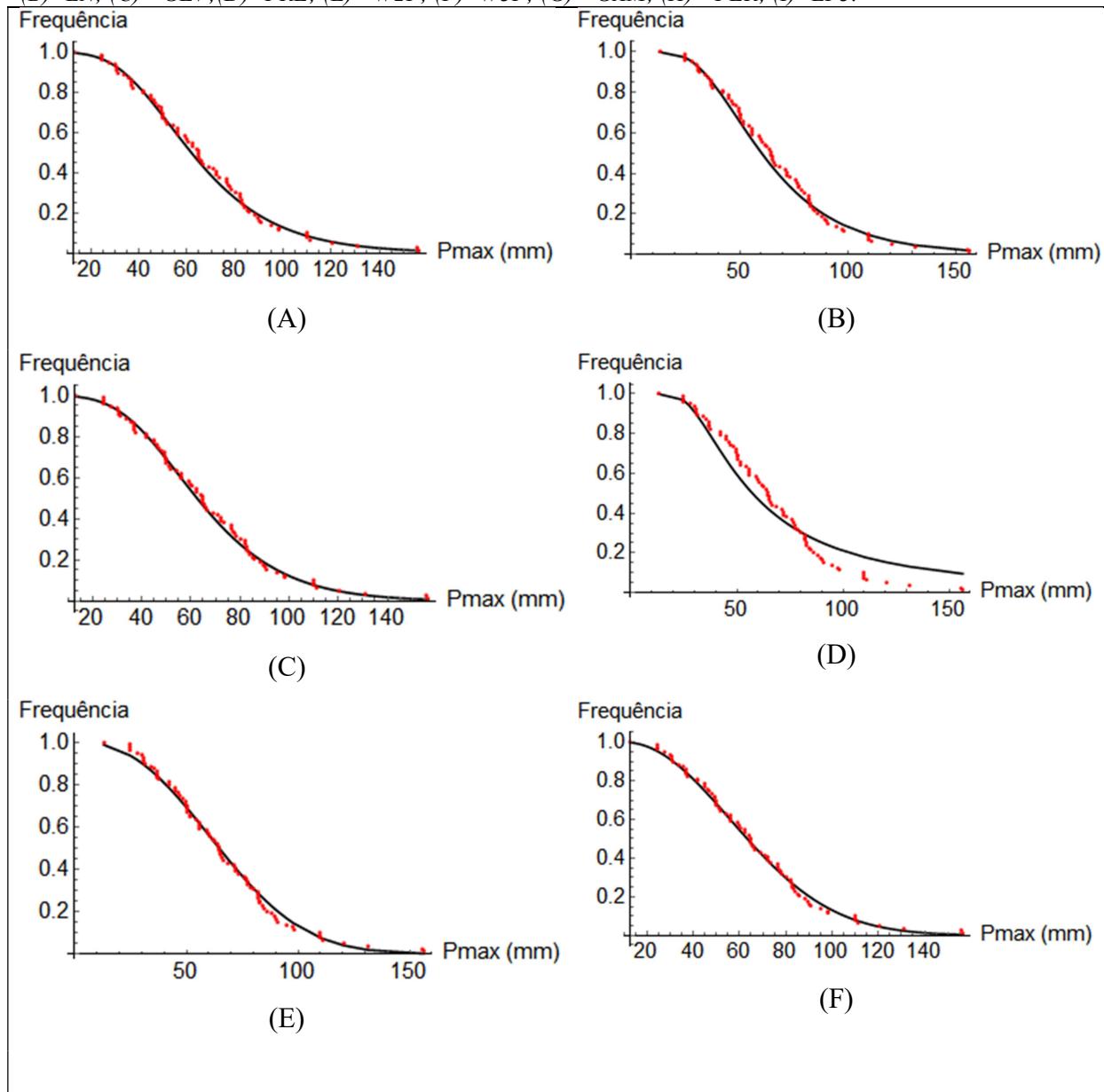


(Continuação)



Fonte: O Autor (2019)

Figura B.8 - Distribuições dos modelos probabilísticos para a cidade de Petrolina (MVS): (A) = GUM; (B)=LN; (C)= GEV; (D)=FRE; (E)= W2P; (F)=W3P; (G)= GAM; (H)= PER; (I)=LP3.



(Continuação)

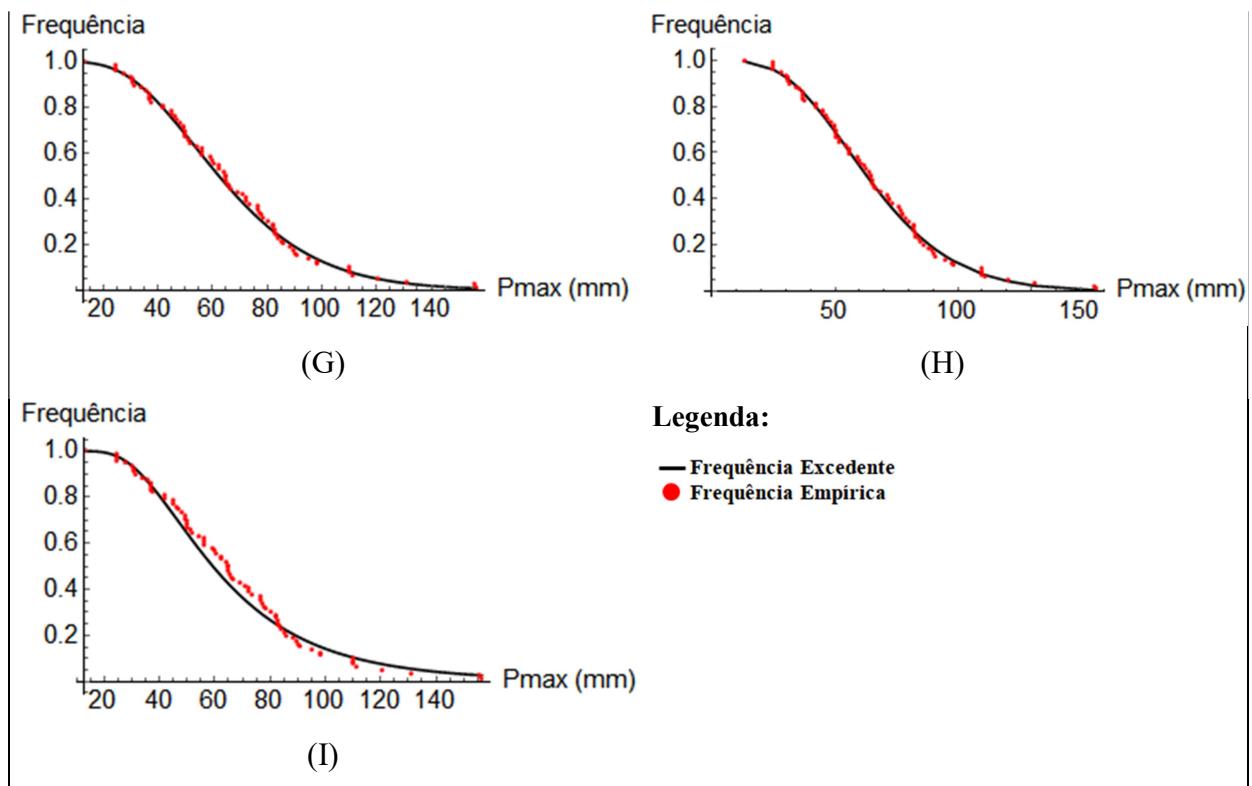
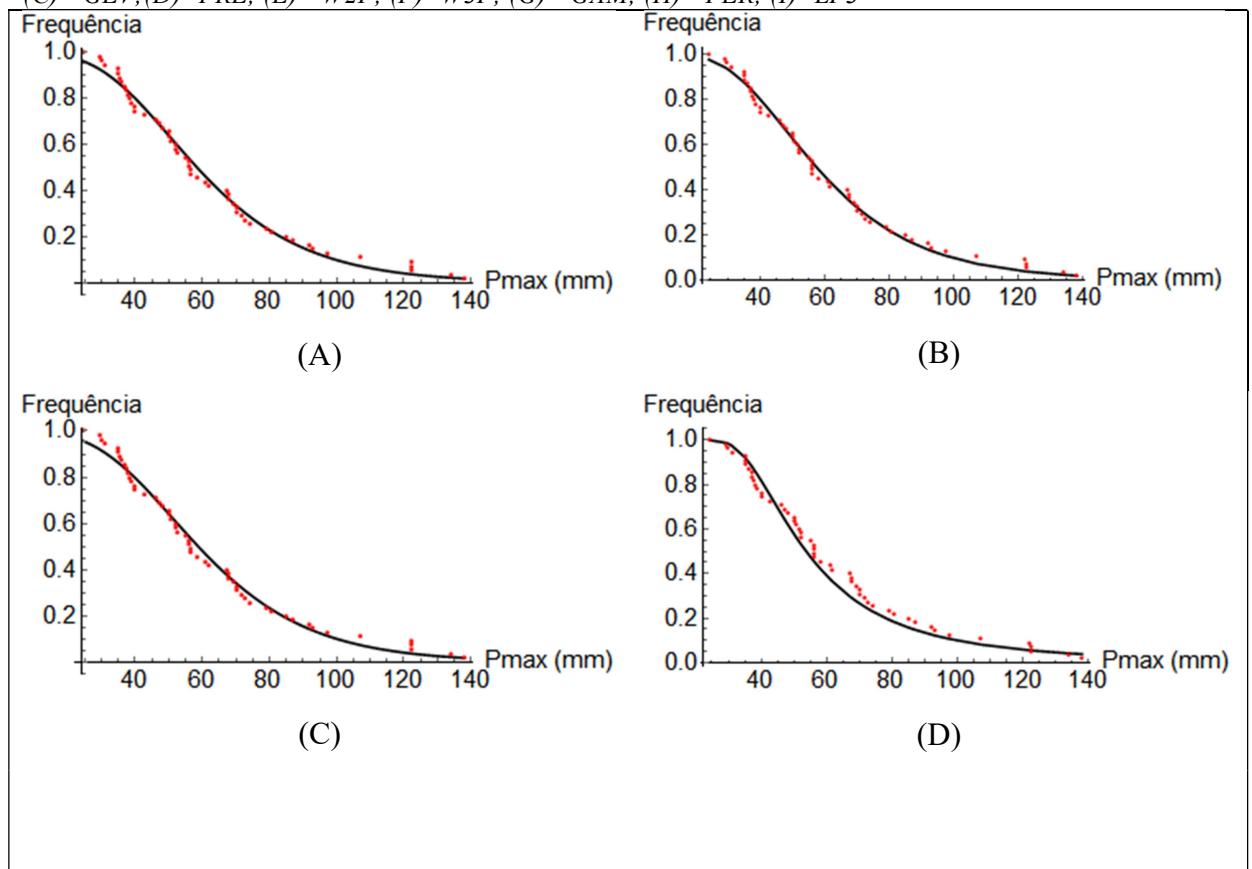


Figura B.9 Distribuições dos modelos probabilísticos para a cidade de Toritama (MOM): (A) = GUM; (B)=LN; (C)=GEV; (D)=FRE; (E)=W2P; (F)=W3P; (G)=GAM; (H)=PER; (I)=LP3



(Continuação)

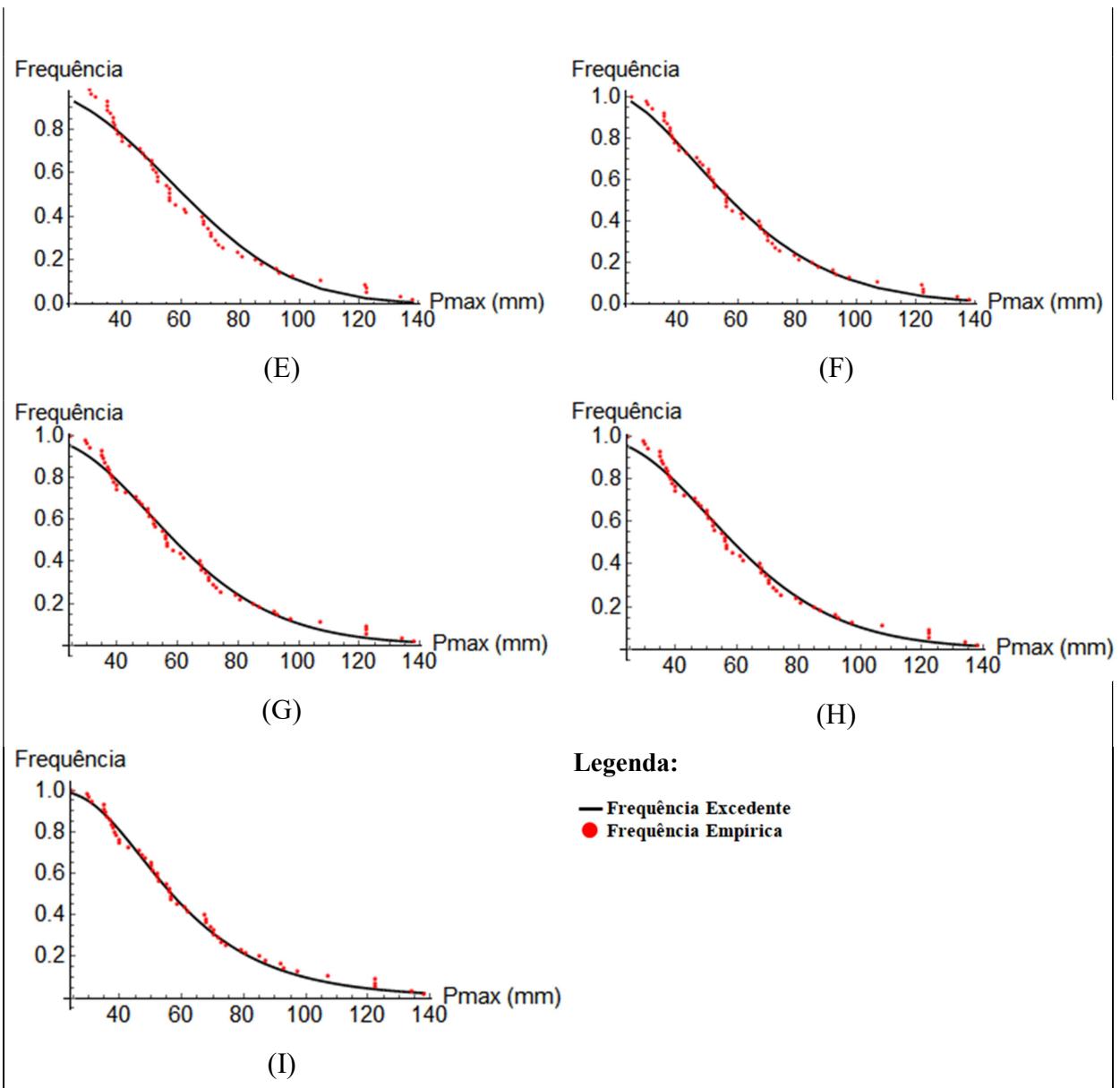
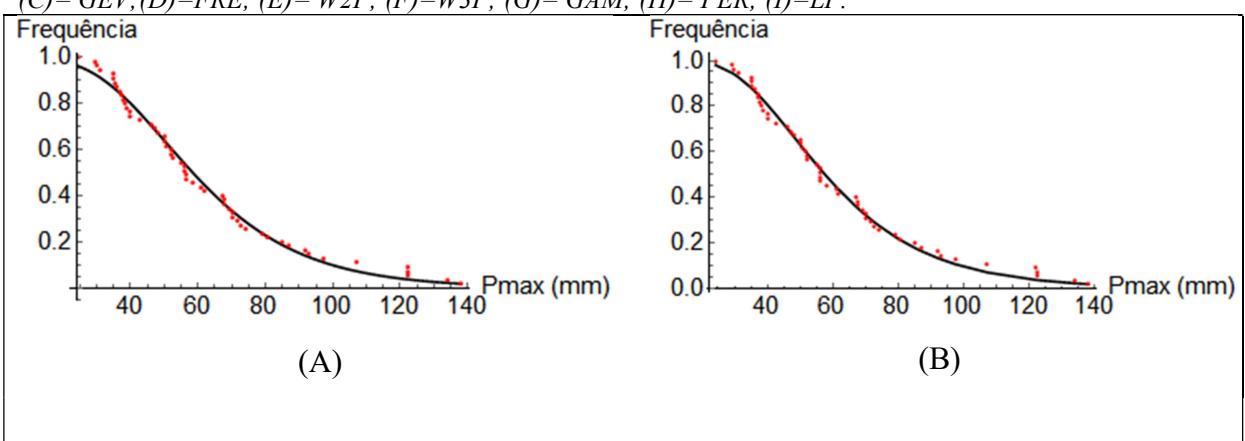
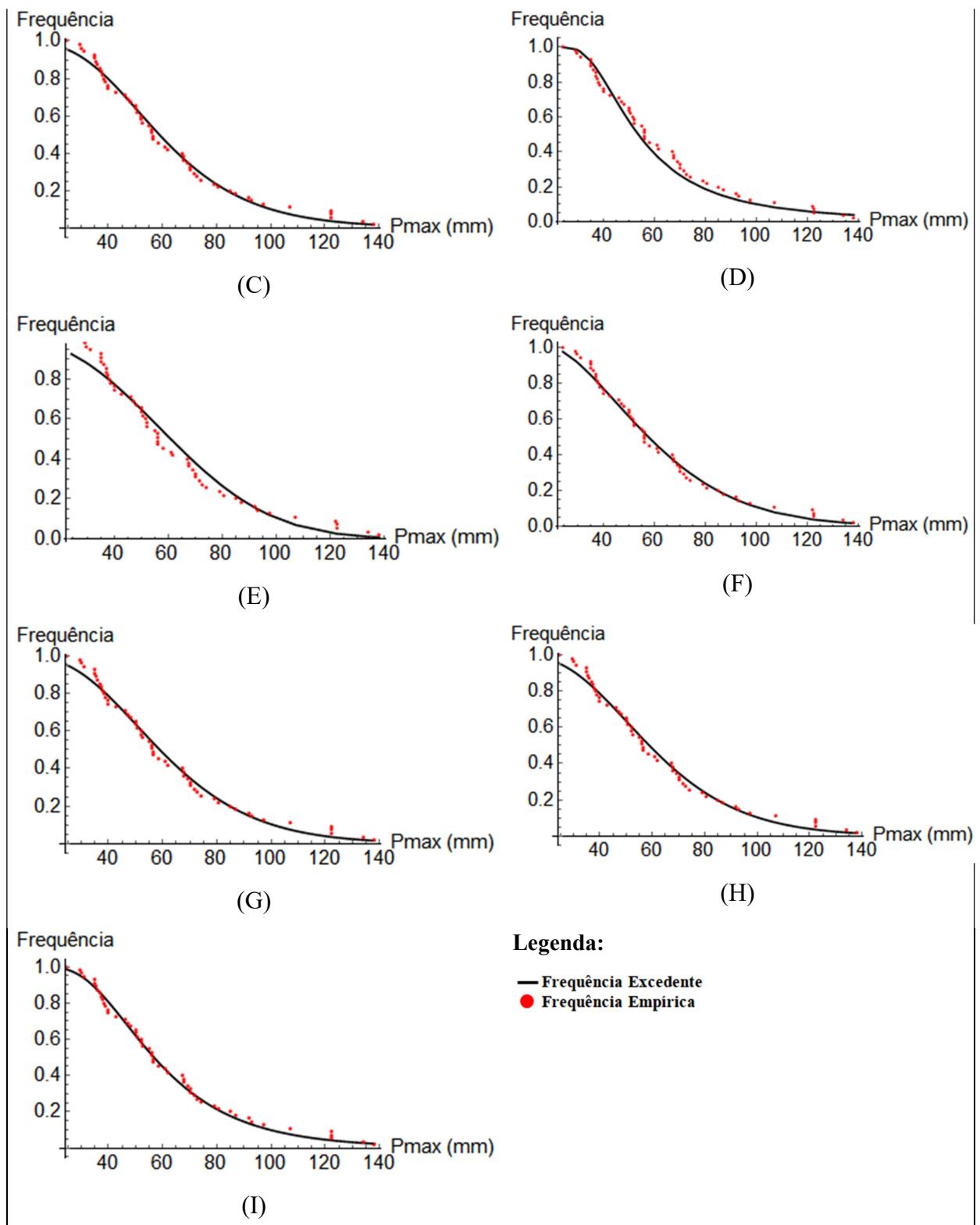


Figura B.10 Distribuições dos modelos probabilísticos para a cidade de Toritama (MVS): (A) = GUM; (B)=LN; (C)=GEV;(D)=FRE; (E)= W2P; (F)=W3P; (G)= GAM; (H)= PER; (I)=LP.



(Continuação)



Fonte: O Autor (2019).