



Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Recursos Naturais da Amazônia

REGIONALIZAÇÃO E ESTIMATIVA DE CHUVAS DO ESTADO DO PARÁ

Mariane Furtado Gonçalves

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, PRODERNA/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais.

Orientador: Claudio José Cavalcante Blanco.

Belém
Abril de 2014

REGIONALIZAÇÃO E ESTIMATIVA DE CHUVAS DO ESTADO DO PARÁ

Mariane Furtado Gonçalves

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA (PRODERNA/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS.

Examinada por:

Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.
(FAESA/UFPA-Orientador)

Prof. João Nazareno Nonato Quaresma, D.Sc.
(FEQ/UFPA-Membro)

Prof. Lindemberg Lima Fernandes, D.Sc.
(FAESA/UFPA-Membro)

Prof. Edson José Paulino da Rocha, D.Sc.
(FAMET/UFPA-Membro)

Prof. Francisco de Assis Salviano de Sousa, D.Sc.
(DCA/UFPA-Membro)

BELÉM, PA – BRASIL

ABRIL DE 2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Gonçalves, Mariane Furtado, 1983-
Regionalização e estimativa de chuvas do
estado do Pará / Mariane Furtado Gonçalves. -
2014.

Orientador: Claudio José Cavalcante Blanco.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do
Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais
da Amazônia, Belém, 2014.

1. Precipitação (Meteorologia) - Pará. 2.
Chuvas - medição - Pará. 3. Probabilidade -
modelos. I. Título.

CDD 22. ed. 551.57098115

Este trabalho é dedicado à minha família e amigos que sempre apoiaram, incentivaram e de alguma forma contribuíram para a elaboração do mesmo. Em particular aos meus pais, pela confiança e incentivo durante toda a minha vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Claudio José Cavalcante Blanco pela orientação, incentivo, compreensão e ajuda na elaboração do trabalho.

Aos Professores Francisco de Assis Sousa, Edson José Paulino Rocha, Lindemberg Lima Fernandes e João Nazareno Nonato Quaresma, pela contribuição com sugestões e disponibilização dos dados para o trabalho.

Aos colegas do PRODERNA pelo incentivo e colaboração. Em especial a Lorena Corumbá, Patrícia Holanda, Francisco Pessoa, Igor Gomide e Junior Ishihara pela parceria em estudos.

Aos alunos de Trabalho de Conclusão de Curso e Bolsistas de Iniciação Científica, que de alguma forma contribuíram com informações e dados para a elaboração do trabalho, e em especial a Vanessa Santos e Luciana Leal.

À CAPES pela bolsa ofertada.

Aos meus familiares e amigos, por acreditarem em mim e pelo incentivo em meus estudos.

E principalmente a Deus, por ter me concedido a força necessária para concluir este trabalho.

Resumo da Tese apresentada ao PRODERNA/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais (D.Eng.)

REGIONALIZAÇÃO E ESTIMATIVA DE CHUVAS DO ESTADO DO PARÁ

Mariane Furtado Gonçalves

Abril/2014

Orientador: Cláudio José Cavalcante Blanco

Área de Concentração: Uso e Transformação de Recursos Naturais

Na região Amazônica, um dos fatores que impede o conhecimento mais abrangente dos recursos hídricos é a falta de dados hidrológicos (vazão e precipitação) das pequenas e médias bacias hidrográficas. Isto se dá principalmente em virtude da dimensão da região, o que aumenta os custos de implantação e operacionalização da rede. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um modelo de regionalização e estimativa de chuvas para o estado do Pará. Assim, foi aplicada uma metodologia para delimitação de regiões homogêneas de precipitação, através da análise de agrupamento, em seguida foi determinada a probabilidade de ocorrência de lâminas de chuva para região pluviometricamente homogênea obtida com a análise de agrupamento, através da aplicação de funções de probabilidade; e por último foram determinadas estimativas de lâminas de chuvas, utilizando-se modelos de regressão múltipla. Para todas as etapas, utilizaram-se valores de precipitações médias anuais e mensais, de uma série histórica com 31 anos (período de 1960 - 1990), obtidos no site do Centro de Pesquisa Climática, Departamento de geografia, Universidade de Delaware, Newark, DE, E.U.A. Dentre os anos analisados, foram selecionados anos com ocorrência do fenômeno El Niño e La Niña. Utilizando-se o método hierárquico aglomerativo de Ward, tendo como medida de similaridade a distância euclidiana, para precipitações médias anuais e mensais, foram encontradas seis regiões homogêneas de precipitação, exceto para precipitações médias mensais para séries com ocorrência de El Niño e La Niña, que apresentaram quatro e cinco regiões homogêneas, respectivamente.

Após a definição das regiões homogêneas, modelos de probabilidades (Normal, Gumbel e Exponencial) foram ajustados para a determinação de lâminas de chuvas nas três sequências de séries históricas, sendo aplicado o teste Qui-quadrado para esta verificação. Após a etapa de calibração, para precipitações médias anuais, constatou-se que o modelo de distribuição Normal ajustou-se melhor a probabilidade de excedência observada; já para precipitações médias mensais o modelo de distribuição Gumbel obteve melhor aderência às frequências de excedência. Os modelos supracitados foram validados, utilizando as séries pluviométricas de 12 estações da Agência Nacional de Águas (ANA), consideradas como estações alvo. Nesta etapa, foi observado que para precipitação média anual, ocorreu aderência dos dados a todas as estações pluviométricas alvo, pois apresentaram resultados da aplicação do teste qui-quadrado inferior a 3,84 (para funções de distribuição normal). E também se constatou que para precipitação média mensal, houve aderência dos dados a todas as estações pluviométricas alvo. Para simulação de lâminas de precipitação, foram testados na calibração, modelos de Potência, segundo modelo de Potência e Linear através do método de regressão múltipla. Como critério de desempenho dos modelos, foi utilizado o erro relativo percentual. Para série histórica contendo todos os anos e séries com ocorrência de La Niña, o modelo que apresentou menor erro relativo percentual foi o Linear. Já para séries com ocorrência de El Niño, o modelo de Potência apresentou menores erros. Assim como, para os modelos probabilísticos, os resultados da calibração dos modelos de regressão múltipla, foram validados com a utilização de estações pluviométricas da ANA. Na etapa de validação para séries contendo todos os anos os erros percentuais variaram de 0,2-39,2%, já quando utilizado em anos de El Niño houve um aumento do erro, variando 1,9-54,8%, e em anos de La Niña de 8,5-55,9%. Apesar de algumas estimativas terem erros consideráveis, acima de 50%, os resultados obtidos, de forma geral, demonstraram que a metodologia pode ser uma boa opção como ferramenta numérica para regionalização e estimativa de chuvas. Os resultados da aplicação dessa metodologia são importantes para um melhor entendimento do regime pluviométrico do Estado do Pará e da Amazônia, podendo servir como ferramenta para um melhor planejamento e gestão de recursos hídricos da região.

Abstract of Thesis presented to PRODERNA/UFFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Natural Resources Engineering (D.Eng.)

**REGIONALIZATION AND ESTIMATIVE OF RAINFALL IN STATE OF
PARÁ**

Mariane Furtado Gonçalves

April/2014

Advisor: Cláudio José Cavalcante Blanco

Research Area: Use and Transformation of Natural Resources

In Amazon region, a factor which prevents the most comprehensive knowledge of water resources is the lack of hydrological data (flow and precipitation) of small and medium-sized watersheds. This is mainly due to size of the region, which increases the costs of implementation and operation of the network. In this context, this work aims to develop a model of regionalization and estimated rainfall for the state Pará. For this, we applied a methodology for delineation of homogeneous regions of precipitation through the cluster analysis. It was then determined probability of rain for some point rainfall homogeneous region obtained with the cluster analysis by applying probability functions, and finally was given estimates of rainfall heights, using multiple. For every step we used annual and monthly averages precipitation of a time series of 31 years (period 1960-1990), obtained at the Center for Climatic Research, Department of Geography, University of Delaware, Newark site, DE, USA. Among the analyzed years, years were selected with the occurrence of El Niño and La Niña. Using the agglomerative hierarchical Ward method, having as similarity measure the Euclidean distance for annual and monthly rainfall averages six homogeneous regions of precipitation were found, except for monthly averages for rainfall series with the occurrence of El Niño and La Niña, who has four and five homogeneous regions, respectively. After the definition of homogeneous regions, probability models (Normal, Gumbel and Exponential) were fitted to determine the heights of the three sequences of rainfall time series, applied the chi-square test for this check. After the calibration step to annual rainfall, it was found that the model is best fit normal distribution the

probability of exceedance observed, since average monthly precipitation for the Gumbel distribution model got better grip frequencies of exceedance. The above models were validated using the rainfall series of 12 stations of the Agência Nacional de Água (ANA), considered as target stations. At this stage, it was observed that to mean annual rainfall occurred adherence of the data to all the rainfall stations targeted because they presented the results of applying the chi-square test less than 3.84 (for normal distribution functions). And it was also found that for average monthly rainfall, there was adherence of the data to all the rainfall stations target. To simulate rainfall heights were tested for calibration models of power, according to Power and Linear model by means of multiple regression. As a criterion of performance models, the percentage relative error was used. For time series containing series every year and with the occurrence of La Niña, the model showed a lower relative. As for series with the occurrence of El Niño, the model of power had minor errors. As for the probabilistic models, the calibration results of the multiple regression models were validated with the use of rainfall stations of the ANA. In the validation step for series containing every year the percentage errors ranging from 0.2 to 39.2%, as when used in El Niño years there has been an increase in error ranging from 1.9 to 54.8%, and La Niña years from 8.5 to 55.9%. Although some estimates have had considerable errors, above 50%. The results of applying this methodology are important for a better understanding of rainfall in the state of Pará and the Amazon, and can serve as a tool for better planning and management of water resources in the region.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO..... | 3 |
| 1.2. OBJETIVOS..... | 4 |
| 1.2.1. Objetivo Geral | 4 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos | 4 |
| CAPÍTULO 2. REVISÃO DA LITERATURA | 5 |
| 2.1. INTRODUÇÃO..... | 5 |
| 2.2. CARACTERIZAÇÃO DA CHUVA..... | 5 |
| 2.2.1. Aspectos Gerais | 5 |
| 2.2.2. Formação e Tipos de Precipitações | 6 |
| 2.2.2.1. Formação | 6 |
| 2.2.2.2. Tipos | 7 |
| 2.2.3. Grandezas e Medidas das Precipitações | 9 |
| 2.3 ANOS DE EL NIÑO E LA NIÑA | 11 |
| 2.4. DETERMINAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS | 15 |
| 2.5. MODELOS DE ESTIMATIVA DE CHUVA | 18 |
| 2.5.1. Funções de Distribuição de Probabilidade - FDP..... | 19 |
| 2.5.2. Regressão Múltipla..... | 21 |
| CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 23 |
| 3.1. INTRODUÇÃO..... | 23 |
| 3.2. ÁREA DE ESTUDO | 23 |
| 3.3. BANCO DE DADOS | 26 |
| 3.4. DETERMINAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS | 28 |
| 3.4.1. Análise de Agrupamento | 28 |
| 3.4.3.1. Métodos de Agrupamento | 30 |
| 3.4.3.2. Medidas de Similaridade | 36 |
| 3.4.4. Determinação de Regiões Homogêneas | 39 |
| 3.4.4.1. Aplicação do Agrupamento..... | 39 |
| 3.5. MODELOS DE ESTIMATIVA DE CHUVA | 41 |

| | |
|---|------------|
| 3.5.1. Funções de Distribuição de Probabilidade - FDP..... | 41 |
| 3.5.1.1. Calibração do Modelo Probabilístico | 47 |
| 3.5.1.2. Validação do Modelo Probabilístico | 47 |
| 3.5.2. Regressão Múltipla..... | 48 |
| 3.5.2.1. Calibração dos Modelos de Regressão Múltipla | 52 |
| 3.5.2.2. Validação dos Modelos de Regressão Múltipla | 52 |
| CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 54 |
| 4.1. INTRODUÇÃO..... | 54 |
| 4.2. REGIÕES HOMOGÊNEAS | 54 |
| 4.2.1. Análise de Agrupamento | 54 |
| 4.2.2. Análise de Sensibilidade..... | 54 |
| 4.2.3. Agrupamento em Regiões Homogêneas..... | 59 |
| 4.3. MODELOS DE ESTIMATIVA DE CHUVA | 65 |
| 4.3.1. Funções de Probabilidade..... | 65 |
| 4.3.1.1. Calibração | 66 |
| 4.3.1.2. Validação | 82 |
| 4.3.2. Regressão Múltipla | 97 |
| 4.3.2.1. Calibração | 97 |
| 4.3.2.2. Validação | 111 |
| CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO | 127 |
| 5.1. SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS..... | 128 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 129 |
| APÊNDICE I..... | 140 |
| APÊNDICE II..... | 158 |
| APÊNDICE III | 162 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1- Formação de Chuva Convectiva: Esquema Representativo do Deslocamento do Ar Úmido Aquecido | 7 |
| Figura 2.2 - Esquema de ocorrências de Chuvas Orográficas..... | 8 |
| Figura 2.3 - Chuvas Frontais | 9 |
| Figura 2.4 - Esquema de Pluviômetro | 10 |
| Figura 2.5 - Pluviômetro tipo <i>Ville de Paris</i> localizado no Campus I da UFPA..... | 11 |
| Figura 2.6 - Padrão de circulação observada em anos de El Niño, La Niña e normais na região equatorial do Oceano Pacífico..... | 13 |
| Figura 2.7 - Distribuição espacial da precipitação anual na Amazônia Legal Brasileira (2007). | 19 |
| Figura 3.1 - Mapa de altitude do Estado do Pará..... | 24 |
| Figura 3.2 - Fluxograma do tratamento dos dados | 27 |
| Figura 3.3 - Dendograma ou Diagrama de Árvore..... | 30 |
| Figura 3.4 - Esquema de armazenamento de distâncias numa matriz 4x4..... | 38 |
| Figura 3.5 - Fluxograma da metodologia de agrupamento..... | 40 |
| Figura 4.1 - Dendogramas das Precipitações Médias Anuais | 56 |
| Figura 4.2 - Dendogramas das Precipitações Médias Mensais | 58 |
| Figura 4.3 - Distribuição de Regiões Homogêneas de Precipitação Média Anual..... | 60 |
| Figura 4.4 - Distribuição de Regiões Homogêneas de Precipitação Média Mensal..... | 62 |
| Figura 4.5 - Variação Mensal Média da Chuva no Estado do Pará..... | 63 |
| Figura 4.6- Variação da Precipitação Média Mensal | 64 |
| Figura 4.7 - Frequências de excedência e função de distribuição de probabilidade para Precipitação Média Anual: Série completa | 67 |
| Figura 4.8 - Frequências de excedência e função de distribuição de probabilidade para Precipitação Média Anual: El Niño..... | 68 |
| Figura 4.9 - Frequências de excedência e função de distribuição de probabilidade para Precipitação Média Anual: La Niña | 69 |
| Figura 4.10 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região A: Todos os Anos | 72 |
| Figura 4.11 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região F: Todos os Anos..... | 73 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.12 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região A: El Niño..... | 76 |
| Figura 4.13 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região E: El Niño | 78 |
| Figura 4.14 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região A: La Niña | 80 |
| Figura 4.15 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região E: La Niña..... | 82 |
| Figura 4.16 - Estações Alvo para regiões homogêneas de Precipitação Média Anual .. | 85 |
| Figura 4.17 - Estações Alvo para regiões homogêneas de Precipitação Média Mensal | 87 |
| Figura 4.18 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por Estação Pluviométrica Alvo (ANA): Todos os anos..... | 90 |
| Figura 4.19 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por Estação Pluviométrica Alvo (ANA): Anos de El Niño..... | 91 |
| Figura 4.20 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por Estação Pluviométrica Alvo (ANA): Anos de La Niña | 93 |
| Figura 4.21 - Ajuste das frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade das Estações Pluviométricas: Todos os anos | 95 |
| Figura 4.22 - Ajustes das frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade das Estações Pluviométricas: Anos de El Niño | 96 |
| Figura 4.23 - Ajustes das frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade das Estações Pluviométricas: Anos de La Niña..... | 97 |
| Figura 4.24 - Pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Anual: Todos os anos | 99 |
| Figura 4.25 - Pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Mensal: Todos os anos | 101 |
| Figura 4.26 - Pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Anual: Série de El Niño..... | 103 |
| Figura 4.27 - Pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Mensal: Série de El Niño..... | 104 |
| Figura 4.28 - Pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Anual: Série de La Niña | 106 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.29 - Pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Mensal: Série de La Niña | 107 |
| Figura 4.30 - Comparação dos erros percentuais por regiões: Todos os anos..... | 109 |
| Figura 4.31 - Comparação dos erros percentuais por regiões: Anos de El Niño..... | 110 |
| Figura 4.32 - Comparação dos erros percentuais por regiões: Anos de La Niña | 111 |
| Figura 4.33 - Erros percentuais por estação alvo: todos os anos..... | 113 |
| Figura 4.34 - Erros percentuais por estação alvo: anos de El Niño..... | 116 |
| Figura 4.35 - Erros percentuais por estação alvo: anos de La Niña | 117 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 3.1 - ANOVA de regressão múltipla | 50 |
| Tabela 4.1 - Cortes do dendograma para o agrupamento | 55 |
| Tabela 4.2 - Estações pluviométricas utilizadas na validação | 65 |
| Tabela 4.3 - Teste Qui-quadrado para função Normal da Precipitação Média Anual.... | 66 |
| Tabela 4.4 - Teste Qui-quadrado das frequências de excedência para as regiões homogêneas A e F: Todos os anos | 70 |
| Tabela 4.5 - Teste Qui-quadrado das frequências de excedência para as regiões homogêneas A e F: Anos de El Niño | 74 |
| Tabela 4.6 - Teste Qui-quadrado das frequências de excedência para as regiões homogêneas A e F: Anos de La Niña | 78 |
| Tabela 4.7 - Teste Qui-quadrado aplicado para avaliar o ajuste das frequências de excedência para as estações alvos: Precipitação Médias Anuais | 88 |
| Tabela 4.8 - Teste Qui-quadrado das frequências de excedência para as estações alvos: Precipitação Média Mensal | 94 |
| Tabela 4.9 - Média do Erro Quadrático Relativo Percentual: Série Completa..... | 98 |
| Tabela 4.10 - Identificação dos pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Anual: Todos os anos..... | 99 |
| Tabela 4.11 - Identificação dos pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Mensal: Todos os anos..... | 100 |
| Tabela 4.12 - Média do Erro Quadrático Relativo Percentual: El Niño..... | 101 |
| Tabela 4.13 - Identificação dos pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Anual: Anos de El Niño | 102 |
| Tabela 4.14 - Identificação dos pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Mensal: Anos de El Niño | 104 |
| Tabela 4.15 - Média do Erro Quadrático Relativo Percentual: La Niña | 105 |
| Tabela 4.16 - Identificação dos pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Anual: Anos de La Niña..... | 105 |
| Tabela 4.17 - Identificação dos pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Mensal: Anos de La Niña..... | 106 |
| Tabela 4.18 - Média do Erro Quadrático Relativo Médio Percentual por mês- Calibração Série Completa | 108 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 4.19 - Média do Erro Quadrático Relativo Médio Percentual por mês- Anos de El Niño..... | 109 |
| Tabela 4.20 - Média do Erro Quadrático Relativo Médio Percentual por mês- Anos de La Niña | 110 |
| Tabela 4.21 - Simulação do melhor modelo para série histórica de 1960-1990 | 112 |
| Tabela 4.22 - Simulação do melhor modelo para séries de El Niño | 114 |
| Tabela 4.23 - Simulação do melhor modelo para séries de La Niña | 115 |
| Tabela 4.24 - Simulação do melhor modelo para cada mês, aplicado a série histórica de 1960-1990..... | 119 |
| Tabela 4.25 - Simulação do melhor modelo para cada mês, aplicado a série histórica com ocorrência de El Niño | 123 |

NOMENCLATURA

| | |
|--------|---|
| ABRH | Associação Brasileira de Recursos Hídricos |
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| ASAS | Alta Subtropical do Atlântico Sul |
| CAPES | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior |
| CPTEC | Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos |
| EN | Anos de El Niño |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| LN | Anos de La Niña |
| PMA | Precipitação Média Anual |
| PMM | Precipitação Média Mensal |
| SUDENE | Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste |
| TA | Todos os anos (Série histórica completa) |
| TSM | Temperatura da Superfície do Mar |
| WMO | World Meteorological Organization |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O conhecimento do comportamento de dados hidrológicos de chuva e vazão é de relevante importância para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, como geração de energia elétrica, sistemas de irrigação, sistemas de reserva e suprimento de água para abastecimento; além do abastecimento público. Vazões e chuvas, assim como todas as outras variáveis utilizadas para a caracterização do ciclo hidrológico, possuem comportamento aleatório, exigindo, para suas adequadas avaliações, séries históricas representativas e confiáveis.

As séries históricas de vazão são obtidas nos postos fluviométricos instalados em bacias hidrográficas. No entanto, em um país com dimensões continentais e extensa malha hidrográfica como o Brasil, nem todas as bacias são medidas, e nesse caso, adensar a rede hidrométrica não é tarefa das mais simples. Segundo TUCCI (1997), uma rede hidrométrica raramente possui uma densidade de estações que permita cobrir todos os locais de interesse de um plano de gerenciamento de recursos hídricos.

No Brasil e principalmente na Amazônia, os dados de vazão são escassos e uma forma de se chegar a eles, é através da aplicação de modelos chuva-vazão, já que os dados de chuva são menos escassos que os de vazão. Menos escassos, mas não tão abundantes para atender todas as médias e pequenas bacias amazônicas. Já que somente as maiores bacias da região possuem estações fluviométricas com longas séries de vazão. Assim, uma forma de simular dados de chuva e conseqüentemente de vazões, pode ser alcançada através do desenvolvimento de um modelo de regionalização e de estimativas de chuvas aplicado à Amazônia.

Neste trabalho, a região estudada foi o Estado do Pará, localizado na região norte do Brasil, fazendo parte da Amazônia brasileira. A quase totalidade de sua área encontra-se na Floresta Amazônica, exceto nas partes onde existem formações de campos - região do baixo rio Trombetas e Arquipélago do Marajó.

No Pará, existem poucos estudos sobre as características do regime de chuva, devido à falta de dados. Modelos de regionalização de chuva podem diminuir essa falta e são caracterizados principalmente por duas componentes:

- Métodos de determinação de regiões homogêneas, para as quais as chuvas foram estimadas. Nesse caso, foi utilizada a análise de agrupamento através do método de Ward, tendo a distância Euclidiana como medida de similaridade; e

- Métodos de estimativas de probabilidade de ocorrência de chuva e métodos de estimativas de altura de chuva. Nesse caso, foram utilizadas funções de distribuição de Probabilidade e Regressão Múltipla, respectivamente.

1.1. JUSTIFICATIVA E CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

Um dos fatores que impede o conhecimento mais abrangente dos recursos hídricos da Amazônia é a falta de dados hidrológicos das pequenas e médias bacias hidrográficas da região. Tal problema é causado, em parte, pela dimensão da região, o que aumenta os custos de implantação e operacionalização da rede, bem como os custos de logística de deslocamento das equipes de técnicos incumbidos das medições e coleta de dados.

Uma alternativa para contribuir à solução deste problema, racionalizando recursos, é o desenvolvimento de modelos de estimativas de chuvas em bacias sem postos pluviométricos, dentre os quais, o de regionalização de chuvas, proposto no presente trabalho. Tais modelos podem, além de estimar chuvas, serem utilizados para a otimização da rede, determinando locais de implantação de novos postos pluviométricos, aumentando a densidade da rede, melhorando a eficiência do modelo de regionalização e conseqüentemente, a própria estimativa dos dados de chuva.

Assim, com um modelo de regionalização de chuvas, a quantificação dos recursos hídricos de médias e pequenas bacias hidrográficas da região amazônica pode ser melhorada, inclusive os dados de vazão, que são mais escassos e que podem ser estimados através de modelos chuva-vazão, sendo a chuva advinda do modelo de regionalização. Oriundo dessa melhor quantificação, o uso dos recursos hídricos na região, pode ser melhor definido, o que resultará na melhoria do planejamento e gestão dos recursos hídricos amazônicos.

1.2.OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Desenvolver um modelo de regionalização e estimativa de chuvas aplicado ao Estado do Pará.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Organizar um banco de dados regionalizado de chuvas;
- Estabelecer metodologia para delimitação de regiões pluviometricamente homogêneas;
- Propor regiões homogêneas de chuvas para o Estado do Pará;
- Estimar para essas regiões:
 - Probabilidades de ocorrências de alturas de chuvas médias mensais e anuais, para série histórica completa, apenas com anos de ocorrência do fenômeno El Niño; e anos de ocorrência do fenômeno La Niña; e
 - Alturas de chuva anuais e mensais médias.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo, será dada ênfase a análise da literatura considerada pertinente ao cumprimento dos objetivos da pesquisa. Assim, o capítulo foi dividido nas literaturas e informações referentes à caracterização das chuvas, e à determinação de regiões homogêneas, por meio da análise de agrupamento; e modelos de estimativa de chuva por funções de probabilidade e regressão múltipla.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DA CHUVA

2.2.1. Aspectos Gerais

O regime hidrológico ou a produção de água de uma região (bacia hidrográfica) é determinado por fatores de natureza hidroclimática (precipitação, evaporação, temperatura, umidade do ar, vento, etc.) e por suas características físicas, geológicas e topográficas. A temperatura, a umidade e o vento exercem influência na precipitação e evaporação, já a topografia é importante pela sua influência na precipitação, além do que, determina a ocorrência de lagos e pântanos e influencia na definição da velocidade do escoamento superficial. As características geológicas, além de influenciarem a topografia, definem o local do armazenamento (superficial ou subterrâneo) da água proveniente da precipitação.

Segundo TUCCI (1997), a precipitação é entendida em hidrologia como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva¹, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitações. O que diferencia essas formas de precipitações é o estado físico da água.

A importância do estudo da distribuição e dos modos de ocorrência da precipitação está no fato dela se constituir no principal *input* na aplicação do balanço hídrico em uma dada região hidrológica.

¹ Precipitação em forma de cristais de gelo que durante a queda coalescem formando blocos de dimensões variáveis.

2.2.2. Formação e Tipos de Precipitações

A atmosfera, camada gasosa que envolve a Terra, é constituída por uma mistura complexa de gases que varia em função do tempo, da situação geográfica, da altitude e das estações do ano. De maneira simples, pode-se considerar:

atmosfera = ar seco + vapor d'água + partículas sólidas em suspensão.

A composição média do ar seco é de 99% de nitrogênio mais oxigênio, 0,93% de argônio, 0,03% de dióxido de carbono e o restante de neônio, hélio, criptônio, xenônio, ozônio, hidrogênio, radônio e outros gases. A composição do vapor d'água na atmosfera varia de região para região, estando entre 0% nas regiões desérticas e 4% em regiões de florestas tropicais. As partículas sólidas em suspensão (aerossóis) têm origem no solo (sais de origem orgânica e inorgânica), em explosões vulcânicas, na combustão de gás, carvão e petróleo, na queima de meteoros na atmosfera, etc. (VILLELA e MATTOS, 1975).

A atmosfera pode ser considerada como um vasto reservatório e um sistema de transporte e distribuição do vapor d'água, onde se realizam transformações à custa do calor recebido do Sol.

Apresentam-se, a seguir, os modos de formação e os tipos de precipitação. Nesta apresentação, feita de uma maneira muito sintética, não são fornecidos pormenores acerca do mecanismo de formação, nem discutidas as razões de suas variações, pois isto exigiria um maior aprofundamento nos estudos da atmosfera, da radiação solar, dos campos de temperatura e pressão, bem como dos ventos e da evolução da situação meteorológica, fugindo do escopo do trabalho.

2.2.2.1. Formação

A formação das precipitações está ligada à ascensão de massas de ar úmido. Essa ascensão provoca um resfriamento dinâmico, ou adiabático, que pode fazer o vapor atingir o seu ponto de saturação, também chamado nível de condensação – o ar expande nas zonas de menor pressão. A partir do nível de condensação, em condições favoráveis e com a existência de núcleos higroscópios², o vapor d'água condensa, formando minúsculas gotas em torno desses núcleos. Enquanto as gotas não possuírem peso suficiente para vencer a resistência do ar, elas ficarão mantidas em suspensão, na

² Gelo, poeira e outras partículas formam núcleos higroscópios.

forma de nuvens e nevoeiros. Essas gotas deslocam-se em direção ao solo, somente quando atingem tamanho suficiente para vencer a resistência do ar. Dentre os processos de crescimento mais importantes das gotas, estão os mecanismos de coalescência e de difusão do vapor (VILLELA e MATTOS, 1975).

2.2.2.2. Tipos

As precipitações são classificadas de acordo com as condições que produzem o movimento vertical (ascensão) do ar. Essas condições são criadas em função de fatores tais como convecção térmica, relevo e ação frontal de massas de ar. Assim, têm-se três tipos principais de precipitação, que são: a) precipitações convectivas; b) precipitações orográficas; e c) precipitações ciclônicas (ou frontais).

a) Precipitações Convectivas

O aquecimento desigual da superfície terrestre provoca o aparecimento de camadas de ar com densidades diferentes, o que gera uma estratificação térmica da atmosfera em equilíbrio instável. Se esse equilíbrio é quebrado por qualquer motivo (vento, superaquecimento, etc.), ocorre uma ascensão brusca e violenta do ar menos denso, capaz de atingir grandes altitudes (Figura 2.1).

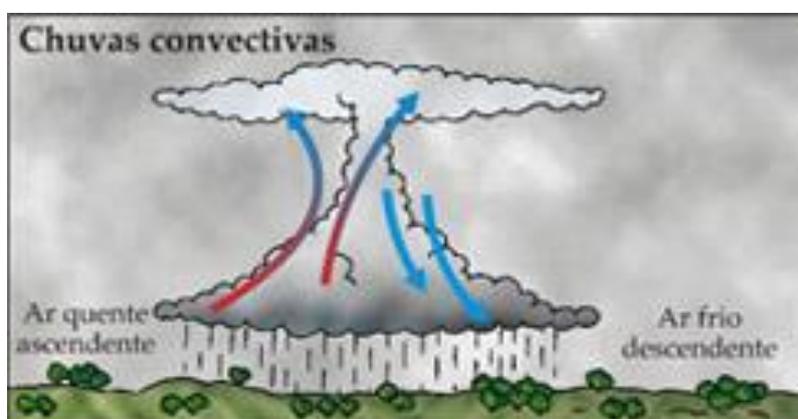


Figura 2.1– Formação de Chuva Convectiva: Esquema Representativo do Deslocamento do Ar Úmido Aquecido

Fonte: FORSDYKE (1978).

As precipitações convectivas, típicas de regiões tropicais, caracterizam-se por ser de grande intensidade e curta duração, concentrando-se em pequenas áreas. São, por isso, importantes em projetos desenvolvidos em pequenas bacias, e na análise de problemas de drenagem de maneira geral (cálculo de bueiros, galerias de águas pluviais, etc.), envolvendo problemas de controle da erosão (TUCCI, 1997).

b) Precipitações Orográficas

As precipitações orográficas resultam da ascensão mecânica de correntes de ar úmidas horizontais sobre barreiras naturais, tais como montanhas. Quando os ventos quentes e úmidos, que geralmente sopram do oceano para o continente, encontram uma barreira montanhosa, elevam-se e se resfriam adiabaticamente, sem troca de calor, devido à expansão pela queda de pressão, havendo condensação do vapor, formação de nuvens e ocorrência de chuvas. Essas chuvas são de pequena intensidade, grande duração e cobrem pequenas áreas. Se os ventos conseguem ultrapassar a barreira montanhosa, do lado oposto, projeta-se uma sombra pluviométrica, dando lugar às áreas secas, ou semiáridas, causadas pelo ar seco, já que a umidade foi descarregada na encosta oposta (Figura 2.2).

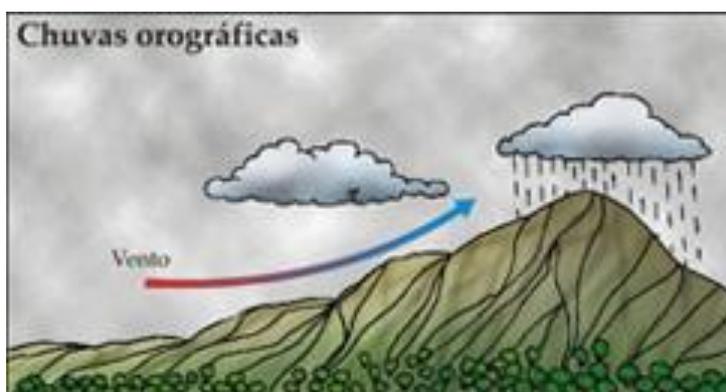


Figura 2.2 – Esquema de ocorrências de Chuvas Orográficas

Fonte: FORSDYKE (1978).

c) Precipitações Ciclônicas ou Frontais

As precipitações ciclônicas ou frontais são aquelas que ocorrem ao longo da superfície de descontinuidade, que separa duas massas de ar de temperatura e umidade diferentes. Essas massas de ar têm movimento da região de alta pressão para a região de baixa pressão, causado pelo aquecimento desigual da superfície terrestre.

A precipitação frontal resulta da ascensão do ar quente sobre o ar frio na zona de contato das duas massas de ar de características diferentes. É decorrente de uma frente quente, quando o ar frio é substituído por ar mais quente, ou de uma frente fria, quando o ar quente é empurrado e substituído pelo ar frio (Figura 2.3).

As precipitações ciclônicas são de longa duração e apresentam intensidades de baixa à moderada, espalhando-se por grandes áreas. São responsáveis pela produção

de grandes volumes de água e interessam mais nos projetos de hidrelétricas, de controle de cheias e de navegação.

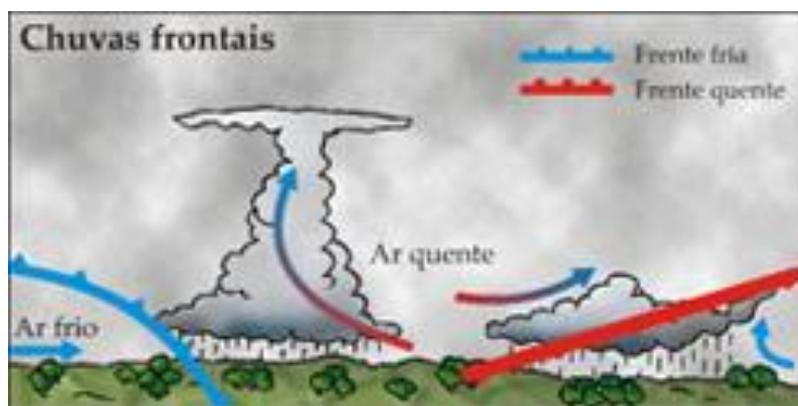


Figura 2.3 – Chuvas Frontais

Fonte: FORSDYKE (1978).

2.2.3. Grandezas e Medidas das Precipitações

As grandezas que caracterizam as precipitações são a altura pluviométrica, a intensidade, a duração e a frequência da precipitação. A altura pluviométrica, normalmente representada pelas letras h ou P , é a medida da altura da lâmina de água de chuva acumulada sobre uma superfície plana, horizontal e impermeável. Esta altura é, normalmente, expressa em milímetros e determinada pelo uso de aparelhos denominados pluviômetros.

As medidas realizadas nos pluviômetros são periódicas, feitas em geral em intervalos de 24 horas, às 7 horas da manhã mais comumente. O recipiente do pluviômetro deve apresentar um volume suficiente para conter as maiores precipitações dentro do intervalo de tempo definido para as observações. Esquemáticamente, representa-se o pluviômetro na Figura 2.4.

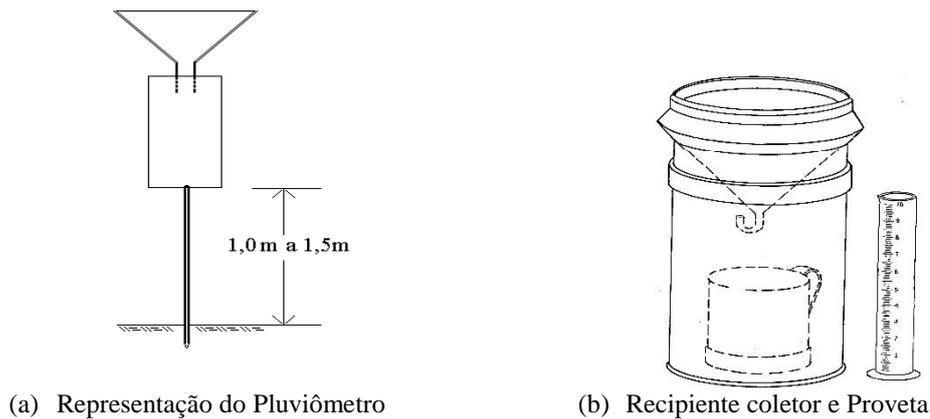


Figura 2.4 – Esquema de Pluviômetro

Fonte: Adaptado de VILLELA e MATTOS (1975)

Acima do recipiente do pluviômetro é colocado um funil com um anel receptor biselado, que define a área de interceptação. O anel deve ficar bem horizontal.

Em princípio, a altura pluviométrica fornecida pelo aparelho não depende da área de interceptação. Contudo, deve-se ter cuidado para não se enganar no cálculo da lâmina precipitada, que pode ser obtida de: $P = 10 \times Vol/A$, onde P é a precipitação acumulada em mm; Vol é o volume recolhido em cm^3 (ou $m\ell$); e A é a área de interceptação do anel em cm^2 .

Existem provetas que são calibradas diretamente em milímetros para medir o volume de água coletado. A precisão de todas as medições de precipitação é o décimo de milímetro. No Brasil há vários tipos de pluviômetros em operação, sendo os mais comuns:

- a) *Ville de Paris*, mostrado na Figura 2.5, em operação (superfície receptora de 400 cm^2 – empregado pelas agências federais, como ANA – Agência Nacional de Águas e INMET – Instituto Nacional de Meteorologia);
 - b) *Paulista* (superfície receptora de 500 cm^2 – usado pelas agências estaduais, como DAEE/SP – Departamento de águas e energia elétrica do estado de São Paulo);
 - c) *Casella* (superfície receptora de 200 cm^2 – utilizado por entidades privadas).
- Na verdade, a área da superfície receptora não é normalizada, variando de aparelho para aparelho entre 100 cm^2 e 1000 cm^2 .



Figura 2.5 – Pluviômetro tipo *Ville de Paris* localizado no Campus I da UFPA

A intensidade da precipitação, i , é medida pela relação entre a altura pluviométrica (ΔP) e a duração da precipitação: $i = \Delta P / \Delta t$. Geralmente, é expressa em mm/h, mm/min ou mm/dia. Na expressão anterior, a intensidade da precipitação corresponde a um valor médio no intervalo de tempo Δt . Pode-se, contudo, definir também uma intensidade instantânea (Eq. (2.1)).

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \Delta P / \Delta t = dP / dt \quad (2.1)$$

2.3 ANOS DE EL NIÑO E LA NIÑA

Segundo OLIVEIRA (2001), o fenômeno El Niño representa o aquecimento anormal das águas superficiais e sub-superficiais do Oceano Pacífico Equatorial. A palavra El Niño é derivada do espanhol, e se refere à presença de águas quentes que todos os anos aparecem na costa norte do Peru na época de Natal. Os pescadores do Peru e Equador chamaram a esta presença de águas mais quentes de *Corriente de El Niño* em referência ao *Niño Jesus*, em espanhol, ou *Menino Jesus*, em português.

O termo La Niña ("a menina", em espanhol) surgiu, pois o fenômeno se caracteriza por ser oposto ao El Niño. Pode ser chamado também de episódio frio, ou ainda *El Viejo* ("o velho", em espanhol), porém o termo mais utilizado hoje é La Niña.

Os fenômenos El Niño e La Niña são anomalias do sistema climático, os quais representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera no Oceano Pacífico tropical, e que tem consequências no tempo e no clima em todo o planeta. Para isso, são consideradas não somente a presença das águas quentes da *Corriente El Niño*, mas também as mudanças na atmosfera próxima à superfície do oceano, com o enfraquecimento dos ventos alísios (que sopram de leste para oeste) na região equatorial.

Com esse aquecimento do oceano e com o enfraquecimento dos ventos, começam a serem observadas mudanças da circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos, determinando mudanças nos padrões de transporte de umidade, e, portanto variações na distribuição das chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias e altas.

O fenômeno El Niño resulta de uma interação entre a superfície do mar e a baixa atmosfera sobre o Oceano Pacífico tropical. O início e fim do El Niño são determinados pela dinâmica do sistema oceano-atmosfera. Em condições normais, sem ocorrência de El Niño, os ventos alísios no Oceano Pacífico Equatorial sopram em direção ao oeste, assim águas mais quentes são observadas no Oceano Pacífico Equatorial. As águas do Pacífico são um pouco mais frias junto à costa oeste da América do Sul, porém como no Pacífico Oeste (parte central do oceano) as águas do oceano são mais quentes, há mais evaporação, devido a essa evaporação, há a formação de nuvens numa grande área, isso é devido a ascensão do ar quente.

Também segundo OLIVEIRA (2001), a atmosfera é compensatória, ou seja, se o ar sobe numa determinada região, deverá descer em outra. Se em baixos níveis da atmosfera (próximo à superfície) os ventos são de oeste para leste, em altos níveis ocorre o contrário, ou seja, os ventos são de leste para oeste.

Assim, o ar que sobe no Pacífico Equatorial Central e Oeste e desce no Pacífico Leste (junto à costa oeste da América do Sul), juntamente com os ventos alísios em baixos níveis da atmosfera (de leste para oeste) e os ventos de oeste para leste em altos níveis da atmosfera, formam o que os Meteorologistas chamam de célula de circulação de Walker, nome dado em homenagem a Sir Gilbert Walker, o primeiro pesquisador a estudar este fenômeno.

A Figura 2.6 mostra a célula de circulação de Walker, bem como o padrão de circulação em todo o Pacífico Equatorial em anos normais, ou seja, sem a presença do fenômeno El Niño. Outro ponto importante é que os ventos alísios, junto à costa da

América do Sul, favorecem um mecanismo chamado pelos oceanógrafos de ressurgência, que seria o afloramento de águas mais profundas do oceano. Estas águas mais frias têm mais oxigênio dissolvido e vêm carregadas de nutrientes e micro-organismos vindos de maiores profundidades do mar, que vão servir de alimento para os peixes daquela região. Devido a esse fenômeno, a costa oeste da América do Sul é uma das regiões mais piscosas do mundo. Propiciando o surgimento também de uma cadeia alimentar, pois os pássaros que vivem naquela região alimentam-se dos peixes, que por sua vez se alimentam dos micro-organismos e nutrientes.

Eventos de El Niño e La Niña tem uma tendência a se alternar cada 3 a 7 anos, porém de um evento ao seguinte, o intervalo pode mudar de 1 a 10 anos e as intensidades dos eventos variam bastante de caso a caso. Algumas vezes, os eventos El Niño e La Niña tendem a ser intercalados por condições normais.

O El Niño mais intenso desde a existência de observações de temperatura da superfície do mar, conhecida como TSM, ocorreu em 1982-83 e 1997-98. E os episódios intensos de La Niña ocorreram nos anos de 1988/89 (que foi um dos mais intensos), em 1995/96 e em 1998/99.

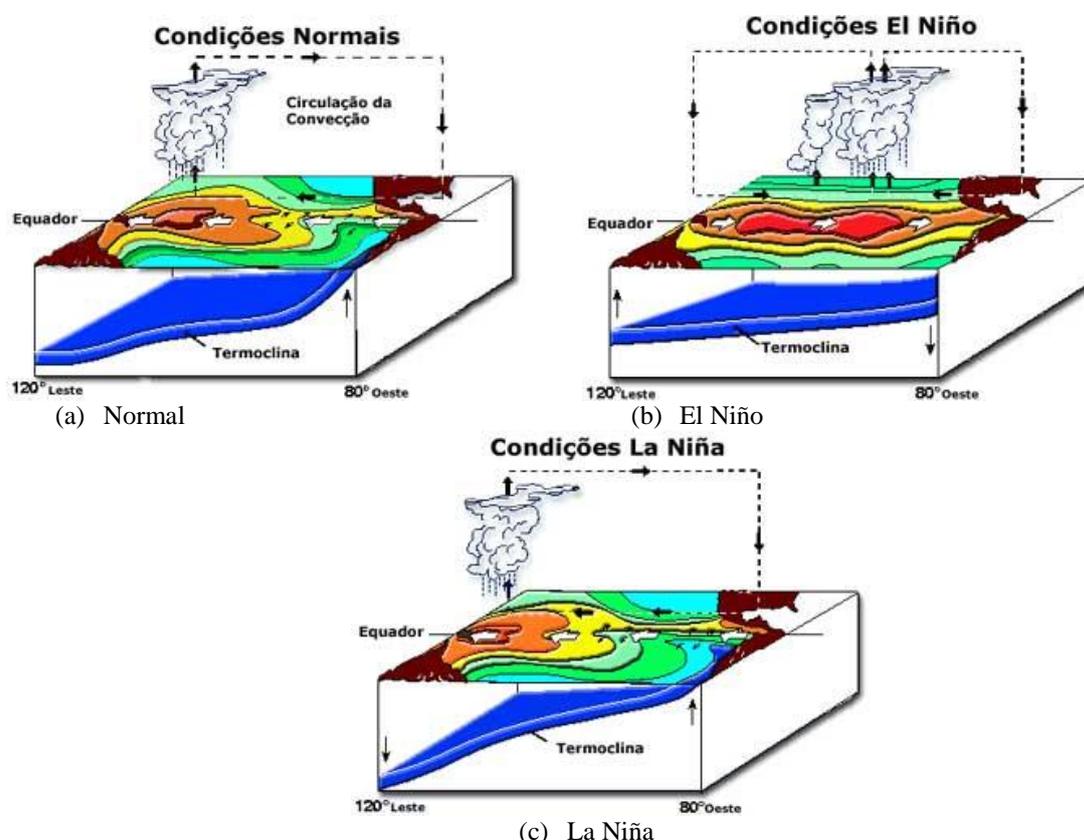


Figura 2.6 – Padrão de circulação observada em anos de El Niño, La Niña e normais na região equatorial do Oceano Pacífico.

Fonte: Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL)/NOAA, Seattle, Washington, EUA (2001)

Em anos normais, anos sem a presença do El Niño ou La Niña, pode-se observar a célula de circulação com movimentos ascendentes no Pacífico Central/Ocidental e movimentos descendentes no oeste da América do Sul, e com ventos de leste para oeste, próximos à superfície (ventos alísios, setas brancas) e de oeste para leste em altos níveis da troposfera é a chamada célula de Walker (Figura 2.6 a). No Oceano Pacífico, pode-se ver a região com águas mais quentes representadas pelas cores avermelhadas e mais frias pelas cores azuladas. Além disso, observa-se a inclinação da termoclina, mais rasa junto à costa oeste da América do Sul e mais profunda no Pacífico Ocidental.

Em anos de El Niño há o enfraquecimento dos ventos alísios, isso pode provocar em algumas regiões do Pacífico a inversão dos ventos, ficando estes de oeste para leste. Assim, todo o Oceano Pacífico Equatorial começa a aquecer, provocando aquecimento e conseqüentemente, gerando evaporação com movimento ascendente, que por sua vez gera a formação de nuvens.

Durante estes eventos são observadas a formação de nuvens com intensas chuvas no Pacífico Equatorial Ocidental (Figura 2.6 b).

Em anos de La Niña, há ocorrência de ventos alísios mais intensos, ou seja, há um maior represamento das águas no Pacífico Equatorial Oeste e o desnível entre o Pacífico Ocidental e Oriental aumenta. Com os ventos mais intensos a ressurgência também aumenta no Pacífico Equatorial Oriental, e, portanto surgem mais nutrientes das profundezas para a superfície do Oceano, ou seja, aumenta a chamada ressurgência no lado Leste do Pacífico Equatorial. Por outro lado, devido a maior intensidade dos ventos alísios, as águas mais quentes irão ficar represadas mais a oeste do que o normal e, portanto, águas mais quentes geram evaporação e conseqüentemente movimentos ascendentes, que por sua vez geram nuvens de chuva e que geram a célula de Walker, que em anos de La Niña fica mais alongada que o normal (Figura 2.6 c). A região com grande quantidade de chuvas é do nordeste do Oceano Índico a oeste do Oceano Pacífico passando pela Indonésia, e a região com movimentos descendentes da célula de Walker é no Pacífico Equatorial Central e Oriental. É importante ressaltar que tais movimentos descendentes da célula de Walker no Pacífico Equatorial Oriental ficam mais intensos que o normal, o que inibe, e muito, a formação de nuvens de chuva (Oliveira, 2001).

Os episódios La Niña têm frequência de 2 a 7 anos, porém tem ocorrido em menor quantidade que o El Niño durante as últimas décadas. Os episódios La Niña têm períodos de aproximadamente 9 a 12 meses, e somente alguns episódios persistem por mais que 2 anos. Os valores das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) em anos de La Niña têm desvios menores que em anos de El Niño, ou seja, enquanto observam-se anomalias de até 4,5°C acima da média em alguns anos de El Niño, em anos de La Niña as maiores anomalias observadas não chegam a 4°C abaixo da média.

2.4. DETERMINAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS

De acordo com HOSKING e WALLIS (1997), a identificação destas regiões deve ser feita em duas etapas consecutivas: a primeira, consistindo de uma delimitação preliminar baseada unicamente nas características locais (clima, vegetação, relevo, dentre outros); e a segunda, consistindo de um teste estatístico construído com base somente nas estatísticas locais, cujo objetivo é verificar os resultados preliminares obtidos.

Alguns trabalhos têm sido realizados com relação à determinação de regiões homogêneas no Brasil e no mundo. Estes trabalhos levam em consideração os dados e os períodos utilizados, sendo que alguns deles utilizam até decenais médios de chuva (médias de 10 dias); outros utilizam médias mensais, outros totais mensais, totais anuais, além daqueles que utilizam estações chuvosas.

RODRIGUES *et al.* (1996) usaram o método da classificação hierárquica na identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado do Ceará. Nesse caso, foram usados totais diários de precipitação pluvial coletados em 84 postos pluviométricos pertencentes à rede de estações meteorológicas da SUDENE e do Estado do Ceará, referente ao período de 1913 a 1983.

BERNARDES (1998) trabalhou com dados diários de chuva para 154 postos de períodos heterogêneos para o Estado do Paraná, onde seu objetivo principal foi determinar regiões pluviometricamente homogêneas para um período de 23 anos. Para as análises, foram utilizadas técnicas da estatística convencional (média, desvio padrão, coeficiente de variação) e da análise multivariada (análise de agrupamento). Foram encontradas cinco regiões pluviometricamente homogêneas, que foram comparadas com as áreas de concentração das culturas de soja, trigo, milho e feijão e

tiveram seu perfil pluviométrico descrito em relação às épocas de recomendação de semeadura e desenvolvimento dessas culturas.

BRAGA *et al.* (1998) determinaram regiões homogêneas no Estado da Bahia para estudar o seu ciclo médio anual de precipitação. Os dados utilizados em seu estudo foram séries diárias de 140 estações meteorológicas, cada uma com no mínimo 30 anos de dados. Utilizando o mesmo método, estes mesmos autores, em 1992, estabeleceram 5 (cinco) regiões homogêneas de precipitação no Estado do Rio Grande do Norte, usando dados decenais (de 10 em 10 anos) de 50 (cinquenta) localidades em um período de 30 anos.

SILVA *et al.* (2001), através da média anual, estudaram o comportamento dos totais trimestrais das chuvas no Estado do Ceará, a partir de 20 estações meteorológicas distribuídas por toda extensão do Estado, tendo como medida de similaridade a distância euclidiana ao quadrado e a inércia intra-classe do agrupamento como critério de agregação.

Com relação a dados de temperatura, DINIZ (2003) utilizou a técnica de análise de agrupamento e como função de agrupamento, a distância euclidiana para analisar as temperaturas máximas e mínimas no Estado do Rio Grande do Sul, com dados obtidos em 40 estações meteorológicas no período de 1913 a 1998. Para este trabalho, foram testados 4 métodos hierárquicos de agrupamento, tendo sido escolhido o da ligação completa por apresentar uma estrutura climatologicamente coerente do estado. Foram obtidas 4 regiões homogêneas, todas com um número satisfatório de estações meteorológicas.

FILHO *et al.* (2005) usaram a técnica de análise hierárquica de agrupamento com o objetivo de identificar regiões homogêneas no Brasil, e assim contribuir para estudos de riscos climáticos na agricultura. As regiões foram delimitadas através de variáveis classificatórias definidas pela proporção de pântadas (períodos consecutivos de cinco dias) sem chuvas e por medidas de posição, escala e forma das distribuições de frequências da quantidade de chuva. A análise de agrupamento permitiu identificar 25 áreas pluviometricamente homogêneas em todo o território brasileiro.

LUCAS *et al.* (2006) realizaram um estudo sobre a regionalização da precipitação na Bacia Hidrográfica do Xingu (BHX), localizada no Estado do Pará. Nesse trabalho, foi utilizada a técnica estatística denominada Análise de Agrupamento, a qual teve como finalidade a formação de grupos homogêneos, com o uso de quinze

(15) postos Pluviométricos, tal análise permitiu identificar a formação de três grupos homogêneos de precipitação na região.

FECHINE e GALVÍNIO (2008) determinaram regiões pluviometricamente homogêneas no âmbito da bacia hidrográfica do rio Brígida (localizada no Estado de Pernambuco), utilizando dados de precipitação mensal de seis estações meteorológicas, entre 1965 e 1985. Utilizou-se no estudo, o método hierárquico aglomerativo de Ward, tendo como medida de similaridade a distância euclidiana.

O estudo de SIEW-YAN-YUN *et al.* (1998) teve como principal objetivo, a identificação de regiões homogêneas de precipitação em Quebec. Para tal pesquisa, foram feitas análises das principais componentes (PCA) para 26 estações pluviométricas, obtidas através de matrizes de correlação, as quais foram aplicadas a áreas com grandes variações de precipitação e características fisiográficas. Tal trabalho resultou na identificação de quatro (4) regiões homogêneas.

Uma síntese sobre análise regional de precipitação, foi apresentada em um estudo elaborado por ST-HILAIRE *et al.* (2003), tendo como principais etapas: a escolha de regiões homogêneas, a seleção de funções de distribuição regional e ajuste dos parâmetros destas funções. Sendo utilizada a análise de agrupamento (Cluster) para determinação das várias regiões homogêneas no Canadá. Para a confirmação de adequação dos locais dentro da região homogênea, foi aplicado o teste de homogeneidade de L-momentos.

LYRA *et al.* (2006) determinaram regiões homogêneas com base na sazonalidade da precipitação pluvial mensal e na distribuição de probabilidade que melhor se ajustassem à precipitação dessas regiões no Estado de Táchira, Venezuela. Os dados utilizados foram valores de precipitação mensal de 25 estações Climatológicas com período entre 24 e 62 anos, onde foi aplicado o método de Ward no agrupamento dos meses com precipitação mensal similar. A análise de agrupamento permitiu identificar, nos períodos seco e úmido, quatro (4) regiões homogêneas de precipitação mensal similar, e o de transição três (3) regiões homogêneas. No período seco, a função de distribuição de probabilidade recomendada para as estimativas mensais foi a Exponencial, com exceção da região homogênea com os maiores valores de precipitação pluvial do período, para qual a função Gama sobressaiu-se. Nos períodos chuvosos e de transição, destacaram-se as distribuições Gama e Normal.

MORRADES (2006) pesquisou a precipitação regional do Irã, utilizando a análise de agrupamento (cluster), através do método Ward e distância euclidiana, como medida de similaridade, para determinação de regiões climaticamente homogêneas, resultando em oito (8) regiões.

A pesquisa de RAJU e KUMAR (2007) refere-se à aplicação da análise de agrupamento (Análise de Cluster Fuzzy - FCA) e de Redes Neurais Artificiais do tipo Kohonen (Kann). Esses métodos foram utilizados para a classificação de 159 estações meteorológicas em grupos homogêneos, na Índia. Oito parâmetros foram considerados para a classificação de grupos, sendo eles: latitude, longitude, altitude, temperatura média, umidade, velocidade do vento, horas de sol e radiação solar. Com base no índice Davies-Bouldina, o qual é determinado em função da razão entre a soma da dispersão interna dos agrupamentos e a distância entre os agrupamentos (DAVIES e BOULDIN, 1979), foram formados 14 grupos homogêneos. A abordagem FCA apresentou melhor desempenho em relação às redes neurais artificiais.

GAÁL *et al.* (2009), fizeram análise de frequência regional de precipitação baseada na estimativa dos parâmetros de uma função de distribuição regional, utilizando momentos-L para delimitação de regiões homogêneas. Os autores utilizaram uma técnica híbrida de agrupamento, com uma análise subjetiva dos dados de precipitação de estações pluviométricas, a qual se baseia em características físicas e geomorfológicas, juntamente com a análise objetiva (análise de Cluster), usando ferramentas estatísticas para delimitação de regiões homogêneas.

YANG *et al.* (2010) utilizaram a análise de agrupamento (cluster), para determinar regiões homogêneas na China, para tal análise, foram escolhidas quatro variáveis das 42 estações pluviométricas selecionadas, visando descrever o regime de precipitação da região, sendo tais variáveis: latitude, longitude, altitude e média anual de precipitação.

2.5. MODELOS DE ESTIMATIVA DE CHUVA

Segundo FRANRE (1982); HUNGERFORD (1989); HUTCHINSON (1989) e ARNOLD e WILLIAN (1990); existem dois métodos que podem ser utilizados para se estimar altura de chuva, sendo eles: interpolação espacial e modelos estatísticos.

A interpolação espacial é uma técnica utilizada para a estimativa do valor de um atributo em locais não amostrados, a partir de pontos amostrados na mesma área ou

região. A interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos, produzindo padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas. O raciocínio que está na base da interpolação é que, em média, os valores do atributo tendem a ser similares em locais mais próximos do que em locais mais afastados (CÂMARA e MEDEIROS, 1998). Para a Amazônia Legal, um trabalho desse tipo foi recentemente produzido por ISHIHARA *et al.* (2014), no qual, mapas de isoietas foram elaborados (Figura 2.7).

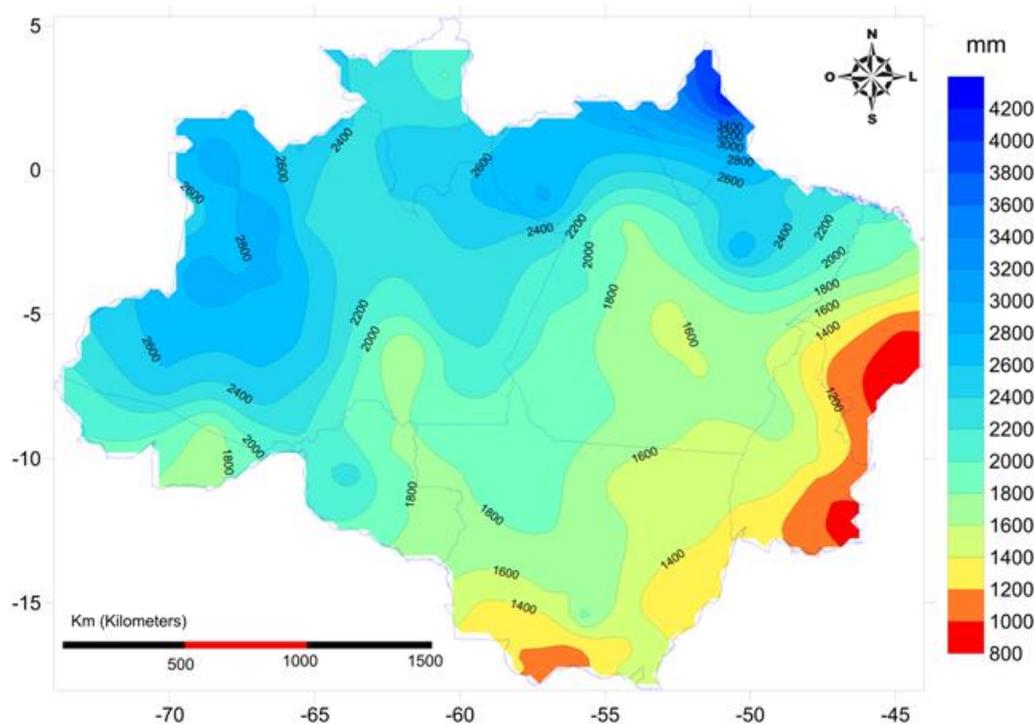


Figura 2.7 - Distribuição espacial da precipitação anual na Amazônia Legal Brasileira (2007).

Fonte: ISHIHARA *et al.* (2014).

Entre os modelos estatísticos, destacam-se os modelos ou funções de probabilidade e a técnica da análise de regressão múltipla, servindo para estimar tendências de um conjunto de dados observados, através de modelos de regionalização, que transferem as informações conhecidas para locais sem estas informações dentro de uma mesma região homogênea.

2.5.1. Funções de Distribuição de Probabilidade - FDP

No estudo das precipitações pluviométricas, várias funções de distribuição de probabilidade têm sido utilizadas para verificar o comportamento e a variabilidade das

chuvas ao longo dos anos, dentre elas estão as distribuições: Normal, Gama, Gama mista, Exponencial, Log-normal, Weibull, Pearson e Gumbel (LYRA *et al.*, 2006).

CATALUNHA *et al.* (2002) analisaram as distribuições de probabilidade Exponencial, Gama, Log-normal (a dois e três parâmetros), Normal e Weibull para estações pluviométricas no Estado de Minas Gerais. Foi considerada, a precipitação diária para os períodos decendiais e mensais, de janeiro a dezembro. Obtendo-se como resultado para os valores diários de precipitação, o melhor ajuste da distribuição Weibull com os valores de precipitação observados, com exceção dos decêndios do período seco, em que predominou a distribuição Exponencial.

BEIJO *et al.* (2004) estudaram o ajuste das distribuições Normal, Log-Normal e Gumbel aos dados de precipitação máxima agrupados em períodos mensal e anual, aplicando-se o teste Kolmogorov-Smirnov, o qual é utilizado para determinar se duas distribuições de probabilidade subjacentes diferem uma da outra ou se uma das distribuições de probabilidade subjacentes difere da distribuição em hipótese, em qualquer dos casos com base em amostras finitas. Os dados de precipitação pluvial diária máxima foram obtidos de jan/1914 a dez/2003, totalizando 90 anos. Nesse caso, a distribuição Gumbel foi a que melhor se ajustou às series de precipitações máximas, fornecendo estimativas de precipitações máximas prováveis mais confiáveis para a região de Lavras-MG.

O trabalho de SILVA *et al.* (2007), teve como objetivo analisar a distribuição da quantidade diária de precipitação, do número de dias com chuva e determinar a variação da probabilidade de ocorrência de precipitação diária, durante os meses do ano, em Santa Maria-RS. Os dados de precipitação utilizados foram obtidos durante 36 anos de observação. Foram analisadas as seguintes funções de distribuição de probabilidade: Gama, Weibull, Normal, Log-normal e Exponencial. As funções Gama e Weibull foram as que melhor descreveram a variação da probabilidade de ocorrência de precipitação diária.

O trabalho de MORA *et al.* (2005) teve como objetivo mostrar os benefícios de uma abordagem regional para a estimativa da probabilidade de ocorrência de chuvas diárias. A região estudada foi Languedoc-Roussillon (sul da França), para tanto, foram utilizadas as funções de probabilidade Gumbel e Exponencial. As definições dessas distribuições forneceram um método sistemático para o cálculo da frequência de chuvas diárias.

HANSON e VOGUE (2008) desenvolveram um estudo nos Estados Unidos com objetivo de selecionar uma distribuição de probabilidade para representar a probabilidade de ocorrência de chuvas em várias frequências. Foi utilizado um registro de precipitação diária em 237 estações pluviométricas. As funções de probabilidade analisadas foram a Pearson tipo III (P3) e a Gama. A primeira ajustou-se bem aos dados de precipitação diária, enquanto que a segunda não se ajustou tão bem aos dados.

2.5.2. Regressão Múltipla

A regressão múltipla tem sido empregada com objetivo de se estimar valores como, por exemplo, de vazão e de precipitação. Alguns trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o auxílio desta técnica para se estimar valores de precipitação, por exemplo:

HONG WEI *et al.* (2005), tiveram como base para a pesquisa os dados de precipitação dos últimos 40 anos; e mapas topográficos de 25 estações pluviométricas localizadas no entorno de Dingxi County, Província de Gansu, na China. As áreas estudadas foram delimitadas, utilizando ferramentas do tipo SIG (sistemas de informação geográfica). Os modelos utilizados foram os de interpolação, regressão múltipla e compreensivo. O último é um híbrido entre o modelo de interpolação e o de regressão múltipla. Os autores analisaram e compararam as mudanças espaciais e temporais da média anual de precipitação. Os resultados indicaram que a precisão da simulação do modelo compreensivo foi melhor.

COSTA *et al.* (2012) utilizaram a regressão linear múltipla por meio de interpolação como método alternativo, para a geração de uma superfície interpolada com os valores de precipitação máxima média (também conhecida por chuva de projeto) para a Bacia Hidrográfica do Rio Doce, com período de retorno variando em 10, 25 e 50 anos e duração de precipitação definida em 30 minutos, com base nos parâmetros regionalizados por FREITAS *et al.* (2001) para as estações pluviométricas de Minas Gerais. Variações de 4,5% a 33,6% entre os parâmetros da validação cruzada indicam decaimento da precisão do ajuste com o aumento dos períodos de retorno.

Outro estudo realizado por CRUZ *et al.* (2013) visou obter uma equação por meio de regressão linear múltipla que correlacionou os valores anuais de precipitação e fatores de localização espacial para 58 postos espalhados pelo estado de Sergipe. Os

autores obtiveram uma equação cujo o coeficiente de determinação foi de 0,844, o qual foi considerado bom, com erros médios percentuais situados entre -7,5% a 5,5%, variando segundo as diferentes regiões climáticas presentes no estado.

No estudo de MEKANIK *et al.* (2013), foram aplicadas Redes Neurais Artificiais (RNA) e análise de regressão múltipla (RM) para previsão de chuvas de primavera sazonal de longo prazo em Victoria, na Austrália. Foram investigadas usando defasado El Niño Oscilação Sul (ENOS) e Dipolo do Oceano Índico (IOD) como potenciais preditores. A RNA e a MR foram avaliados estatisticamente por meio do erro quadrático, erro médio absoluto, correlação de Pearson (r) e índice de concordância. Os erros dos conjuntos de teste para os modelos de RNA foram geralmente mais baixos em comparação com os modelos regressão múltipla.

Alguns estudos também utilizaram a regressão múltipla em seus modelos matemáticos para as curvas de permanência de vazões, como em SINGH (1971), RIGGS (1973), DINGMAN (1978), QUIMPO *et al.* (1983), MIMIKOU e KAEMAKI (1985), ROJANAMON (1990) e YU (2002). No Brasil, destacam-se os trabalhos de KAVISKY e FIOR (1985), TUCCI (1991), CÓRDOVA e PINHEIRO (2000), REIS e CRISTO (2006) e PESSOA *et al.* (2011).

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta a metodologia e as ferramentas utilizadas para o cumprimento dos objetivos da pesquisa, o qual mostra os métodos referentes à determinação de regiões homogêneas e aos modelos de estimativa de chuva.

3.2. ÁREA DE ESTUDO

A caracterização geral do estado do Pará que segue, foi baseada em IBGE, 2013.

O Pará (Figura 3.1) é uma unidade da federação brasileira integrante da Amazônia Legal. Fica localizado no centro-leste da região Norte e tem como capital a cidade de Belém - localizada na porção norte do estado. Ocupa uma área de 1.247.950km², entre os paralelos de 20°41'N e 90°48'S e os meridianos 46°10'W e 58°56'W. Essa área está distribuída em 144 municípios, com densidade demográfica de 6,07 hab/km².

O estado é cortado pela linha do Equador em seu extremo norte. É o segundo maior estado do Brasil em extensão, ocupando 16,7% do território nacional e 26% da Amazônia, o equivalente a mais de duas vezes o território da França. Limita-se a norte com o Suriname e com o Amapá, a nordeste com o Oceano Atlântico, a leste com o Maranhão, a sul com o Mato Grosso, a oeste com Estado do Amazonas, a noroeste com Roraima e a República da Guiana, a Sudeste com Tocantins e a sudoeste com o Amazonas e o Mato Grosso.

O estado, como parte da Amazônia, também apresenta uma exuberante e complexa biodiversidade, importantes bacias hidrográficas, destacando-se as do Amazonas, Araguaia-Tocantins, Xingu, Tapajós, abrigando significativa reserva hídrica. Também se destaca por apresentar a maior e mais complexa província mineral mundial.

Prevalece o clima tropical, caracterizando-se por ocorrências de temperaturas médias elevadas, acompanhadas de muita umidade. A temperatura média anual no Pará varia entre 24° e 26°C, com chuvas abundantes, registrando na maior parte do

estado índices pluviométricos que variam entre 1500mm/ano e 2500mm/ano, embora ocorram também, de forma mais concentrada, valores mínimos de 1000mm/ano (região de Marabá e Alenquer-Curuá) e máximos de 4500mm/ano (região de Afuá, na ilha de Marajó). O período de estiagem das chuvas ocorre nos meses correspondentes às estações de inverno e primavera no hemisfério sul.

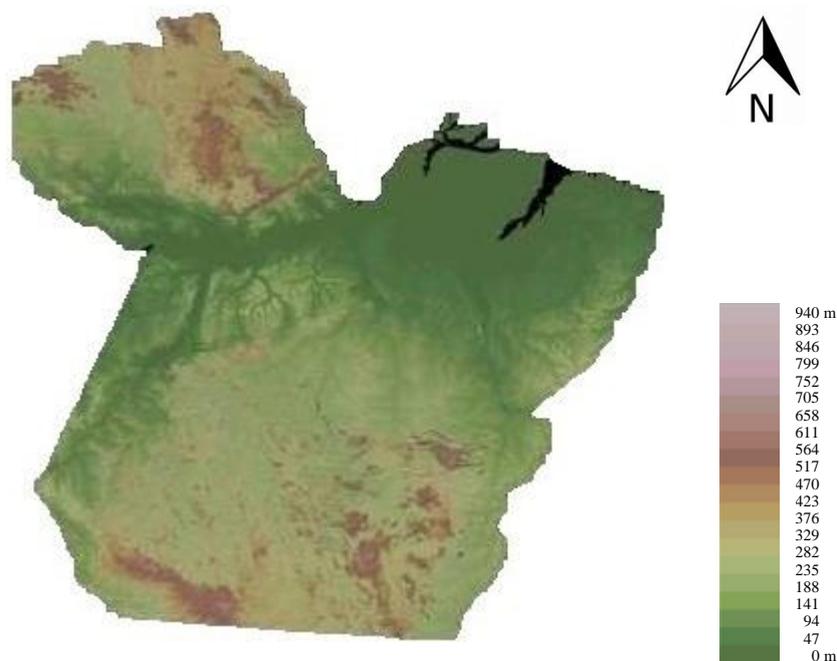


Figura 3.1 – Mapa de altitude do Estado do Pará

Fonte: Adaptado de MIRANDA e COUTINHO (2005).

O Estado do Pará notabiliza-se por apresentar formas de relevos bem diversificadas, as quais são distribuídas em quatro domínios morfoestruturais: Crátons Neoproterozóicos, Cinturões Móveis Neoproterozóicos, Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas e Depósitos Sedimentares Quaternários.

O Domínio Crátons Neoproterozoicos distribui-se tanto ao norte com ao sul do estado, compondo os chamados Planalto das Guianas e Planalto Central Brasileiro, com cerca de 58%. É retratado principalmente por rochas cristalinas (ígneas e metamórficas), com altimetrias variando de 200 a 800 m, formando planaltos, depressões e secundariamente chapadas, expondo amiúde topos convexos, e agudos tipificando alinhamentos serranos, secundados por topos planos. As serras do Acarai e Tumucumaque, situadas ao norte, e as serras de Carajás e do Cachimbo, ao sul, são seus principais acidentes orográficos.

Por sua vez, o Domínio Cinturões Móveis Proterozoicos ocupa as porções nordeste e sudeste do estado, abarcando a bacia do Araguaia-Tocantins e parte do rio Gurupi, cerca de 12%, tipificado por rochas principalmente metamórficas, compondo serras residuais, depressões e colinas, com topo agudo, exibindo alinhamentos séreos, em altimetrias de 100m a 200m (serras do Gurupi, Tapa, Quatipuru e Xambioá).

Completando os domínios morfoestruturais têm-se as Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozoicas ocupando a porção central do estado, formada essencialmente por rochas sedimentares, compondo planaltos rebaixados e planaltos residuais, além de depressões, com altimetrias abaixo de 100m, tendo como traço marcante a presença de topos planos de grande extensão espacial e de significado importante para a agropecuária, como também por se constituir em importante nicho para significativos depósitos de bauxita e caulim, em razão de sua origem climática/supergênica. Ocupa cerca de 25% do território paraense.

Finalmente, o domínio morfoestrutural de menor distribuição espacial, cerca de 5%, os Depósitos Sedimentares Quaternários cujo melhor exemplo é a calha do rio Amazonas e seus afluentes formando extensas planícies e terraços de importância econômica em razão de sua fertilidade na época de estiagem e pelos depósitos metálicos de ouro e cassiterita nos subafluentes do rio Amazonas.

A rede hidrográfica do Estado do Pará abrange uma área de 1.253.164,5 km², distribuída em diferentes bacias hidrográficas, sendo duas grandes bacias – A bacia Amazônica, com 1.049.903,5 km², e a bacia do Tocantins, com 169.003,5 km² – e outras de menor porte, como a bacia do rio Gurupí, com 720 km de extensão, dos quais 30% situa-se no Estado do Pará e 70% no Estado do Maranhão, as bacias dos rios Moju e Capim. Existem outras, ainda, onde os principais rios correm diretamente para o oceano Atlântico. O litoral paraense tem uma extensão de 618 km.

A bacia Amazônica é formada por mais de 20 mil quilômetros de rios extensos e perenes. Tem como grande via de acesso o rio Amazonas, que atravessa o Estado no sentido Oeste – Leste e deságua no Oceano Atlântico, em pleno território paraense, com inúmeras ilhas, que compõem o arquipélago de Marajó. Seus principais afluentes dentro do Estado, pela margem direita são: Tapajós e Xingu; e pela margem esquerda: Nhamundá, Trombetas, Paru, Curuá, Maicuru e Jarí.

A existência desta extensa rede hidrográfica garante ao estado duas importantes vantagens: o uso da navegação fluvial e um potencial hidroenergético avaliado em mais de 25.000 MW.

Nas áreas antropizadas, isto é, modificadas pelo homem, está o maior rebanho de búfalos do Brasil e o quinto maior rebanho de gado zebu. O Pará, além de produzir carne e laticínios, destaca-se no setor agrícola, principalmente na produção de dendê, pimenta-do-reino, abacaxi, banana, coco, laranja, manga e frutas regionais como o açaí e o cupuaçu. Na produção de grãos são destaques os cultivos da soja, arroz, milho e feijão. Com uma produção significativa de pescado o Estado abastece, também, outras regiões do país. O maior volume de produção é oriundo da atividade extrativa mineral e vegetal. No setor mineral o Pará exporta ferro, níquel, cobre, caulim, ouro e pedras preciosas, enquanto no setor vegetal exporta, principalmente, madeira e castanha-do-Pará.

3.3. BANCO DE DADOS

Nesse trabalho foram utilizados dados contendo localização geográfica e precipitação média mensal dos pontos estudados, os quais foram obtidos no site do Centro de Pesquisa Climática, Departamento de geografia, Universidade de Delaware, Newark, DE, Estados Unidos da América (http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/download.html#sa_temp_ts).

Utilizaram-se dados de 413 pontos de monitoramento via satélite de precipitação no Estado do Pará, com uma série histórica de 31 anos (1960-1990). A descrição dos pontos pode ser observada no APÊNDICE I.

Dentre os anos de 1960 a 1990, foram selecionados anos com ocorrência do fenômeno El Niño (totalizando 19 anos) e La Niña (13 anos), segundo informações disponibilizadas pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, no site: <http://enos.cptec.inpe.br/>.

Através dos dados de precipitação média mensal foi possível a obtenção das médias anuais de precipitação.

Para determinação de regiões homogêneas foi aplicada a análise de agrupamento para toda a série histórica (1960-1990), para séries históricas com ocorrência do fenômeno El Niño e séries históricas com ocorrência do fenômeno La Niña, para chuvas médias anuais e chuvas médias mensais, mostrados na Figura 3.2.

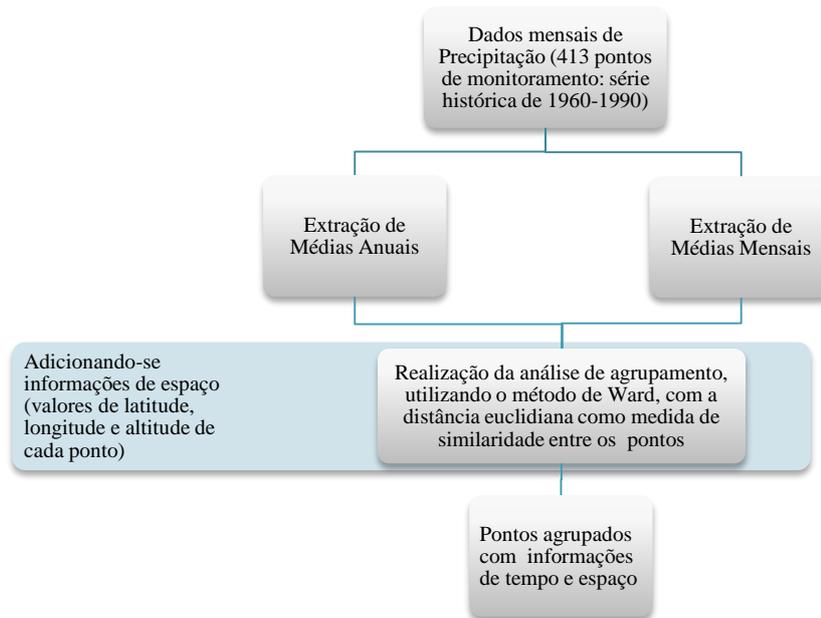


Figura 3.2 – Fluxograma do tratamento dos dados

Esse mesmo banco de dados foi utilizado para simulação dos modelos de estimativa de chuva, tanto para aplicação das funções de probabilidade quanto para aplicação da regressão múltipla.

Baseado em estudos existentes em literatura, mostrados no item 2.5.1, para simulação das funções de probabilidade, foram aplicadas as funções Gumbel, Exponencial e Normal para toda a série histórica (1960-1990), para séries históricas com ocorrência do fenômeno El Niño e séries históricas com ocorrência do fenômeno La Niña.

Já para a estimativa de chuvas através dos modelos de regressão múltipla este mesmo banco de dados foi utilizado para etapa de calibração dos modelos linear, de potência e segundo modelo de Potência. Para a etapa de validação desses modelos, os dados pluviométricos foram coletados através do site, <http://hidroweb.ana.gov.br> (ANA - Agência Nacional de Águas). Na rede da ANA na Amazônia, os totais pluviométricos diários são medidos por pluviômetros Ville de Paris (Figura 2.5), os quais possuem uma resolução de 0,1mm.

Com relação às séries históricas, a World Meteorological Organization (WMO) preconiza, em nota técnica número 81 (THOM, 1966), que o número mínimo de anos de dados climáticos para a análise é de 30 anos. No presente trabalho, as séries utilizadas na etapa de calibração possuem 31 anos de registros (1960-1990). Já para a

etapa de validação, foram consideradas as estações da ANA com no mínimo 10 anos de dados registrados a partir de 1991, exceto uma com apenas 6 anos de dados.

As altitudes de localização das estações pluviométricas foram determinadas, utilizando o mapa de altitude adaptado de MIRANDA e COUTINHO (2005), mostrado na Figura 3.1.

3.4. DETERMINAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS

Em hidrologia, o termo região homogênea está associado a regiões que possuem similaridade hidrológica. Para LANNA *et al.* (1983), essa similaridade inclui fatores físicos, climáticos, biológicos, geológicos e efeitos antrópicos.

Muitos autores consideram a identificação de regiões homogêneas como a etapa da regionalização que possui maior grau de dificuldade, por requerer muitas vezes julgamento subjetivo. De fato, BOBÉE e RASMUSSEN (1995) reconheceram que, a delimitação de regiões homogêneas é construída com base em premissas difíceis de serem tratadas com rigor matemático. Uma das formas de se obter resultados sobre regiões homogêneas é através da análise de agrupamento. O item 2.3 apresentou vários trabalhos sobre este assunto.

3.4.1. Análise de Agrupamento

Na Análise de Agrupamento, o principal objetivo é agrupar indivíduos (ou variáveis) baseados em suas características (HAIR *et al.*, 2005). Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos, utilizando esta análise, havendo uma aplicação abrangente em ciências ambientais (WILKS, 2005 e XU, 2008).

Identificando os grupos de objetos semelhantes entre as variáveis, segundo algum critério definido pelo conjunto de variáveis estudadas, a análise de agrupamento, pode ser colocada da seguinte maneira:

Seja $x = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$ um conjunto de variáveis e, $e = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ o conjunto de elementos, o qual se deseja agrupar. Com base no conjunto x , pode-se determinar uma participação de e em grupos g_i , tal que se $e_r, e_s \in g_i \rightarrow e_r, e_s$ são semelhantes e formam um subgrupo de g_i .

A Análise de Agrupamento tem por finalidade reunir, segundo um critério de classificação, os indivíduos (ou objetos, locais, populações, amostras, etc.) em vários grupos, de tal forma que exista homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade

entre os grupos. Esta análise envolve basicamente duas etapas: a primeira diz respeito à estimação de uma medida de similaridade entre os indivíduos ou populações a serem agrupados; e a segunda, a adoção de um método de agrupamento para formação de conglomerados (CRUZ, 1997). O resultado depende da medida de similaridade e do método de agrupamento escolhido.

A comparação de diferentes elementos amostrais pode ser feita através de medidas matemáticas (métricas) que possibilitem a comparação de vetores, como as medidas de distância. Assim, as distâncias entre os vetores de observações dos elementos amostrais, podem ser calculadas, permitindo o agrupamento dos elementos de menor distância.

Para se medir o grau de proximidade entre as variáveis estudadas, pode ser empregada a distância euclidiana, devendo-se registrar que as distâncias menores indicam maior similaridade.

Para o agrupamento das variáveis, muitos autores utilizam o método de *Ward* – método aglomerativo. O objetivo do método de *Ward* é minimizar o quadrado das distâncias euclidianas. Cada elemento inicia-se representando um grupo, e a cada passo, um grupo ou elemento é ligado a outro de acordo com sua similaridade, até o último passo, onde é formado um grupo único com todos os elementos.

Os grupos, nos métodos hierárquicos, são geralmente representados por um diagrama bidimensional, chamado dendograma ou diagrama de árvore (Figura 3.3), onde no eixo das abscissas, estão distribuídos os elementos a serem agrupados e no eixo das ordenadas o nível de agregação entre os grupos, facilitando assim a visualização e interpretação dos resultados obtidos. Cada nível de agregação implica numa perda de informação resultante de cada agrupamento, perda esta avaliada pelo critério de inércia intra-classe (utilizado como critério de agregação), em que o maior salto, em relação aos anteriores, é definido como o ponto de corte. O nível de agregação aumenta à medida que se diminui o número de grupos (BRAGA, 1990 e BECKER, 1992).

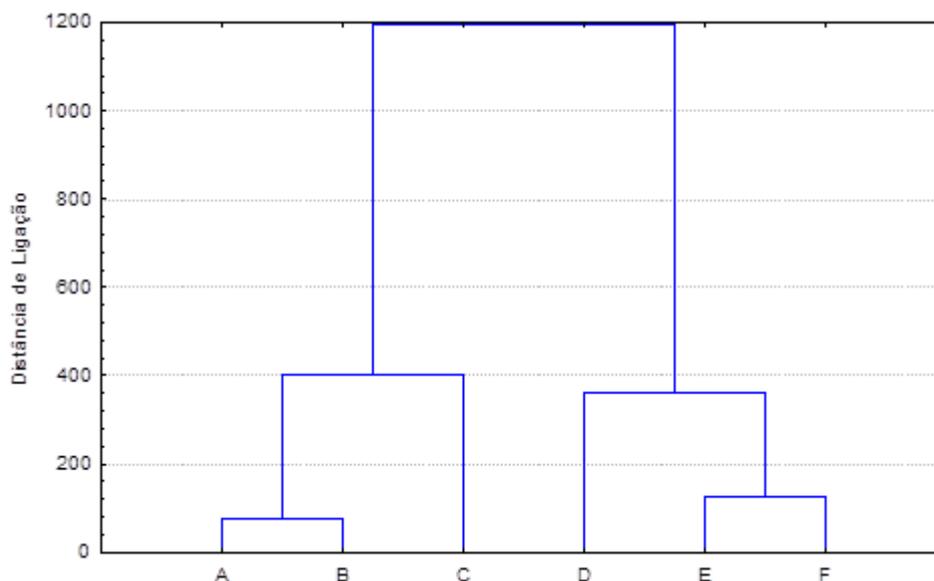


Figura 3.3 – Dendrograma ou Diagrama de Árvore

3.4.3.1. Métodos de Agrupamento

a) Métodos Hierárquicos

Nos métodos hierárquicos, os dados são particionados sucessivamente, produzindo-se um agrupamento hierárquico, que facilita a visualização quanto à formação dos agrupamentos em cada estágio em que essa visualização ocorre; e quanto ao grau de semelhança entre os agrupamentos. São técnicas simples e representadas numa estrutura com forma de árvore denominada dendrograma (Figura 3.3), que mostra a forma em que as observações foram agrupadas.

Os métodos hierárquicos podem ser classificados de acordo com o tipo de funcionamento em métodos aglomerativos e divisórios.

- Método Hierárquico Aglomerativo:

Os métodos hierárquicos aglomerativos são os mais usados, iniciam-se com cada objeto (dado) como um agrupamento e depois, gradualmente, os grupos são unidos, até que um único agrupamento (contendo os dados) seja gerado. No início deste processo, os agrupamentos são pequenos e seus elementos possuem um alto grau de similaridade. Já no final do processo, os agrupamentos são poucos e os seus elementos são maiores podendo ter menor similaridade entre si (VALE, 2005).

Um das desvantagens deste método é que, se a quantidade de dados é grande, o sistema torna-se lento, já que o método trabalha com uma matriz de similaridades entre os agrupamentos, fazendo diferentes combinações entre objetos.

Os métodos hierárquicos divisórios não são muito utilizados. Estes, por sua vez, consideram inicialmente um agrupamento de N objetos (dados) e por sucessivas divisões chega-se a n subgrupos, cada um contendo um único objeto. Os métodos divisórios são considerados bastante ineficientes e por esta razão, são menos expressivos que as técnicas aglomerativas (COSTA, 1999).

Para ambos os métodos, o número de agrupamentos k pode ser observado segundo a diferença entre os níveis de hierarquia observados no dendograma. Existem vários métodos importantes nesta categoria, dentre eles o método da ligação simples (*single linkage*), ligação completa (*complete linkage*), ligação média (*average linkage*), ligação por centróide (*centroide linkage*) e método da variância mínima (*Ward's Linkage*).

I. *Single Linkage* (ligação simples - método do vizinho mais próximo)

É um método que consiste, inicialmente, de uma matriz de distância entre indivíduos. Nesse caso, são identificados os dois indivíduos mais similares (menor distância entre eles), os quais são reunidos em um grupo inicial. A seguir, é calculada a distância daquele primeiro grupo em relação aos demais indivíduos. A distância entre um grupo e um indivíduo é fornecida pela Eq.(3.1) (MANLY, 1994):

$$d_{(ab)c} = \min \{d_{ac}; d_{bc}\} \quad (3.1)$$

A distância entre o grupo constituído pelos indivíduos, a e b , e o indivíduo c , é fornecida pelo menor elemento do conjunto das distâncias dos pares de indivíduos ac e bc . Segundo LIBERATO (1995), constitui-se uma nova matriz de similaridade, de dimensão menor que a inicial e se identificam os indivíduos e/ou grupos mais similares, incorporando-se outro indivíduo ao grupo inicial ou formando um segundo grupo, caso a menor distância da nova matriz de similaridade seja visualizada entre dois outros indivíduos. Nas etapas seguintes, trabalha-se com matrizes de similaridade com dimensões cada vez menores, finalizando o agrupamento de todos os indivíduos em um único grupo, formando um dendograma ou árvore (Figura 3.3).

II. *Complete Linkage* (ligação completa - método do vizinho mais distante)

Esse método possui o procedimento semelhante àquele do vizinho mais próximo, com uma diferença importante: a cada estágio, a medida de distância é dada por aquela que proporciona a maior distância entre dois indivíduos e/ou grupos. A distância entre um grupo e um indivíduo é fornecida pela Eq.(3.2) (MANLY, 1994).

$$d_{(ab)c} = \max \{d_{ac}; d_{bc}\} \quad (3.2)$$

Isto é, a distância entre o grupo constituído pelos indivíduos a e b e o indivíduo c , é fornecida pelo maior elemento do conjunto das distâncias dos pares de indivíduos ac e bc .

III. *Average Linkage* (ligação média)

O método *Average Linkage* calcula a média aritmética da similaridade (ou da distância) entre o objeto ou elemento a se incluir num grupo e cada objeto ou elemento desse grupo. Uma variação desse método é o chamado método *Centroid Linkage* (ligação por centróide).

IV. *Centroid Linkage* (ligação por centróide)

Esse processo é o mais direto, pois substitui cada fusão de grupos por um único ponto representado pelas coordenadas de seu centro. A distância entre os grupos é definida pela distância entre os centros. Em cada etapa, procura-se fundir grupos que tenham a menor distância entre si. A distância entre o grupo 1 (G_1) e grupo 2 (G_2) é dada pela Eq.(3.3).

$$d_{G_1G_2} = \|\bar{X}_{G_1} - \bar{X}_{G_2}\| \quad (3.3)$$

V. *Ward's Linkage* (método da variância mínima):

Outro método usado nesta categoria é o método de *Ward's Linkage* ou método da variância mínima. Esse método é utilizado com frequência, já que é considerado eficiente na formação de grupos (PEREIRA, 2005).

O método Ward é um método de agrupamento de dados hierárquico, que forma grupos de maneira a atingir sempre o menor erro interno entre os vetores que

compõem cada grupo e o vetor médio do grupo. Isso equivale a buscar o mínimo desvio padrão entre os dados de cada grupo. No estágio inicial, o erro interno é nulo para todos os grupos, pois cada vetor que compõe cada grupo é o próprio vetor médio do grupo. Igualmente, o desvio padrão para cada grupo é nulo. Na etapa subsequente, cada possibilidade de aglomeração entre os grupos 2 a 2 é verificada, e é escolhido o agrupamento que causa o menor aumento no erro interno do grupo. São $m \times m$ verificações. Dessa forma, para uma base de dados com m elevado, estas verificações exigem um grande esforço computacional. Nota-se que a cada iteração tem-se $m - i$ grupos (i = número de iterações), no entanto, como o número de elementos pertencentes a cada grupo aumenta, é maior o número de cálculos para o erro interno de cada grupo.

Para compreensão do funcionamento desse método, deve-se considerar x_{ijk} , como o valor da componente i do vetor j do grupo k da base de dados. Assim o valor médio entre os m_k vetores da componente i do grupo k é dado pela Eq.(3.4).

$$\bar{x}_{ik} = \sum_{j=1}^{j=m_k} \frac{x_{ijk}}{m_k} \quad (3.4)$$

Sendo:

\bar{x}_{ik} - valor médio entre os m_k vetores da componente i do grupo k ;

x_{ijk} - valor da componente i do vetor j do grupo k da base de dados;

m_k - número de vetores da base de dados analisada (número de verificações do grupo k).

A Eq. (3.5) determina o erro interno entre todos os valores das n componentes dos m_k vetores de um dado grupo k em relação ao valor médio deste grupo, já a Eq. (3.6) determina o erro total de todos os h grupos.

$$E_k = \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=m_k} (x_{ijk} - \bar{x}_{ik})^2 \quad (3.5)$$

$$E = \sum_{k=1}^{k=h} E_k \quad (3.6)$$

Sendo:

E_k - erro interno do grupo k ;

E - Erro total de todos os grupos.

O aumento no erro interno do grupo k , caso os grupos p e q sejam agrupados, está mostrado na Eq.(3.7).

$$\Delta E = \frac{m_p \cdot m_q}{m_p + m_q} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (x_{ip} - \bar{x}_{iq})^2 \quad (3.7)$$

Em que:

ΔE - aumento do erro interno;

m_p - número de vetores da base de dados analisada do grupo p ;

m_q - número de vetores da base de dados analisada do grupo q ;

x_{ip} - valor da componente i do grupo p da base de dados;

\bar{x}_{iq} - valor médio entre os m_q vetores da componente i do grupo q ;

n - número de componentes dos vetores da base de dados;

i - índice para componentes de vetores;

j - índice para vetores de um grupo;

k - índice para grupos formados dentro da base de dados.

A cada etapa, o método de Ward utiliza a Eq.(3.7), que rege o funcionamento do método e sua convergência.

- **Métodos Hierárquicos Divisivos:**

Os métodos hierárquicos divisivos trabalham na direção oposta. Todos os objetos partem de um grupo gigante, e estes são subdivididos em dois subgrupos, de tal forma que exista o máximo de semelhança entre os objetos dos subgrupos e a máxima diferença entre elementos de subgrupos distintos. O processo é repetido até que haja tantos subgrupos quantos objetos (MALHOTRA, 2006).

Esses métodos consideram inicialmente um agrupamento de n objetos (dados) e por sucessivas divisões chega-se a n subgrupos, cada um contendo um único objeto. Os métodos divisórios são considerados bastante ineficientes e por esta razão, são menos expressivos que as técnicas aglomerativas (COSTA, 1999), ou seja, não são muito utilizados.

b) Métodos não-hierárquicos

Os métodos não-hierárquicos de geração de agrupamentos são enquadrados como partitivos, pois dividem os n dados e u observações existentes em k partições ou agrupamentos, cujo número de partições deve ser conhecido. Em relação às técnicas hierárquicas, elas apresentam a vantagem de incluir a possibilidade de se trabalhar com bases de dados maiores (COSTA, 1999).

Os métodos não hierárquicos são muito mais rápidos que os hierárquicos, sendo que a principal desvantagem dos métodos não hierárquicos está no fato da escolha, a priori, do número de agrupamentos (k), o que poderá provocar interpretações erradas sobre a estrutura dos dados, caso o agrupamento escolhido não seja o ideal. Em alguns casos, não é possível se ter uma ideia concreta de quantos grupos podem ser definidos. Então, nem sempre o número de agrupamentos definido pode ser o ideal. Entre os métodos não hierárquicos mais conhecidos, encontra-se o método das k -médias ou *kmeans*.

O método das k -médias é um método dos mais populares das técnicas particionais. Diferentemente dos métodos hierárquicos, o método das k -médias não cria um dendograma ou diagrama de árvore. O mesmo é um método adequado para grandes quantidades de dados. O algoritmo k -médias busca os centros de agrupamento pela minimização direta do critério de erro calculado em função da distância (EVSUKOFF e GENTIL, 2005). O algoritmo k -médias tem uma inicialização aleatória que exige um processo iterativo até que a estabilidade dos grupos seja definida. A seguir são apresentados alguns métodos não- hierárquicos.

I. Referência Sequencial

O método da referência sequencial começa pela seleção de um grupo, denominado “semente” de agrupamento e inclui todos os objetos dentro de uma distância pré-especificada. Quando todos os objetos dentro da distância são incluídos, uma segunda semente de agrupamento é selecionada e todos os objetos dentro da distância pré-especificada são incluídos. Em seguida, uma terceira semente é selecionada e o processo continua como anteriormente. Quando um objeto é agrupado com uma semente, já não é mais semente em potencial para estágios futuros.

II. Referência Paralela

O método da referência paralela, por sua vez, escolhe diversas sementes de agrupamentos simultaneamente no começo e designa objetos dentro da distância de referência até a semente mais próxima. À medida que o processo desenvolve-se, as distâncias de referência podem ser ajustadas para incluir menos ou mais objetos nos agrupamentos. Ainda assim, em algumas variantes desse método, os objetos permanecem não agrupados se estiverem fora da distância de referência pré-especificada a partir de qualquer semente de agrupamento.

III. Otimização

O terceiro método, chamado de agrupamento de otimização, é semelhante aos outros dois métodos não-hierárquicos, exceto em que ele permite a re-designação de objetos. Se, no curso da designação de objetos, um deles torna-se mais próximo de outro agregado, que não é o agrupamento no qual ele está associado no momento, então um procedimento de otimização transfere o objeto para o agregado mais semelhante (mais próximo).

3.4.3.2. Medidas de Similaridade

A maioria dos métodos de análise de agrupamento (cluster) requer uma medida de similaridade entre os elementos a serem agrupados. A escolha do critério para avaliar a distância entre os objetos, quantifica o quanto os objetos são semelhantes.

As medidas de similaridade mais usuais, podem ser subdivididas em três categorias:

- a) as que medem a distância entre pares de pontos;
- b) as que medem a correlação entre pares de valores; e
- c) as que medem a associação entre pares de caracteres qualitativos.

Segundo MINGOTI (2005), para que se possa proceder ao agrupamento de elementos, é necessário que se decida, a priori, a medida de similaridade que será utilizada, sendo que tipos diferentes de medidas produzirão diferentes tipos de agrupamento.

Existem várias maneiras possíveis de se obter tipos de medidas de similaridade que dependem do tipo de variáveis, que está sendo considerado ou utilizado na análise de agrupamentos (FERREIRA, 2008).

O princípio das medidas de distância ou medidas de similaridade considera, que se dois indivíduos são similares, eles estão próximo um ao outro, ou seja, eles são comuns em relação ao conjunto de variáveis e vice-versa (LIBERATO, 1995).

Existe um critério de medidas de similaridade ou de distância, que determina o grau de proximidade entre objetos de um mesmo grupo (intra-grupo) e entre grupos diferentes (inter-grupos). Quase todas as técnicas de agrupamentos envolvem processamento de medidas, tanto da magnitude da distância entre dois objetos, quanto, da magnitude das distâncias entre agrupamentos, devido ao fato dos dados poderem estar em várias formas, são vários os critérios de similaridade propostos. Em geral, assume-se que os objetos são pontos em um espaço métrico p-dimensional, no qual se pode definir um critério de distâncias (COSTA, 1999), dentre essas distâncias pode-se destacar as seguintes.

a) Distância Euclidiana

É uma medida de similaridade usual em agrupamento de dados. Esta medida de distância é perfeitamente métrica, sendo uma linha reta entre dois pontos, é uma das medidas mais utilizadas em agrupamento de dados. É a distância geométrica tomada em um espaço de p dimensões. Sendo X_{ij} a observação da i -ésima estação pluviométrica ($i = 1, 2, \dots, n$), com referência a j -ésima variável ou frequência absoluta em cada classe ($j = 1, 2, \dots, p$) estudada e Z_{ij} a variável padronizada, define-se a distância euclidiana padronizada entre dois postos i e i' , por meio da Eq.(3.8).

$$d_{ii'} = \sqrt{\sum_{j=1}^p (Z_{ij} - Z_{i'j})^2} \quad (3.8)$$

b) Distância Generalizada ou Ponderada

A distância generalizada entre dois elementos X_l e X_k , com $l \neq k$, é definida pela Eq.(3.9).

$$d(X_l, X_k) = [(X_l - X_k)' A (X_l - X_k)]^{1/2} \quad (3.9)$$

Seja $A_{p \times p}$ é uma matriz de ponderação positiva definida (Figura 3.4).

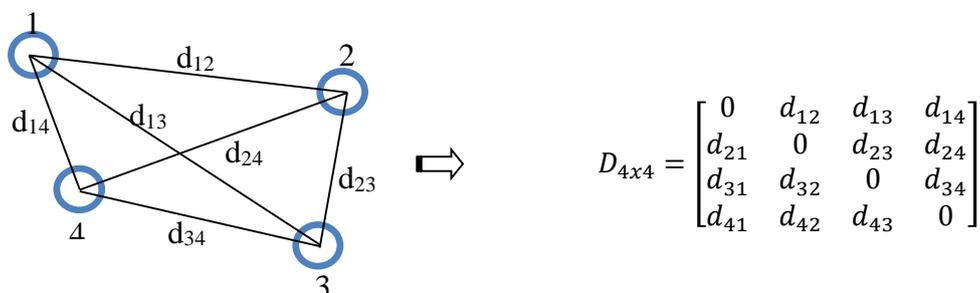


Figura 3.4 – Esquema de armazenamento de distâncias numa matriz 4x4.

Quando a matriz $A_{p \times p}$ é uma matriz identidade, a distância generalizada é a distância Euclidiana; se $A_{p \times p}$ é igual a $A_{p \times p}^{-1}$, tem-se a distância de Mahalanobis (1936) e quando $A_{p \times p} = \text{diag}\left(\frac{1}{p}\right)$, tem-se a distância Euclidiana média. Assim, uma matriz do tipo $A_{p \times p} = \text{diag}((s_i^2)^{-1})$, onde s_i^2 é a variância amostral da i -ésima variável aleatória, $i = 1, 2, \dots, p$, leva em consideração na ponderação, apenas a diferença de variabilidade, que pode haver entre as variáveis, uma vez que, nesse caso, a distância entre X_l e X_k , com $l \neq k$, pode ser reescrita como mostrada na Eq. (3.10).

$$d(X_l, X_k) = \left[\sum_{i=1}^p \frac{1}{s_i^2} (X_{il} - X_{ik})^2 \right]^{1/2} \quad (3.10)$$

Já uma matriz do tipo $A_{p \times p} = s_{p \times p}^{-1}$ leva em consideração, na ponderação, as possíveis diferenças de variâncias e relações lineares entre as variáveis, medidas em termos de covariâncias.

c) Distância de Minkowsky

A distância de Minkowsky entre dois elementos X_l e X_k , com $l \neq k$, é definida pela Eq.(3.11).

$$d(X_l, X_k) = \left[\sum_{i=1}^p w_i |X_{il} - X_{ik}|^\lambda \right]^{1/\lambda} \quad (3.11)$$

Sendo que w_i são os pesos de ponderação para as variáveis. E para $\lambda = 1$ esta distância é conhecida como *city-block* ou *Manhattan*, e para $\lambda = 2$, tem-se a distância Euclidiana. A métrica de Minkowsky é menos afetada pela presença de valores discrepantes na amostra do que a distância Euclidiana.

As distâncias entre os elementos amostrais são armazenadas numa matriz de dimensão $n \times n$, chamada de matriz de distâncias, como mostrado na Figura 3.4, na qual d_{ij} representa a distância do elemento amostral i ao elemento amostral j .

3.4.4. Determinação de Regiões Homogêneas

3.4.4.1. Aplicação do Agrupamento

Para aplicação dos agrupamentos nos dados de precipitação foi realizada uma padronização dos mesmos, esta operação foi realizada devido as variáveis utilizadas no agrupamento não estarem na mesma unidade de medida, objetivando garantir que as variáveis contribuam igualmente para a similaridade entre os indivíduos. A padronização se deu pelo valor original das variáveis, subtraindo-se da média de cada conjunto de dados, dividido pelo respectivo desvio-padrão.

Após a padronização foi feita a aplicação dos métodos de agrupamento, que foi efetuada a partir da delimitação das regiões homogêneas através de três diferentes métodos de agrupamentos, discutidos anteriormente, ou seja, o método de Ward, Ligação Simples e Completa. Embora se tenha utilizado esses três métodos, optou-se pelo método de WARD (1963), baseado em uma classificação hierárquica ascendente, sendo utilizada a distância euclidiana como função de agrupamento para medir a proximidade entre as estações pluviométricas; e tendo para definição dos grupos, considerados regiões homogêneas de precipitação, o critério de inércia intra-classe.

Esta opção justifica-se, pois o método de Ward apresentou resultados melhores em relação aos outros métodos; e também por ser amplamente utilizado na determinação de regiões homogêneas de precipitação, como pode ser observado na revisão da literatura do presente trabalho.

Assim, a análise de agrupamento foi aplicada para toda a série histórica (1960-1990), para séries históricas com ocorrência de El Niño e de La Niña; para chuvas médias anuais e chuvas médias mensais. As variáveis estatísticas foram calculadas através do software Statistic 6.0[®], desenvolvido pela “StatSoft”. Assim, o estado do Pará foi dividido em regiões homogêneas, as quais foram determinadas por cortes transversais no dendograma (representação gráfica dos agrupamentos), baseado no critério matemático de inércia (distância entre as regiões). O critério de corte adotado foi aquele em que o número n de regiões formadas resulta no maior salto de inércia com relação ao precedente $n+1$. O nível de corte no dendograma estabelecido no estudo foi baseado em uma análise de sensibilidade, onde se observou o maior nível de similaridade.

Após a seleção dos números de regiões formadas, com seus respectivos dados (latitude, longitude e valor de precipitação), foi utilizado o programa Surf 9[®] para obtenção da representação gráfica das divisões de regiões homogêneas no Estado do Pará. A Figura 3.5 resume a metodologia empregada.

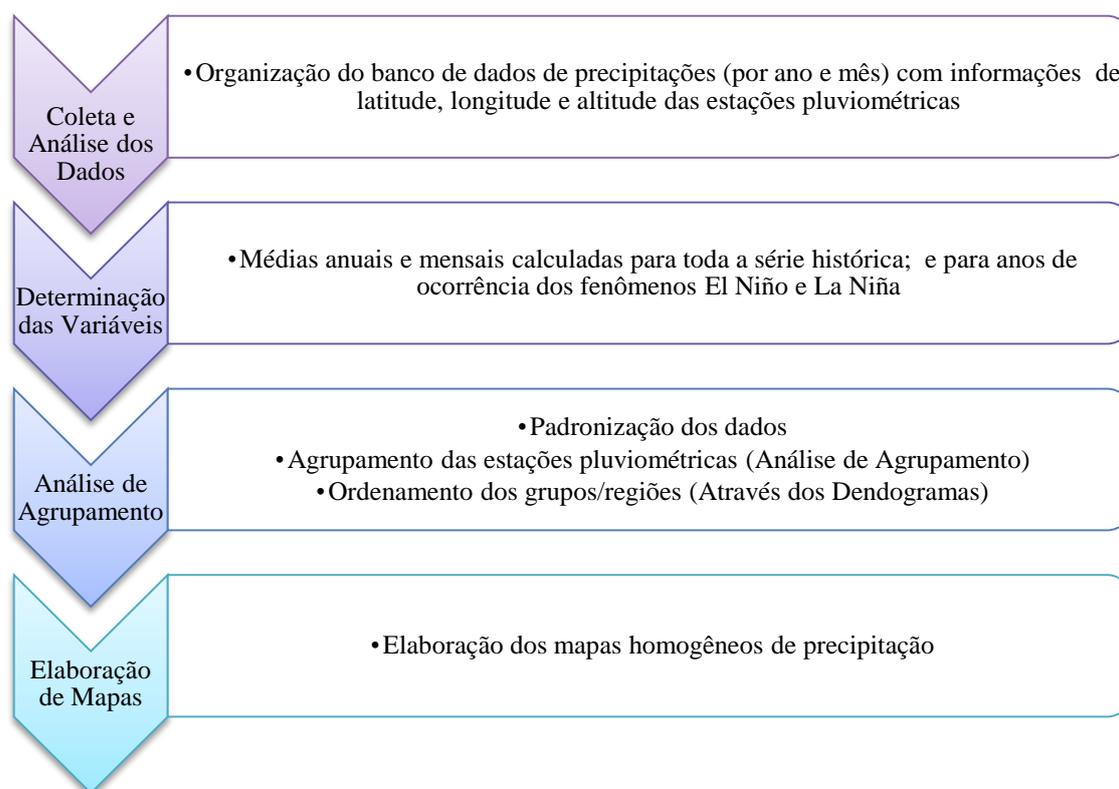


Figura 3.5 – Fluxograma da metodologia de agrupamento

A cada etapa, o método de análise de agrupamento utiliza a Eq.(3.7), que rege o funcionamento do método e sua convergência. Assim, após a obtenção dos dendogramas (Figura 3.3) foi escolhido subjetivamente o número de regiões homogêneas formadas. Essa escolha foi realizada variando-se a distância de ligação e contando os números de grupos homogêneos formados.

3.5. MODELOS DE ESTIMATIVA DE CHUVA

3.5.1. Funções de Distribuição de Probabilidade - FDP

No estudo das precipitações pluviométricas, várias funções ou modelos de distribuição de probabilidade têm sido utilizados para estimar a probabilidade de ocorrência de chuva em uma determinada frequência (diária, mensal, anual, etc.); e verificar o comportamento e a variabilidade das chuvas. Esses modelos servem para quantificar a probabilidade de ocorrência (%) de certa quantidade de chuva (altura), norteando o planejamento e a gestão de recursos hídricos em projetos de controle de enchente e irrigação, por exemplo.

Em termos probabilísticos, teoricamente o que ocorreu no passado poderá ocorrer no futuro. Assim, pode-se afirmar que as frequências de ocorrência do passado são válidas para descrever as probabilidades de ocorrência no futuro. Assim, estabelece-se a diferença entre probabilidade e frequência: probabilidade refere-se a eventos não conhecidos; frequência a eventos conhecidos e o primeiro pode resultar do segundo. A probabilidade pode ser cumulativa de não excedência ou excedência, a probabilidade de não-excedência refere-se a eventos máximos, e a de excedência refere-se a eventos mínimos.

Os modelos probabilísticos ou distribuições teóricas fornecem uma projeção do que poderá ocorrer no futuro em termos das ocorrências passadas de uma variável aleatória.

Dentre as funções ou modelos de distribuição de probabilidade muito utilizadas em recursos hídricos, estão as distribuições: Gama, Gumbel, Normal, Weibull, Exponencial e Log-normal, as quais são apresentadas a seguir.

a) Gama

A distribuição Gama é utilizada para o ajuste de totais de chuva de períodos mensais ou menores (ASSIS *et al.* 1996; SILVA & ASSAD, 1998). Sua função de densidade de probabilidade (FDP) Gama é dada pela Eq.(3.12).

$$FDP: f(X) = \frac{1}{\Gamma(\gamma)\beta^\gamma} X^{\gamma-1} e^{-\frac{X}{\beta}} \quad (3.12)$$

Com β dado pela Eq. (3.13), e γ dado pela Eq. (3.14), sendo β o parâmetro de escala, γ o parâmetro de forma, e $\Gamma(\gamma)$ a função gama do parâmetro.

$$\beta = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad (3.13)$$

$$\gamma = \frac{\bar{x}^2}{s^2} \quad (3.14)$$

Sendo, s^2 a variância e \bar{x} a média dos valores observados. O valor de $\Gamma(\gamma)$ pode ser encontrado em manuais de fórmulas e tabelas matemáticas.

A integral da FDP é a FCP (função cumulativa de probabilidades), ou seja, a função que modela a probabilidade de ocorrência da variável aleatória. Como nesse caso, a integral da FDP não possui solução analítica, esta equação pode ser resolvida através de métodos tradicionais de integração numérica.

b) Gumbel

Segundo ASSIS *et al.* (1996), a distribuição Gumbel é utilizada para análise de evento climatológico extremo. Sua FCP de não excedência é dada pela Eq.(3.15).

$$FCP: P(Y \leq y) = e^{-e^{-\alpha(y-\mu)}} \quad (3.15)$$

A qual apresenta como função densidade de probabilidade a Eq.(3.16).

$$FDP: f(y) = \alpha \cdot e^{\{-\alpha \cdot (y-\mu) - e^{-\alpha(y-\mu)}\}} \quad (3.16)$$

Nesse caso, α e μ são parâmetros de distribuição, onde α é o parâmetro de escala e μ é o parâmetro de posição (localização).

Os dois primeiros momentos da distribuição Gumbel, que deverão ser usados para estimativas dos parâmetros α e μ , são mostrados na Eq.(3.17) e na Eq.(3.18).

$$E(Y) = \mu + 0,577/\alpha \quad (3.17)$$

$$VAR(Y) = \pi^2/(6\alpha^2) = 1,645/\alpha^2 \quad (3.18)$$

O ajuste dos parâmetros pelo método dos momentos é realizado pelas soluções do sistema de equações obtido pela substituição de $E(Y)$ e $VAR(Y)$ por suas estimativas amostrais \bar{x} e s . Como resultado, são obtidas as Eq.(3.19) e Eq.(3.20).

$$\hat{\alpha} = 1,2826/s \quad (3.19)$$

$$\hat{\mu} = \bar{x} - 0,451 \cdot s \quad (3.20)$$

c) Normal

Já a distribuição Normal é utilizada para cálculo da probabilidade acumulada de ocorrências totais de precipitação (HASTINGS e PEACOCK, 1975). A distribuição normal é uma distribuição de dois parâmetros. Sua função de probabilidade pode ser observada na Eq.(3.21).

$$FDP: f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-0,5\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (3.21)$$

Em que μ é a média dos valores das variáveis observadas e σ é o desvio padrão dos valores das variáveis observadas.

Definindo uma variável $y = (x - \mu)/\sigma$ pode ser verificado que ela tem média igual a 0 e desvio padrão igual a 1. Logo, ela distribui-se segundo a Normal Eq.(3.22):

$$FDP: f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-0,5 \cdot y^2} \quad (3.22)$$

Que é chamada de distribuição Normal padrão, sendo y a variável padronizada. A vantagem do estudo dessa distribuição é que qualquer distribuição normal pode ser

reduzida a ela, se for efetuada a transformação indicada. A função cumulativa de probabilidade de não-excedência relacionada com $f(y)$ é dada pela Eq.(3.23).

$$FCP: F(Y \leq y) = \int_{\tau}^y \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-0,5\tau^2} \cdot d\tau \quad (3.23)$$

Sendo que a integral não tem solução analítica, então para seu cálculo pode ser utilizada uma aproximação numérica dada pela Eq.(3.24) (TUCCI, 1997).

$$F(Y \leq y) = 1 - f(y) \cdot (a_1 \cdot q + a_2 \cdot q^2 + a_3 \cdot q^3) \quad (3.24)$$

Sendo $q = (1 + a_0 \cdot y)^{-1}$, y são valores da variável padronizada e os coeficientes assumem os seguintes valores: $a_0 = 0,33267$; $a_1 = 0,43618$; $a_2 = 0,12017$ e $a_3 = 0,93730$.

d) Weibull

A distribuição de probabilidade Weibull pode ser utilizada em eventos extremos, principalmente para estudos hidrológicos, assim como a distribuição Gumbel (DUAN *et al.*, 1998). Nesse caso, as funções cumulativa de probabilidade de não-excedência e excedência são dadas através da Eq.(3.25) e (3.26), respectivamente.

$$FCP: P(Z \leq z) = 1 - e^{-[(z-\gamma)/(\mu-\gamma)]^\lambda} \quad (3.25)$$

ou

$$FCP: P(Z \geq z) = e^{-[(z-\gamma)/(\mu-\gamma)]^\lambda} \quad (3.26)$$

Com sua função densidade de probabilidade dada pela Eq.(3.27),

$$FDP: f(z) = [\lambda/(\mu - \gamma)] \cdot [(z - \gamma)/(\mu - \gamma)]^{\lambda-1} \cdot P(Z \leq z) \quad (3.27)$$

Os Parâmetros λ , μ e γ , são dados pela esperança matemática, Eq.(3.28), variância, Eq.(3.29) e assimetria populacional, Eq.(3.30).

$$E(Z) = \gamma + (\mu - \gamma)\Gamma(1 + 1/\lambda) \quad (3.28)$$

$$VAR(Z) = (\mu - \gamma)^2[\Gamma(1 + 2/\lambda) - \Gamma^2(1 + 1/\lambda)] \quad (3.29)$$

$$A(Z) = \frac{\Gamma(1 + 3/\lambda) - 3\Gamma(1 + 2/\lambda)\Gamma(1 + 1/\lambda) + 2\Gamma^3(1 + 1/\lambda)}{[\Gamma(1 + 2/\lambda) - \Gamma^2(1 + 1/\lambda)]^{1,5}} \quad (3.30)$$

Verificando-se que a assimetria populacional depende apenas do parâmetro λ , isso permite a obtenção de uma estimativa de λ , conhecida como estimativa amostral, Eq.(3.31).

$$1/\lambda = [c_0 + c_1 \cdot a + c_2 \cdot a^2 + c_3 \cdot a^3 + c_4 \cdot a^4] \quad (3.31)$$

Sendo $c_0=0,2777757913$, $c_1=0,3132617714$, $c_2=0,057567091$, $c_3=-0,0013038566$, $c_4=-0,0081523408$; e a a estimativa amostral da assimetria, que deverá apresentar valores entre -1,02 e 2 para validade da equação (TUCCI, 1997).

e) Exponencial

Segundo THOM (1958), a distribuição Exponencial é geralmente aplicada aos dados com forte assimetria, como aqueles cujo histograma tem a forma J invertido. Sua função de probabilidade é dada pela Eq.(3.32).

$$FDP: f(x) = \alpha \cdot e^{-\alpha \cdot x} \quad (3.32)$$

A sua FCP de não excedência pode ser calculada pela integração da Eq.(3.32), resultando na Eq.(3.33).

$$FCP: P(X \leq x) = \int_{\tau=0}^x \alpha \cdot e^{-\alpha \cdot \tau} d\tau = 1 - e^{-\alpha \cdot x} \quad (3.33)$$

Sendo x a variável aleatória e α o inverso da média aritmética dos valores de x observados.

f) Log-Normal

A distribuição Log-Normal, muito utilizada na hidrologia e na hidroclimatologia é aquela cuja variável x tem distribuição normal, e existe uma constante a tal que $\log(x-a)$ tenha distribuição normal. A função de densidade de probabilidade é dada pela Eq.(3.34).

$$FDP: P(x) = \frac{1}{x \cdot \sigma_n \sqrt{2\pi}} e^{-0,5 \left(\frac{\ln(x) - \mu_n}{\sigma_n} \right)^2} \quad (3.34)$$

Com $x \geq 0$, μ_n a média dos valores das variáveis observadas e σ_n o desvio padrão dos valores das variáveis observadas, os quais podem ser calculados através da Eq.(3.35) e Eq.(3.36).

$$\mu_n = E(X_n) = E(\ln(X)) \quad (3.35)$$

$$\sigma_n^2 = VAR(X_n) = VAR(\ln(X_n)) \quad (3.36)$$

Frequentemente é desejável expressar os parâmetros μ_n e σ_n da distribuição Log-Normal, como função do valor esperado e da variância de x , Eq.(3.37) e Eq.(3.38).

$$\mu_n = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\mu^2}{\eta^2} \right) = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\mu^4}{\mu^2 + \sigma^2} \right) = \ln(\sigma/\eta) - 0,5 \cdot \ln(\eta^2 + 1) \quad (3.37)$$

$$\sigma_n^2 = \ln(\eta^2 + 1) = \ln \left(\frac{\mu^2 + \sigma^2}{\mu^2} \right) \quad (3.38)$$

Sendo η é o coeficiente de variação dado pela Eq.(3.39).

$$\eta = \frac{\sigma}{\mu} = [e^{\sigma_n^2} - 1]^{1/2} \quad (3.39)$$

Em que μ é a média dos logaritmos e σ é o desvio padrão dos logaritmos das variáveis observadas.

A seleção das distribuições de probabilidade que melhor representaram os dados de cada série histórica analisada foi realizada pelo teste Qui-quadrado. No teste Qui-quadrado a comparação é feita entre a soma do quadrado dos desvios entre a frequências observadas e teóricas (X^2 calculado) e o valor obtido em tabela (X^2 tabelado), em função de graus de liberdade (n° de classe – n° de parâmetros -1), dado pela Eq.(3.40).

$$X^2 = \sum [(P_o - P_e)^2 / P_e] \quad (3.40)$$

Sendo:

P_o - precipitação observada (mm);

P_e - precipitação estimada (mm) pela função de probabilidade.

- *Teste de Hipótese*

1. Se $H=0$, e $P_o=P_e$, então não associação entre os grupos;
2. Se $H \neq 0$, e $P_o \neq P_e$, então há associação entre os grupos.

- *Tomada de Decisão*

A tomada de decisão é dada comparando-se os valores de X^2 calculado e os valores de X^2 tabelado, assim se tem as seguintes hipóteses:

1. Se X^2 calculado $\geq X^2$ tabelado, então se rejeita a $H=0$, $P_o=P_e$;
2. Se X^2 calculado $< X^2$ tabelado, então se aceita a hipótese $H=0$.

Rejeitando-se uma hipótese quando a máxima probabilidade de erro ao rejeitar aquela hipótese for baixa, ou quando a probabilidade dos desvios terem ocorrido pelo simples acaso for baixa.

3.5.1.1. Calibração do Modelo Probabilístico

Na etapa de calibração de funções de probabilidade foram feitas simulações, procurando estimar a probabilidade de ocorrência de alturas de precipitações médias anuais e mensais em função das regiões homogêneas encontradas através da análise de agrupamento. Nessa etapa, foram também consideradas as séries históricas contendo todos os anos, anos com ocorrência do fenômeno El Niño e anos com ocorrências do fenômeno La Niña (1960-1990). Para isso, foram elaborados no *software* Fortran PowerStation 4.0[®], programas para as funções de distribuição de probabilidade, para determinação do melhor ajuste em relação às precipitações observadas (APÊNDICE II).

3.5.1.2. Validação do Modelo Probabilístico

Após a etapa de calibração das funções de probabilidade aplicadas em séries históricas contendo todos os anos, anos de ocorrência do fenômeno El Niño e anos de

ocorrências do fenômeno La Niña, as funções que apresentaram melhores resultados de ajuste, ou seja, menores erros percentuais médios, foram utilizadas na etapa de validação. Essa etapa baseou-se em comparar as estimativas das funções de probabilidades calibradas com dados medidos das estações pluviométricas da ANA para as regiões homogêneas determinadas pela análise de agrupamento.

3.5.2. Regressão Múltipla

Segundo HAIR *et al.*, (2005), a análise de regressão múltipla é uma técnica estatística utilizada para analisar a relação entre uma única variável dependente (Y) e no mínimo duas variáveis independentes (X1, X2, X3, ... , Xn). Seu emprego tem como objetivo a utilização de variáveis independentes cujos valores são conhecidos para prever os valores da variável dependente, os quais se deseja encontrar. Sendo seu modelo matemático descrito pela Eq.(3.41).

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) + \varepsilon \quad (3.41)$$

Sendo:

ε - termo que representa o erro de aproximação.

O número de variáveis independentes varia de uma aplicação para outra. Quando se tem apenas uma variável independente, o modelo é denominado de Regressão Simples, quando se tem mais de uma variável independente, denomina-se Modelo de Regressão Múltipla. Em algumas situações pode ser necessária mais do que uma variável independente (X1, X2, ..., Xn) para se encontrar o valor da variável dependente, sendo que o modelo matemático, nesse caso, é dado pela Eq.(3.42), através do método dos mínimos quadrados.

$$Y_i = b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_k X_{ki} + \varepsilon_i \quad (3.42)$$

Podendo ser descrito de acordo com a Eq.(3.43), para n observações.

$$\begin{aligned} Y_1 &= b_0 + b_1 X_{11} + b_2 X_{21} + \dots + b_k X_{k1} + \varepsilon_1 \\ Y_2 &= b_0 + b_1 X_{12} + b_2 X_{22} + \dots + b_k X_{k2} + \varepsilon_2 \\ &\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ Y_n &= b_0 + b_1 X_{1n} + b_2 X_{2n} + \dots + b_k X_{kn} + \varepsilon_n \end{aligned} \quad (3.43)$$

Formando assim, um sistema linear, que pode ser escrito na forma matricial (Eq.(3.44)).

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \dots \\ Y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & X_{21} & X_{k1} \\ 1 & X_2 & X_{22} & X_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_n & X_{2n} & X_{kn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \dots \\ \varepsilon_k \end{bmatrix} \quad (3.44)$$

A Eq. (3.45) demonstra sua forma mais compacta.

$$Y = bX + \varepsilon \quad (3.45)$$

As equações normais de regressão são representadas pelo sistema, mostrado na Eq.(3.46).

$$[X]^T \cdot [Y] = [X]^T \cdot [X \cdot \hat{b}] \quad (3.46)$$

As equações normais, Eq.(3.47), podem ser obtidas, mediante multiplicação de ambos os membros da Eq.(3.42) por 1, X₂,...,X_i, sucessivamente, e a soma membro a membro das expressões resultantes.

$$\begin{cases} \sum Y = b_1 \cdot N + b_2 \cdot \sum X_2 + \dots + b_t \cdot \sum X_t \\ \sum Y \cdot X_2 = b_1 \cdot \sum X_2 + b_2 \cdot \sum X_2^2 + \dots + b_t \cdot \sum X_t \cdot X_2 \\ \sum Y \cdot X_t = b_1 \cdot \sum X_t + b_2 \cdot \sum X_2 \cdot X_t + \dots + b_t \cdot \sum X_t^t \end{cases} \quad (3.47)$$

Sendo:

Y - variável dependente;

X_i - variáveis independentes;

N - tamanho da amostra;

b_i - coeficientes de regressão.

As soluções da Eq.(3.46) são encontradas pela multiplicação dos termos da equação por ([X]^T · [X])⁻¹.

Desse modo, a solução do vetor corresponde ao estimador de mínimos quadrados de $[\hat{b}]$, que é dado pela Eq.(3.48).

$$[\hat{b}] = ([X]^T [X])^{-1} \cdot [X]^T \cdot [Y] \quad (3.48)$$

O somatório total dos quadrados pode ser representado pela Eq.(3.49).

$$[Y^T][Y] = n \cdot \bar{Y}^2 + \left([\hat{b}]^T [X^T][Y] - n \cdot \bar{Y}^2 \right) + \left([Y^T][Y] + [\hat{b}]^T [X^T][Y] \right) \quad (3.49)$$

Essas parcelas dos somatórios dos quadrados são calculadas na forma de uma tabela de análise de variância (ANOVA - Tabela 3.1). As tabelas de análise de variância ("Analysis of Variance") são comuns em diversos tipos de estudos estatísticos, sendo frequentemente incorporadas aos programas dedicados à regressão. A organização dos valores tem normalmente o aspecto indicado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – ANOVA de regressão múltipla

| Fonte | Somatório dos quadrados | Quadrados médios | Graus de liberdade |
|-----------|---|-----------------------------------|--------------------|
| Regressão | $SQReg = [\hat{b}]^T [X^T][Y] - n\bar{Y}^2$ | $QMReg = \frac{SQReg}{P}$ | P |
| Resíduos | $SQRes = [Y^T][Y] + [\hat{b}]^T [X^T][Y]$ | $QMRes = \frac{SQRes}{n - P - 1}$ | n-P-1 |
| Total | $SQT = [Y^T][Y] - n \cdot \bar{Y}^2$ | | n-1 |

Fonte: HAIR, *et al.* (2005).

Sendo:

n - tamanho da amostra;

P - número de variáveis independentes;

SQReg - somatória dos quadrados da regressão;

QMReg - quadrado médio da regressão;

QMRes - quadrado médio dos resíduos;

SQT - somatório dos quadrados total.

Nesse trabalho, para se determinar a variável dependente Y, foi aplicada a regressão múltipla entre os as variáveis independentes (Latitude -LA, Longitude - LO, Altura -H) para a determinação dos parâmetros b0, b1, b2 e b3 (Eqs. 3.50 a 3.52), que são as constantes da regressão, determinadas via método dos mínimos quadrados; e as variáveis independentes, por meio dos seguintes modelos estatísticos, a saber: modelo Linear - Eq.(3.50), de Potência - Eq.(3.51) e segundo modelo de Potência - Eq.(3.52).

$$V = b_0 + b_1.V_1 + b_2.V_2 + b_3.V_3 \quad (3.50)$$

$$V = b_0.V_1^{b_1}.V_2^{b_2}.V_3^{b_3} \quad (3.51)$$

$$V=b_0.V_3^{b_1}.(V_1/V_2)^{b_2} \quad (3.52)$$

Assim, foram estimados valores de altura de precipitação médias anuais e mensais, baseados nas características geográficas das regiões homogêneas determinadas no presente trabalho, utilizando-se as Eqs. (3.50) a (3.52), as quais se transformaram nas Eqs. (3.53) a (3.55) ou propriamente dito nos modelos de regionalização.

$$P_s=a + b.LO + c.LA + d.H \quad (3.53)$$

$$P_s =a.LO^b.LA^c.H^d \quad (3.54)$$

$$P_s =a.H^b.(LO/LA)^c \quad (3.55)$$

Sendo:

P_s - precipitação simulada;

LO - longitude;

LA - latitude;

H - altitude;

a, b, c, d - coeficientes de regressão.

Optou-se pela utilização dos modelos de Potência, segundo modelo de Potência e Linear, por estes modelos serem os mais utilizados em hidrologia e em estudos para simulação de precipitação. Nesse caso, observou-se, que, apenas com as variáveis Latitude, Longitude e Altitude; foram obtidos bons resultados com erros satisfatórios, tanto na fase de calibração, quanto na fase de validação em relação aos valores estimados e medidos.

O critério de desempenho utilizado para análise de regressão, foi o erro relativo percentual, ϵ , entre a precipitação observada e a estimada, dado pela Eq. (3.56).

$$\epsilon = \left(\frac{P_i - \hat{P}_i}{P_i} \right) \cdot 100 \quad (3.56)$$

Sendo:

P_i - precipitação observada (mm);

\hat{P}_i - precipitação estimada (mm) pela regressão múltipla.

3.5.2.1. Calibração dos Modelos de Regressão Múltipla

Foram selecionados os pontos de monitoramento de precipitação de acordo com as regiões homogêneas encontrados com a utilização da metodologia de agrupamento. Assim, foi elaborada uma tabela com os pontos de cada região, contendo as seguintes informações: descrição do ponto (ID), longitude (LO), latitude (LA), altitude (H) e valores de precipitação (média anual e mensal). Nesse caso, as precipitações são consideradas variáveis dependentes, e as variáveis: longitude, latitude e altitude, consideradas como variáveis independentes. Na calibração dos modelos, utilizaram-se as precipitações: totais médias anuais e mensais.

Foram testados 3 (três) modelos matemáticos, ou seja, linear, potência, e segundo modelo de Potência. Esses modelos são geralmente utilizados para estimativas de chuvas e vazões via regressão múltipla (HONG WEI *et al.* 2004; PESSOA *et al.*, 2011), através das Eqs. (3.53) a (3.55).

O Programa Statistica 6.0[®], desenvolvido pela “StatSoft”, foi utilizado para ajustar aos dados observados, funções correspondentes aos três modelos. Os parâmetros a , b , c e d foram calculados por intermédio do método dos mínimos quadrados, mas determinados, automaticamente pelo programa Statistica. Tais parâmetros representam as informações geográficas das estações. Essas informações, através dos modelos, podem ser transferidas para locais sem dados de precipitação, permitindo a simulação dos valores de precipitação. Assim, a regionalização é efetuada por meio da regressão de a , b , c e d em relação às características geográficas e de altitude locais das estações pluviométricas utilizadas na calibração.

Tal análise foi baseada na divisão das regiões homogêneas (obtidas através do agrupamento), e aplicado às séries históricas contendo todos os anos, séries históricas com ocorrência do fenômeno El Niño e séries históricas com ocorrência do fenômeno La Niña. O modelo de melhor desempenho foi utilizado na fase validação desta modelagem.

3.5.2.2. Validação dos Modelos de Regressão Múltipla

A etapa de validação foi dividida em: seleção das estações alvo, obtenção dos dados de entrada, aplicação e avaliação do desempenho dos modelos de regressão.

Para as séries contendo todos os anos, séries com ocorrência de El Niño, e séries com ocorrência de La Niña, foi feita a seleção de estações alvo provenientes do banco de dados do site da ANA (<http://hidroweb.ana.gov.br/>). Nesse caso, foram necessárias as seguintes informações para possibilitar a simulação dos modelos: nome da estação, longitude, latitude e altitude, sendo que em estações onde não foi possível a obtenção da altitude no site da ANA, as mesmas foram obtidas utilizando o mapa de altitude do estado do Pará (Figura 3.1).

Assim, foram selecionadas estações pluviométricas para representar cada região homogênea, para as séries de todos os anos (1960-1990) e para anos de ocorrência de fenômenos climáticos (El Niño e La Niña), para precipitações médias anuais e mensais. O modelo de melhor desempenho (linear, potência ou segundo modelo de potência) encontrado na calibração foi utilizado na validação.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. INTRODUÇÃO

Com objetivo de definir as regiões homogêneas de precipitações para todo o Estado do Pará, foi utilizado o método de Ward com a distância euclidiana como medida de similaridade. Para essas regiões, foram utilizados modelos probabilísticos para a determinação de frequências de ocorrências de precipitações anuais e mensais médias; assim como modelos que utilizam regressão múltipla para estimar valores de precipitação anuais e mensais médias. Para isso foi utilizado o banco de dados com os 413 pontos de monitoramento de dados pluviométricos em todo o Estado do Pará, com suas respectivas localizações geográficas e altitudes.

A seguir são apresentados os resultados das aplicações dos métodos matemático-estatísticos empregados neste trabalho.

4.2. REGIÕES HOMOGÊNEAS

4.2.1. Análise de Agrupamento

Foi aplicada a análise de agrupamento para valores de precipitações médias anuais e médias mensais, referentes aos 413 pontos de monitoramento, considerando uma série histórica de 31 anos. Dentre estes anos foram selecionados os anos de ocorrência dos fenômenos El Niño e anos de ocorrência do fenômeno La Niña, sendo estas séries para:

- Todos os anos: série histórica que abrange os anos de 1960 a 1990.
- El Niño: série histórica utilizando dados dos anos 1963, 1965, 1966, 1968, 1969, 1970, 1972, 1973, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1982, 1983, 1986, 1987, 1988, 1990.
- La Niña: série histórica utilizando dados dos anos 1964, 1965, 1970, 1971, 1973, 1974, 1975, 1976, 1983, 1984, 1985, 1988, 1989.

4.2.2. Análise de Sensibilidade

Para cada série histórica, foi realizada uma análise de sensibilidade com os resultados obtidos após o agrupamento, considerando diferentes distâncias de ligação.

A Tabela 4.1 apresenta os resultados das análises, nos quais, para todos os casos, os números de regiões consideradas foram resultantes da análise 02, exceto para precipitações médias mensais em anos de El Niño, com 4 regiões homogêneas.

Esta análise foi realizada determinando-se cortes transversais nos dendogramas. Estes cortes basearam-se no critério matemático de inércia (distância entre as regiões). O critério de corte adotado foi aquele em que o número n de regiões formadas resulta no maior salto de inércia com relação ao precedente $n+1$.

A análise de agrupamento foi realizada, inserindo-se as informações padronizadas de cada ponto (Identificação do ponto - ID, Latitude - LA, Longitude - LO, Altura - H, e valor de precipitação) no software Statistica 6.0[®], o qual gerou os dendogramas para os cortes e a análise de sensibilidade supracitada.

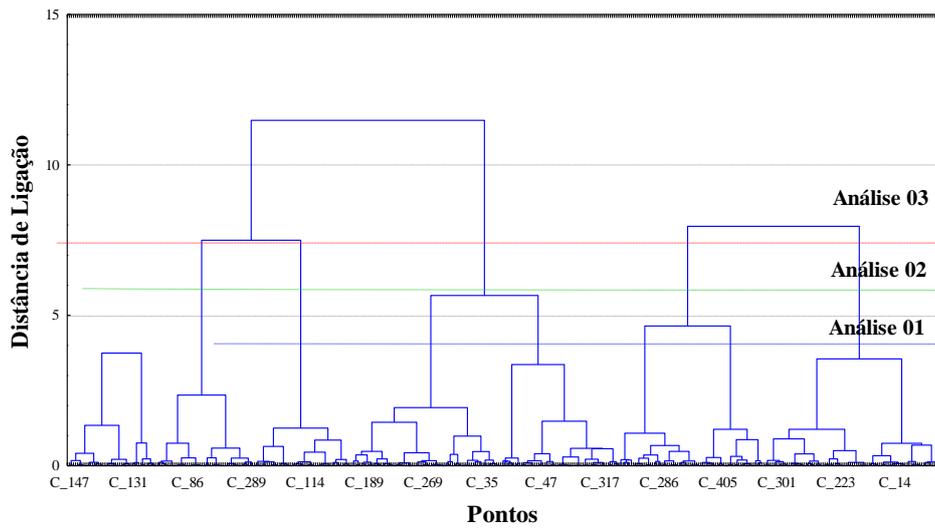
Tabela 4.1 – Cortes do dendograma para o agrupamento

| Análise | Agrupamento | Todos os anos (TA) | | Anos de El Niño (EN) | | Anos de La Niña (LN) | |
|---------|---------------|--------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | | P _{MA} | P _M | P _{MA} | P _M | P _{MA} | P _M |
| 01 | Distância | 4 | 10 | 4 | 10 | 2 | 10 |
| | Nº de regiões | 8 | 9 | 9 | 8 | 9 | 8 |
| 02 | Distância | 6 | 20 | 5 | 20 | 4 | 20 |
| | Nº de regiões | 6 | 6 | 6 | 5 | 6 | 5 |
| 03 | Distância | 8 | 30 | 10 | 50 | 10 | 50 |
| | Nº de regiões | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 |

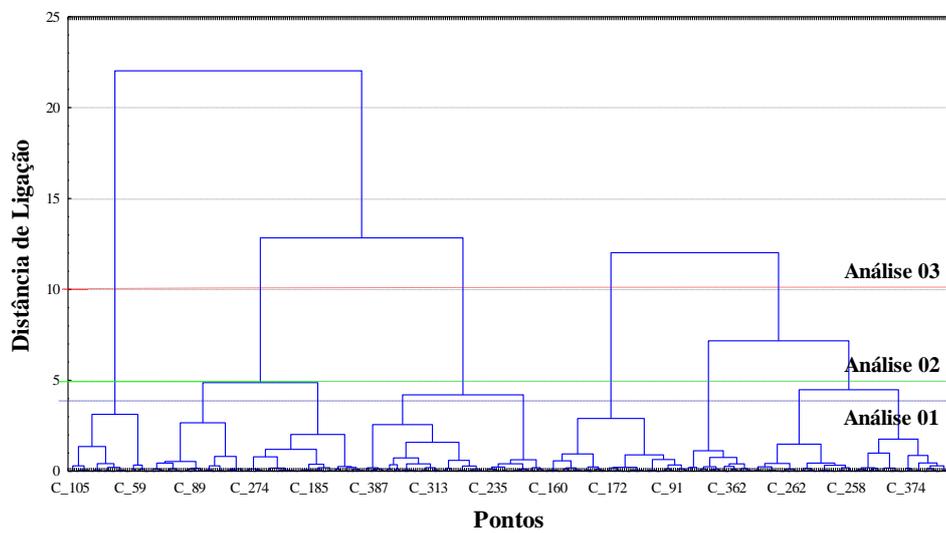
P_{MA}: Precipitação Média Anual; P_M: Precipitação Média Mensal.

Basicamente, houve a formação de 6 regiões homogêneas, exceto para médias mensais para séries com ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, resultando em 4 e 5 regiões homogêneas, respectivamente.

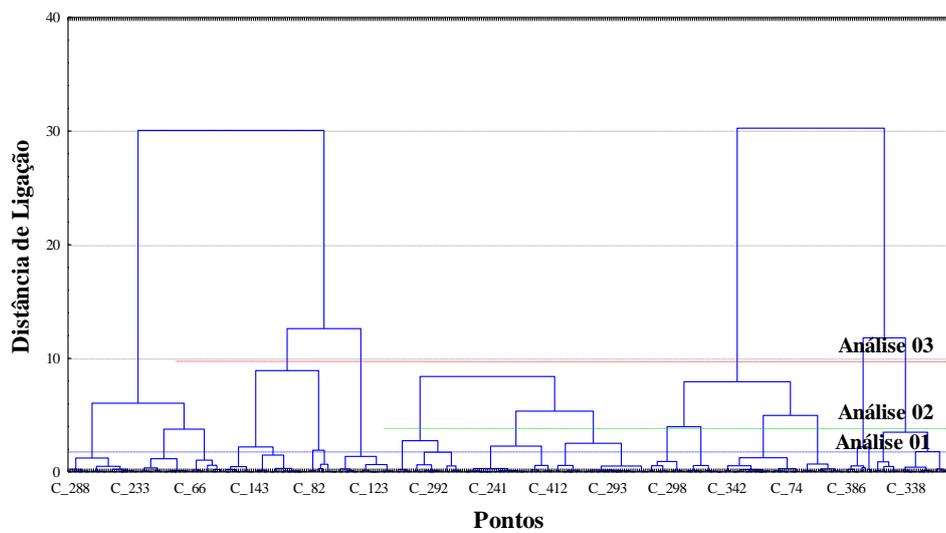
A Figura 4.1 apresenta a análise feita para os dendogramas obtidos com o agrupamento dos valores das precipitações médias anuais, tanto para a série histórica, contendo todos os anos analisados (Figura 4.1 (a)), quanto para séries com ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña (Figura 4.1 (b) e (c), respectivamente). Utilizando-se a linha de corte da análise 02 (linha verde), obteve-se para todas as séries a formação de seis regiões homogêneas de precipitação média anual (Tabela 4.1).



(a) Todos os anos



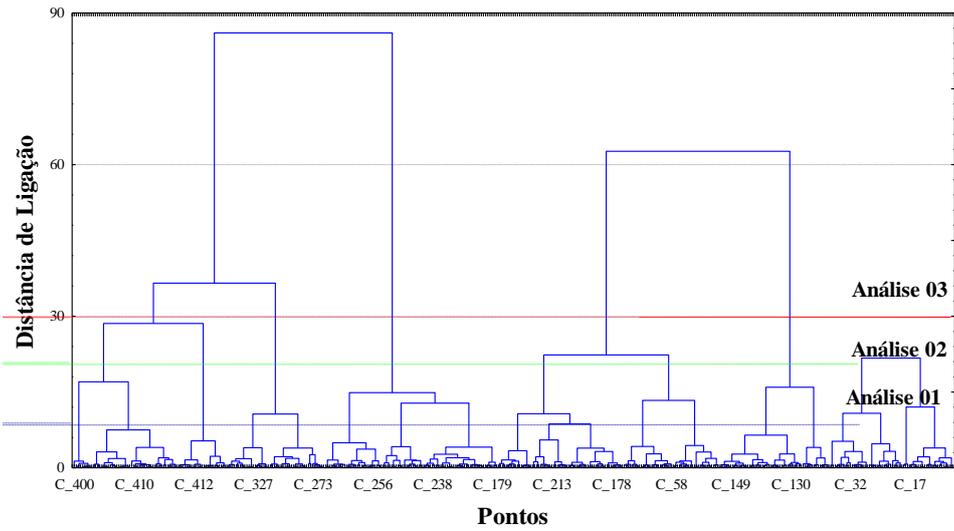
(b) Anos de El Niño



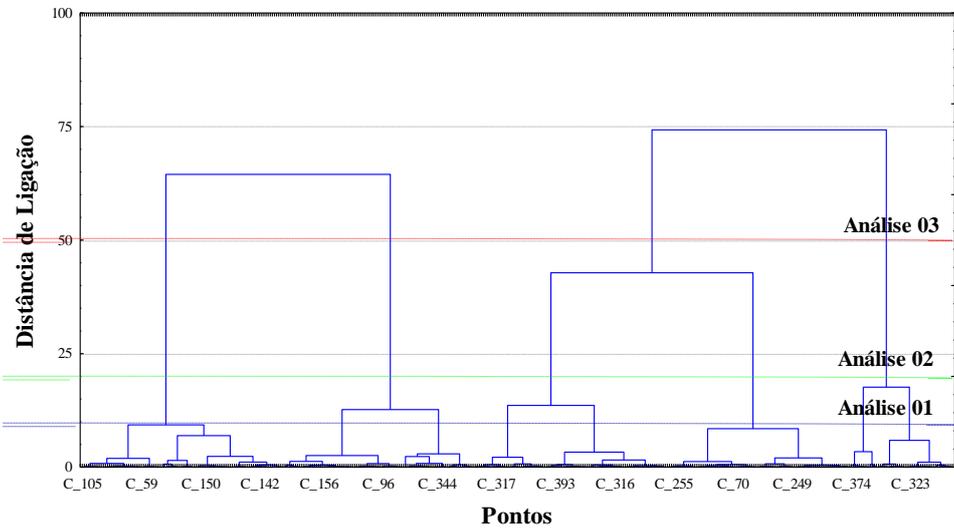
(c) Anos de La Niña

Figura 4.1 – Dendogramas das Precipitações Médias Anuais

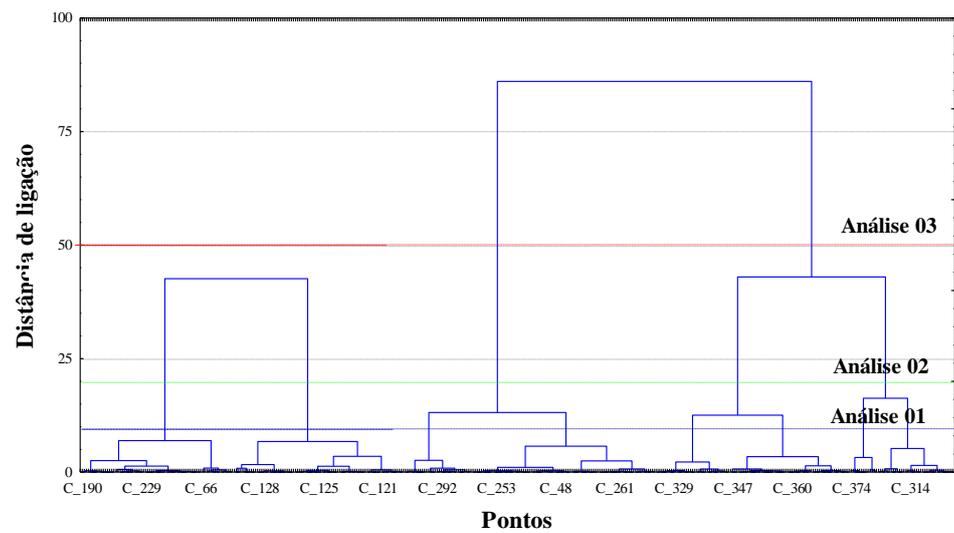
Os dendogramas obtidos com o agrupamento dos valores das precipitações médias mensais estão mostrados na Figura 4.2, na qual se observa as análises para todas as séries históricas (Figura 4.2 (a), (b) e (c)). Utilizando-se também a linha da corte da análise 02, obteve-se para as séries históricas, contendo todos os anos, a formação de seis regiões homogêneas, já para séries com ocorrências de fenômenos climatológicos, houve a formações de apenas 4 regiões homogêneas de precipitação média mensal, para anos de El Niño, e 5 regiões, para anos de La Niña (Tabela 4.1), que utilizaram as análises 03 e 02, respectivamente.



(a) Todos os anos



(b) Anos El Niño

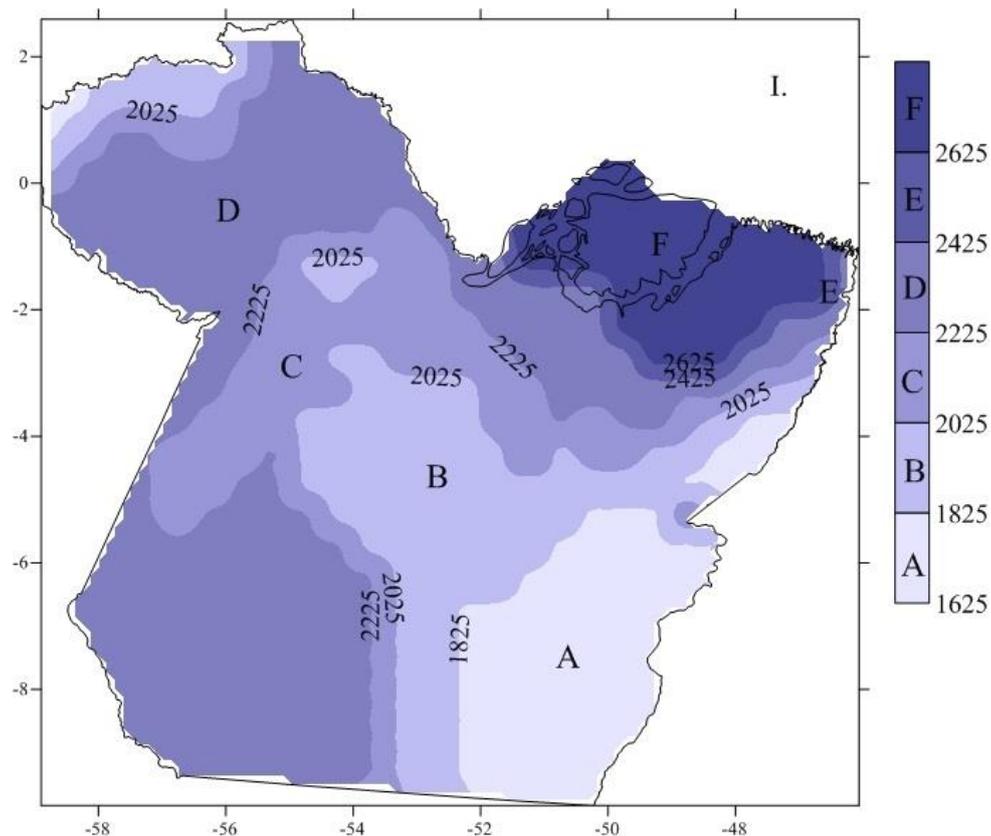


(c) Anos de La Niña

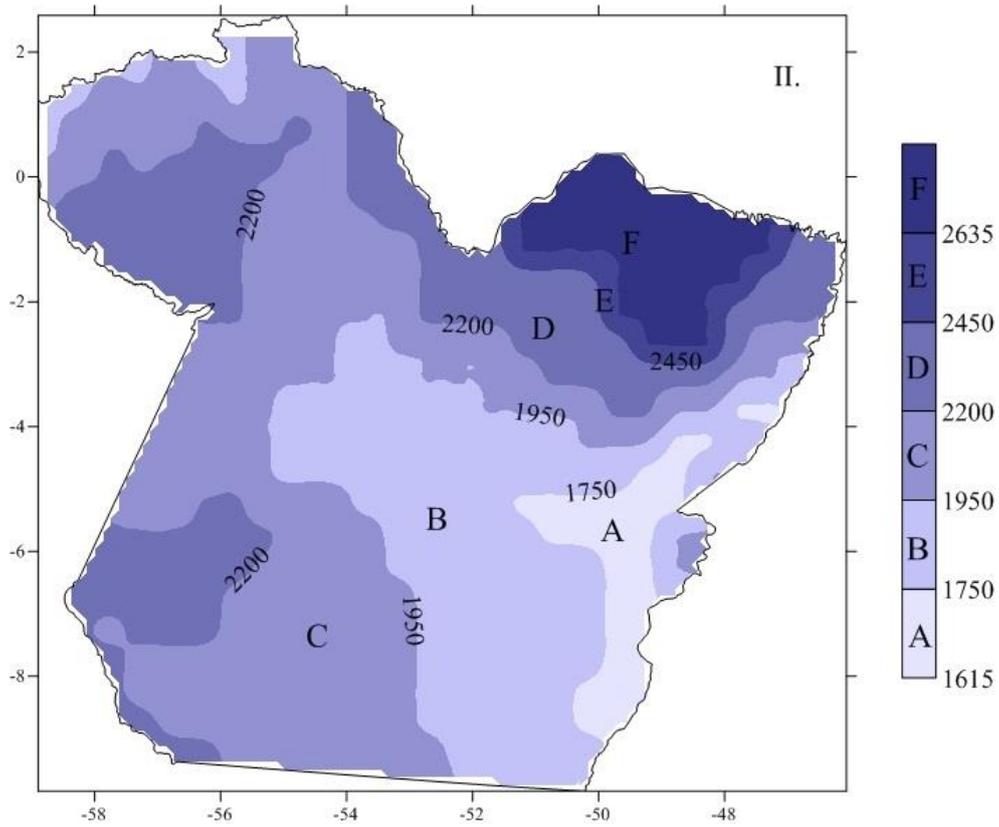
Figura 4.2 - Dendogramas das Precipitações Médias Mensais

4.2.3. Agrupamento em Regiões Homogêneas

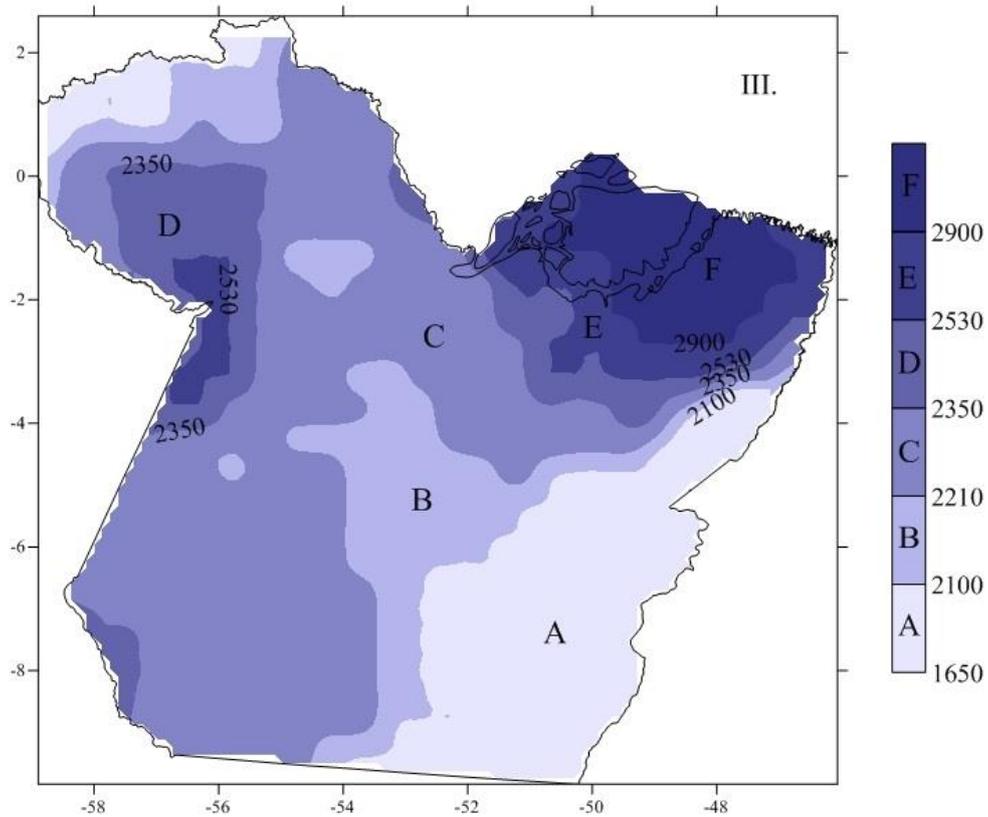
Após a análise de sensibilidade e a determinação do número de regiões homogêneas formadas, foi feita a seleção dos pontos para cada região. As informações de cada região (Identificação dos pontos, latitude, longitude, altura e valor de precipitação) foram reorganizadas em uma tabela, a qual foi utilizada na elaboração dos mapas das regiões através do software Surf 9[®]. A Figura 4.3 (a), (b) e (c), são referentes aos resultados dos agrupamentos para precipitações médias anuais.



(a) Precipitação média anual (mm): Série completa



(b) Precipitação média anual (mm): Anos de El Niño



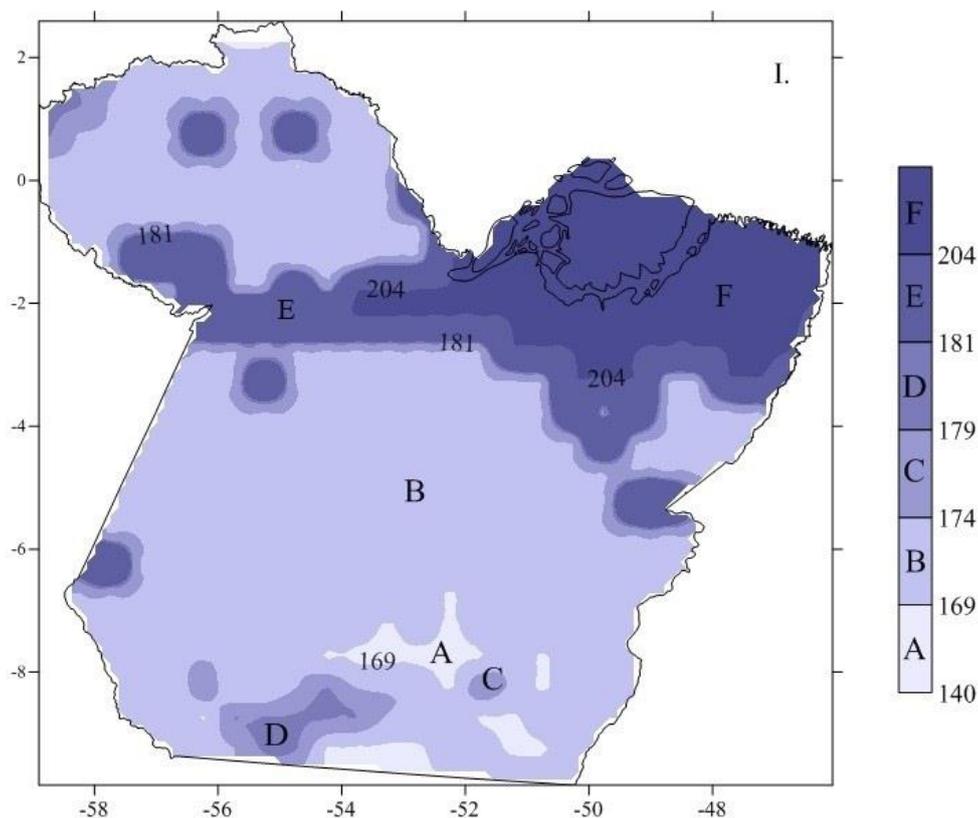
(c) Precipitação média anual (mm): Anos de La Niña

Figura 4.3 – Distribuição de Regiões Homogêneas de Precipitação Média Anual

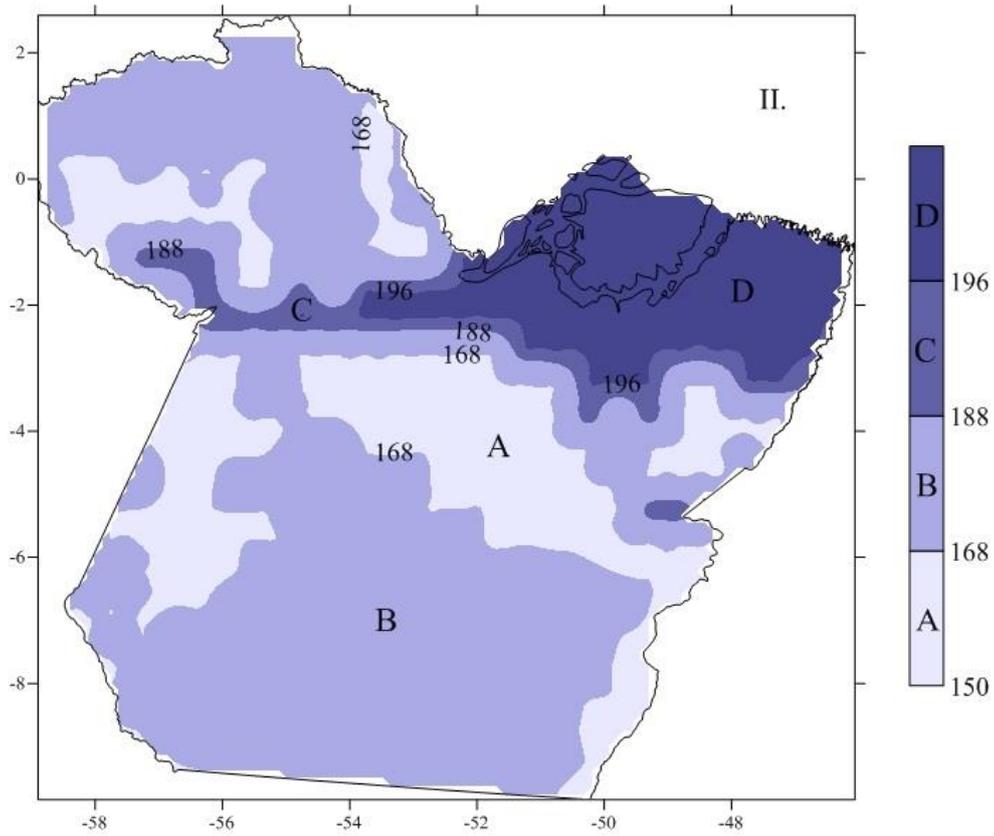
Nesse caso, notou-se um maior índice pluviométrico no Nordeste do Estado, para todas as séries históricas estudadas (para todos os anos, anos de ocorrência do fenômeno El Niño e anos de ocorrência do fenômeno La Niña), equivalendo a região F, com médias variando de 2635 mm/ano para o fenômeno El Niño (Figura 4.3 b) a 2906 mm/ano para anos com ocorrência de La Niña (Figura 4.3 c).

O sudeste do Estado apresentou menores valores de precipitação (região A) com médias variando de 1615-1750 mm/ano para séries de El Niño e 1650 -2100 mm/ano para ocorrência de La Niña. Esses menores valores de precipitação são explicados pelas massas de ar mais seco, que dominam a região central do Brasil, afetando também o sudeste do Pará.

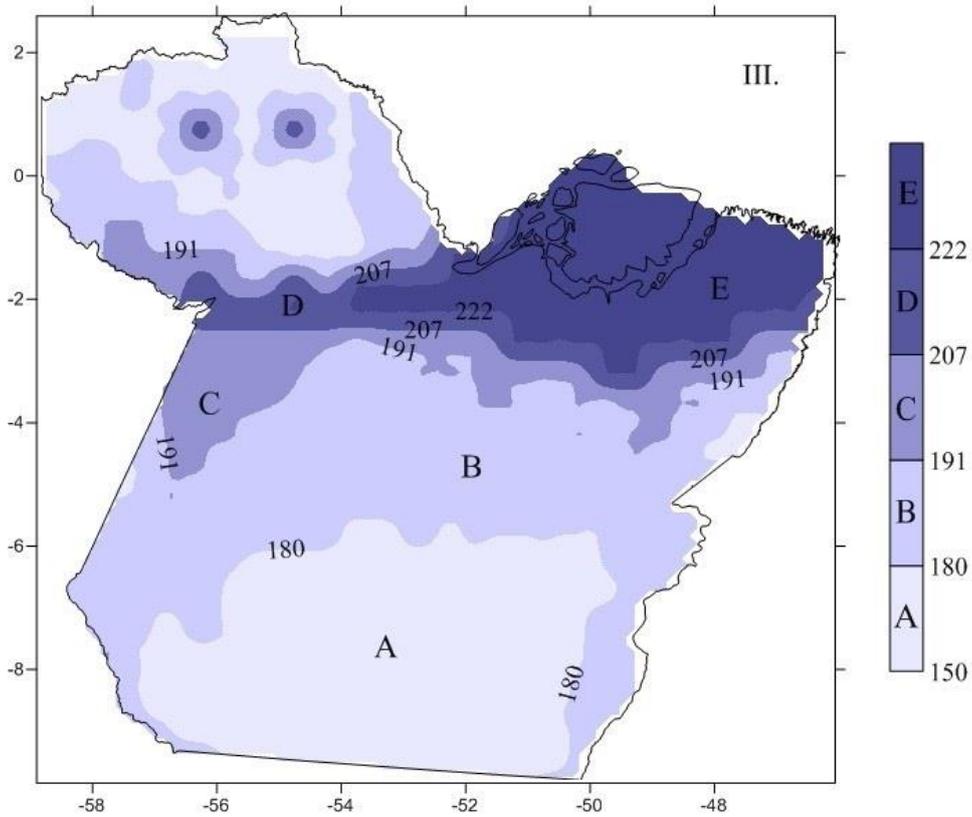
Assim como para as médias anuais, para as médias mensais (Figura 4.4 (a), (b), e (c)), o nordeste do Estado apresentou maior índice pluviométrico, regiões F, D e E, respectivamente, variando de 196 mm/mês (El Niño) a 222 mm/mês (La Niña).



(a) Precipitação média mensal (mm): Série completa



(b) Precipitação média mensal (mm): Anos de El Niño



(c) Precipitação média mensal (mm): Anos de La Niña

Figura 4.4 - Distribuição de Regiões Homogêneas de Precipitação Média Mensal

Para médias mensais, os menores índices pluviométricos são observados ao sul do estado, em séries históricas contendo todos os anos e com ocorrência do fenômeno La Niña, Figura 4.4 a e c, respectivamente. Porém, em anos com ocorrência de El Niño (Figura 4.4 b), os menores índices pluviométricos apresentam-se mais concentrados na parte central do estado, variando de 155 a 168 mm (Região A).

E para todas as séries históricas, as regiões com maiores índices pluviométricos encontram-se no nordeste do estado (Figura 4.4).

Enfim, notou-se que os valores encontrados, para as regiões formadas em séries que contém todos os anos estudados, são valores intermediários entre os encontrados nas séries dos anos de El Niño e La Niña, como seria esperado.

Utilizando-se série histórica completa (1960-1990), foi realizada uma análise da variação mensal das chuvas no estado do Pará, pôde-se observar que os meses de março e abril são os meses com maiores índices pluviométricos e os meses de agosto e setembro são os meses que apresentam menores índices (Figura 4.5).

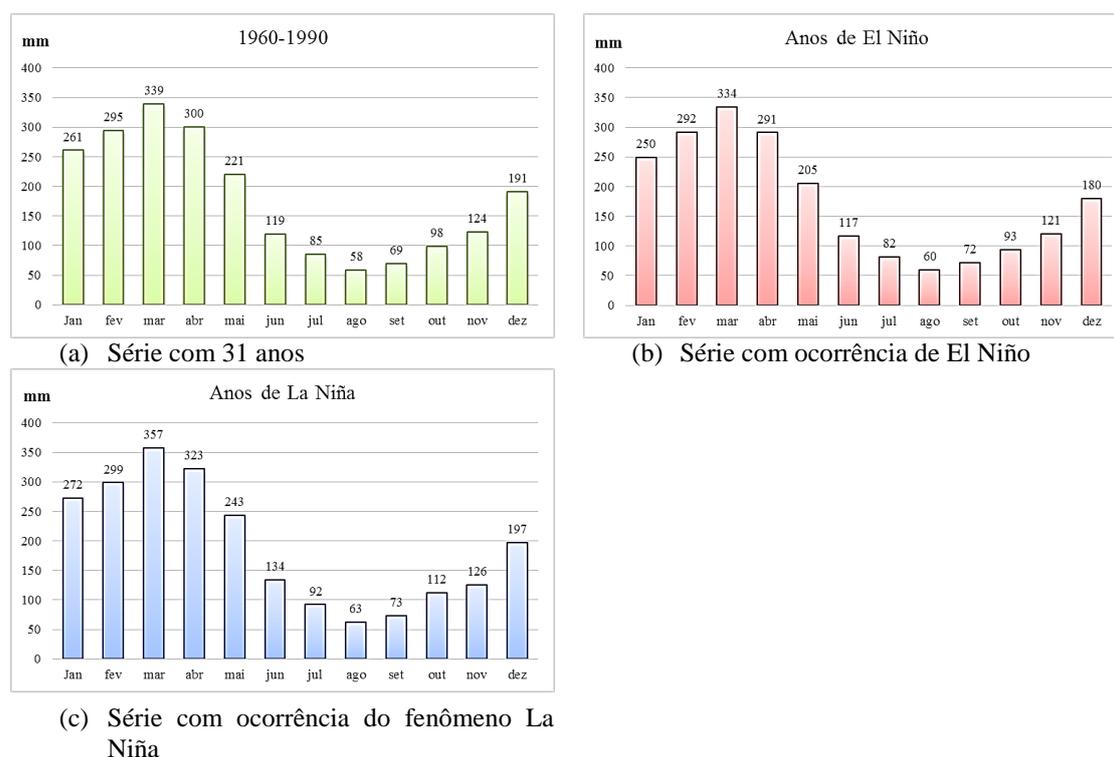
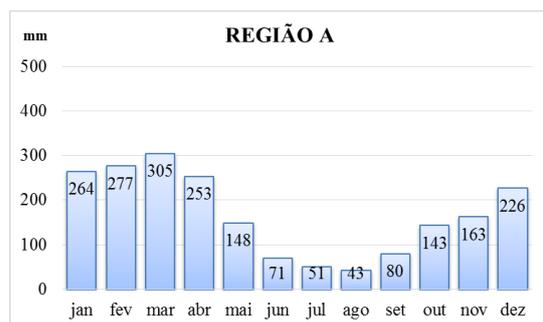


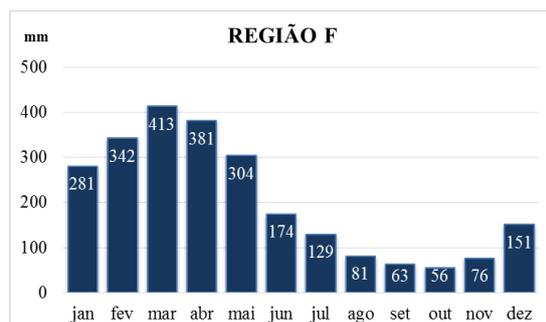
Figura 4.5 – Variação Mensal Média da Chuva no Estado do Pará

O mesmo foi feito para as regiões homogêneas que apresentaram menores índices pluviométricos (Região A), geralmente localizado no sudeste do Estado e para as regiões homogêneas com maiores índices pluviométricos (Região F), localizados em sua maioria na região nordeste do estado do Pará.

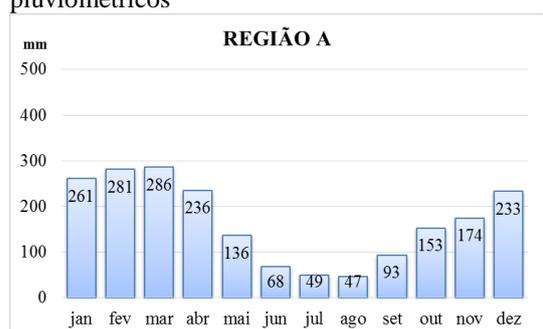
A Figura 4.6 apresenta a variação mensal média de precipitação, para as regiões homogêneas A e F, regiões com menores e maiores índices pluviométricos, respectivamente. Observou-se que o mês de março apresentou maiores índices pluviométricos, tanto para regiões mais úmidas (Região F) quanto para regiões menos úmidas (Região A). E mesmo nos meses mais secos (agosto, setembro e outubro), para anos de ocorrência do fenômeno La Niña, há um índice pluviométrico considerável, mesmo na região menos úmida do Estado (Região A).



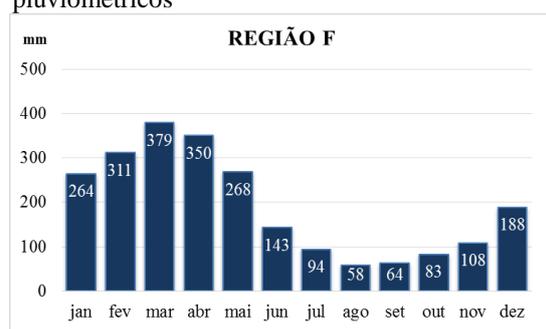
(a) Série 1960-1990: Região com menores índices pluviométricos



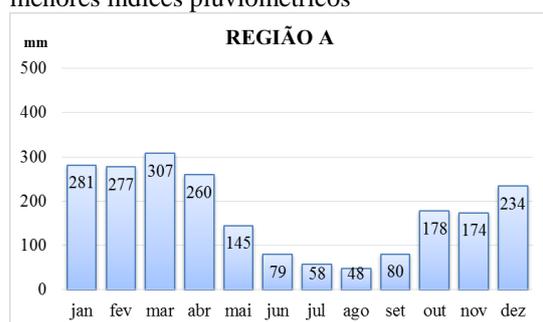
(b) Série 1960-1990: Região com maiores índices pluviométricos



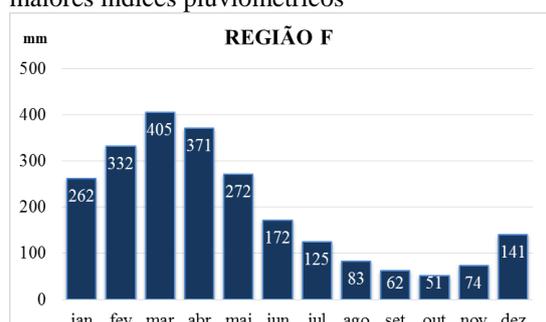
(c) Série com ocorrência de El Niño: Região com menores índices pluviométricos



(d) Série com ocorrência de El Niño: Região com maiores índices pluviométricos



(e) Série com ocorrência de La Niña: Região com menores índices pluviométricos



(f) Série com ocorrência de La Niña: Região com maiores índices pluviométricos

Figura 4.6- Variação da Precipitação Média Mensal

4.3. MODELOS DE ESTIMATIVA DE CHUVA

4.3.1. Funções de Probabilidade

Para determinação da melhor função de distribuição de probabilidades para as regiões homogêneas determinadas neste trabalho, foram utilizados para calibração, os dados dos 413 pontos de monitoramento distribuídos no território paraense. A calibração foi realizada para série histórica completa contendo todos os anos e para séries históricas de anos de El Niño e La Niña.

Posteriormente, para validação da melhor função, utilizaram-se dados de 12 estações pluviométricas (Tabela 4.2) monitoradas pela ANA (Agência Nacional de Águas), com dados disponibilizados em <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Os critérios para seleção dessas estações foram localização geográfica em relação aos regiões homogêneas e comprimento das séries históricas. No último caso, excetuando-se a estação pluviométrica Faz. Cumarú do Norte, a qual só possui seis anos de dados. Isso demonstra a escassez de monitoramento de dados hidrológicos na Amazônia, estimulando, trabalhos como este.

Tabela 4.2 – Estações pluviométricas utilizadas na validação

| Cod. ANA | Estação | Coordenadas Geográficas | | Altitude (m) | Período | Comp. da série (anos) | | |
|----------|-----------------------|-------------------------|----------|--------------|-----------|-----------------------|----|----|
| | | Lat (°) | Long (°) | | | TA | EN | LN |
| 8154000 | Apalai | 54,66 | 1,220 | 376 | 1990-2010 | 21 | 16 | 8 |
| 254005 | Barragem Conj. 4 | 54,30 | 2,815 | 47 | 1978-2002 | 25 | 17 | 11 |
| 255001 | Cachoeira do Aruá | 55,72 | 2,651 | 47 | 1998-2009 | 12 | 8 | 6 |
| 146010 | Emborai | 46,58 | 1,292 | 47 | 1985-2007 | 23 | 17 | 10 |
| 750000 | Faz. Cumarú do Norte | 50,83 | 7,826 | 329 | 1996-2001 | 6 | 2 | 5 |
| 649001 | Faz. Santa Elisa | 49,55 | 6,795 | 210 | 1985-2007 | 23 | 17 | 8 |
| 247004 | Faz. São Raimundo | 47,53 | 2,426 | 90 | 1999-2010 | 12 | 8 | 5 |
| 454000 | Monte Alegre do Xingu | 52,72 | 4,674 | 188 | 1991-2002 | 12 | 8 | 6 |
| 248006 | PA-256 | 48,25 | 2,421 | 47 | 1991-2012 | 22 | 15 | 8 |
| 148003 | Santa Isabel | 48,17 | 1,297 | 15 | 1973-2010 | 38 | 27 | 17 |
| 651003 | São Felix do Xingu | 50,03 | 5,370 | 206 | 1990-2012 | 23 | 18 | 8 |
| 156000 | Vista Alegre – conj.2 | 56,05 | 1,130 | 15 | 1994-2004 | 11 | 7 | 6 |

Os valores de altitude das estações alvo, que não apresentaram esta informação no site da ANA, foram adquiridos através da plotagem das mesmas no mapa de altitude do Estado do Pará (Figura 3.1). Apenas as estações São Felix do Xingu

(651003) e Vista Alegre (156000) apresentaram valores de altitude no banco de dados disponibilizado pela ANA.

4.3.1.1. Calibração

Para a calibração das funções de probabilidade, foi utilizado o teste Qui-Quadrado (X^2) para avaliar o ajuste ou aderência das frequências de excedência com as funções de distribuição de Probabilidade Gumbel, Normal e Exponencial, calculado entre as precipitações observadas e estimadas pelos modelos de probabilidade. Nesse caso, foram consideradas a Precipitação Média Anual (PMA) e a Precipitação Média Mensal (PMM).

Para a aplicação do teste Qui-quadrado, o número de graus de liberdade para o modelo Exponencial e Normal foi igual a um, e para o modelo Gumbel igual a dois. Assim, atendendo-se o nível de significância de 5%, os valores de X^2 tabelado foram de 3,84 para as funções exponencial e normal, e de 5,99 para função Gumbel.

- Precipitação Média Anual

A Tabela 4.3 apresenta os resultados da aplicação do teste Qui-quadrado para avaliar o ajuste das frequências de excedência para as regiões pluviometricamente homogêneas A a F (série contendo todos os anos) para valores de Precipitação Média Anual. Considerando-se o grau de liberdade igual a um, com um nível de significância de 5%, o valor considerado X^2 tabelado foi igual a 3,84. Observa-se na Tabela 4.3, que todas as regiões apresentaram boa aderência a funções de distribuição de probabilidade normal, sendo que os valores X^2 calculado foram menores que 3,84 (X^2 tabelado).

Tabela 4.3 – Teste Qui-quadrado para função Normal da Precipitação Média Anual

| Regiões Homogêneas | X^2 calculado | | |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Todos os anos | Anos de El Niño | Anos de La Niña |
| A | 1,17 | 1,1 | 0,38 |
| B | 1,32 | 0,19 | 0,88 |
| C | 0,32 | 2,87 | 1,24 |
| D | 0,40 | 0,56 | 0,43 |
| E | 0,36 | 1,07 | 1,55 |
| F | 0,59 | 0,57 | 0,54 |

Os resultados observados na Tabela 4.3 estão coerentes com a literatura. Pois, segundo HASTINGS e PEACOCK (1975), os valores de precipitação média anual e

precipitação média mensal são melhores simulados através da função de distribuição Normal, pois esta é utilizada para cálculo da probabilidade acumulada de ocorrências totais de precipitação.

As Figura 4.7, 4.8 e 4.9 apresentam, respectivamente, as frequências de excedência de precipitações médias anuais observadas e estimadas para as três seqüências de dados analisados (Todos os anos, El Niño e La Niña), demonstrando graficamente, o melhor ajuste da função Normal às frequências observadas.

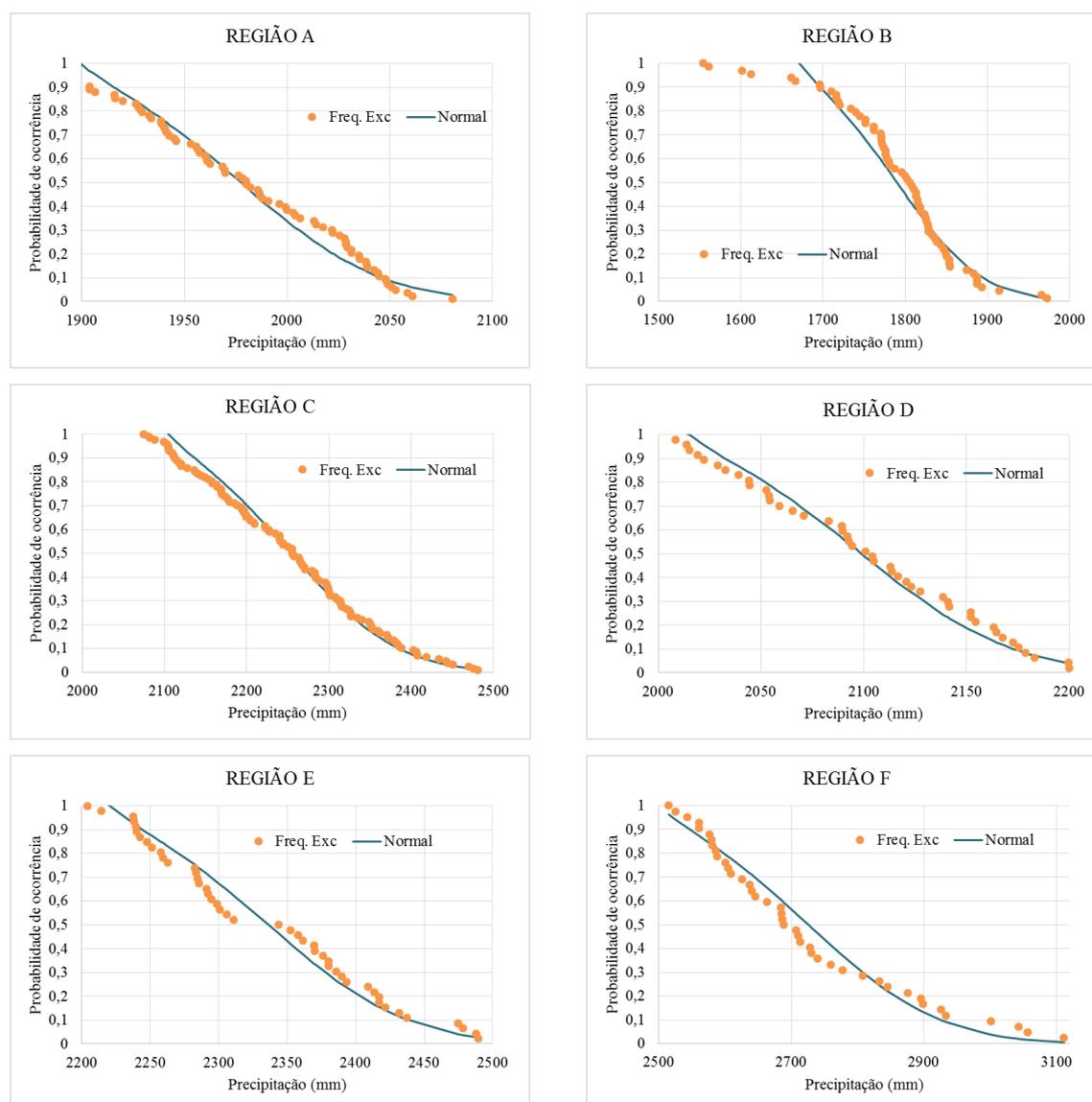


Figura 4.7 - Frequências de excedência e função de distribuição de probabilidade para Precipitação Média Anual: Série completa

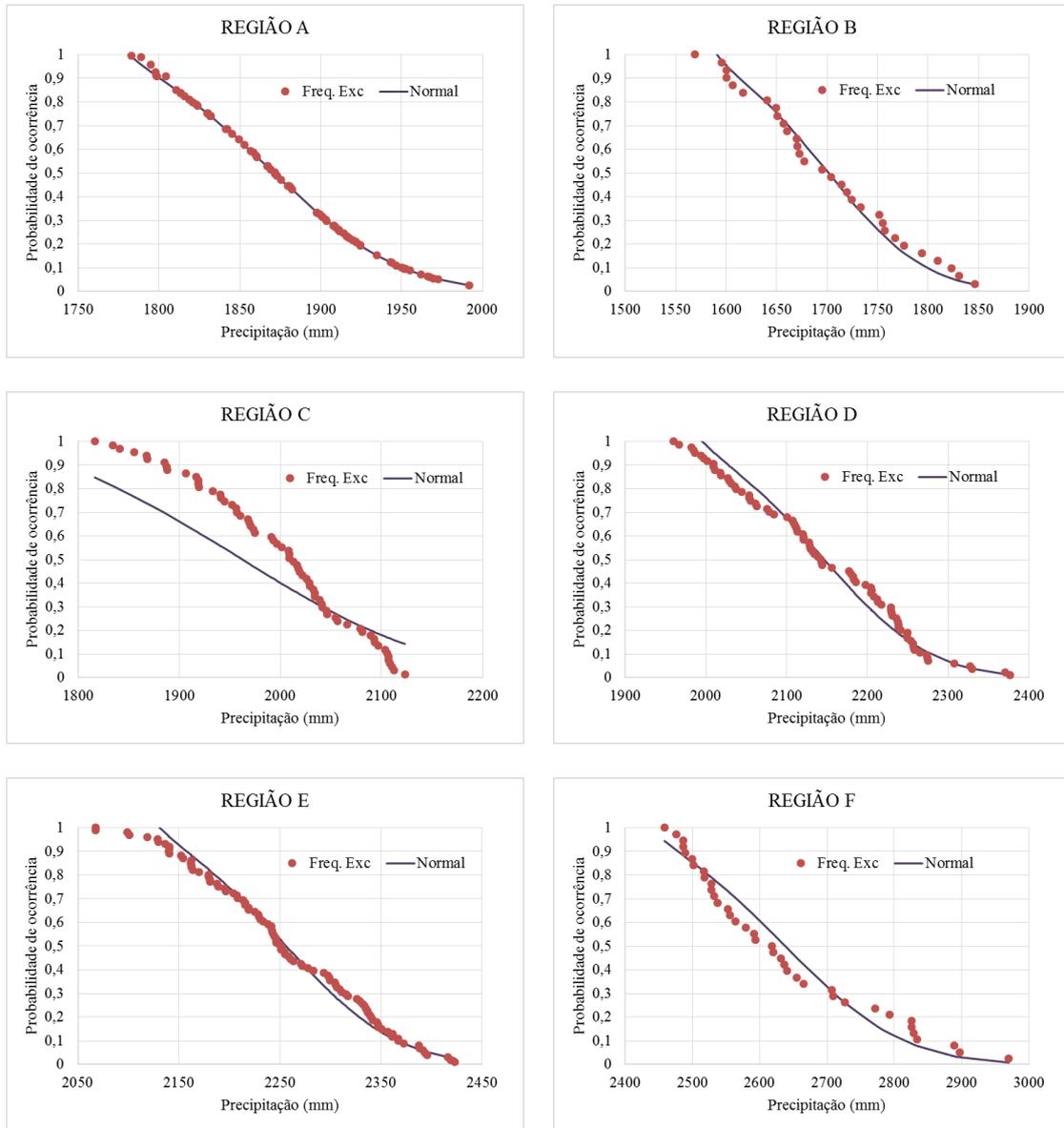
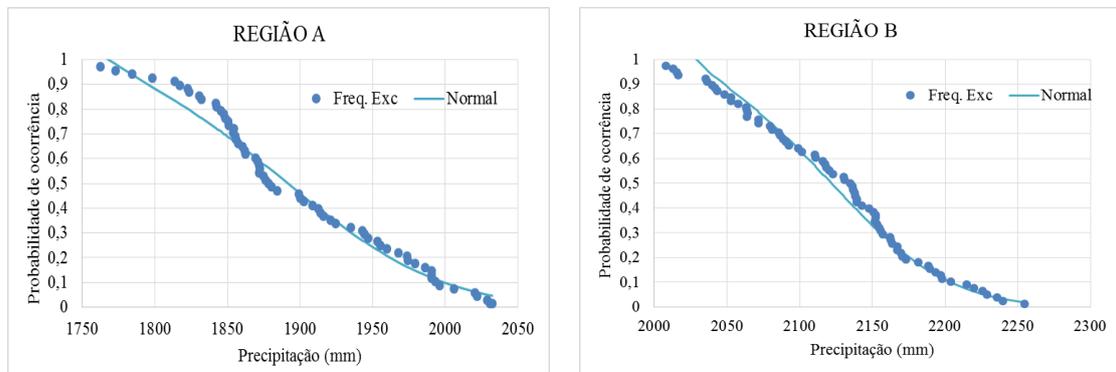


Figura 4.8 – Frequências de excedência e função de distribuição de probabilidade para Precipitação Média Anual: El Niño



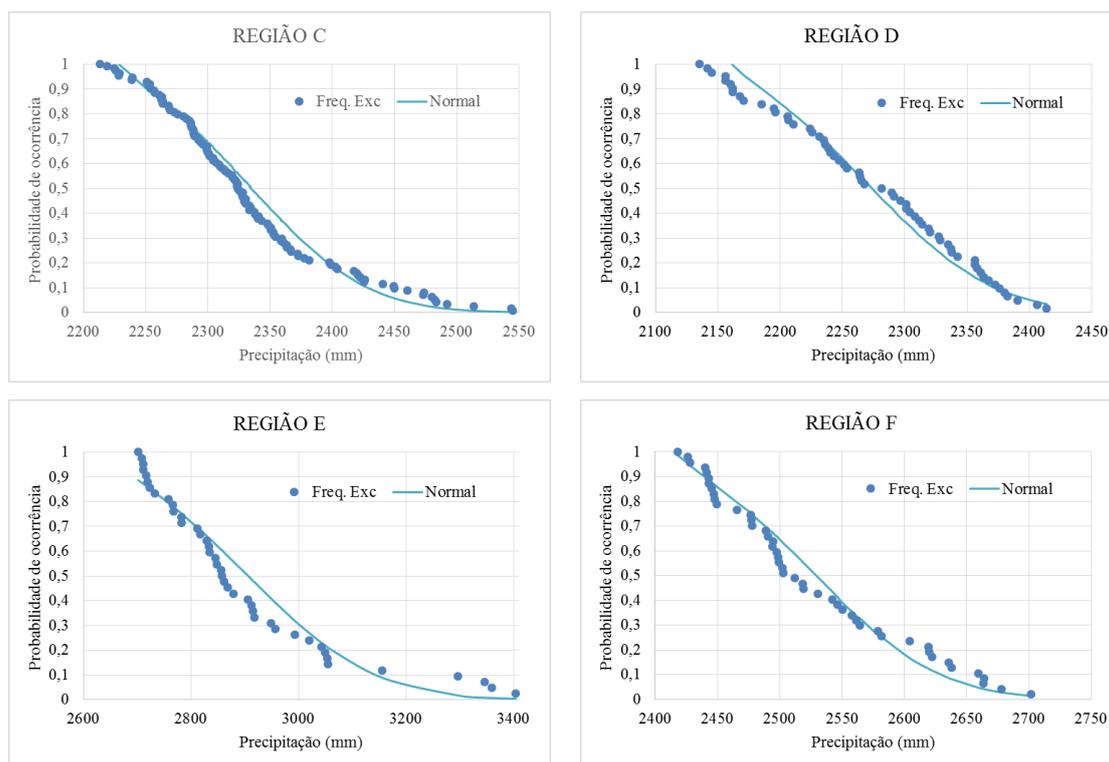


Figura 4.9 - Frequências de excedência e função de distribuição de probabilidade para Precipitação Média Anual: La Niña

- Precipitação Média Mensal

Visando analisar a variação pluviométrica no estado do Pará, foram realizadas simulação das funções de probabilidade para média mensal de precipitação. Esta análise foi feita somente nas regiões homogêneas que apresentaram menores índices pluviométricos (Região A), e em regiões homogêneas com maiores índices pluviométricos (Regiões D, E e F).

A Tabela 4.4 apresenta os resultados da aplicação do teste Qui-quadrado para avaliar o ajuste das frequências de excedência para as regiões pluviometricamente homogêneas A e F (série contendo todos os anos).

Como na aplicação do teste Qui-quadrado (Eq.(3.40)), o número de graus de liberdade para o modelo exponencial e normal foi considerado igual a um, com nível de significância de 5% e valor de X^2 tabelado igual a 3,84, observou-se que para as Regiões A e F, o modelo exponencial foi considerado inadequado, por apresentar valores de X^2 calculado acima de 3,84. Diferentemente do modelo normal, que apenas para os meses de julho e agosto (Região F), apresentaram valores acima de 3,84.

Para o modelo Gumbel, foi utilizado o grau de liberdade igual a dois, com 5% de significância, e valor de X^2 tabelado de 5,99. Obteve-se boa aderência dos dados a todos os meses e regiões homogêneas (A e F), pois os resultados de X^2 calculado foram menores que 5,99.

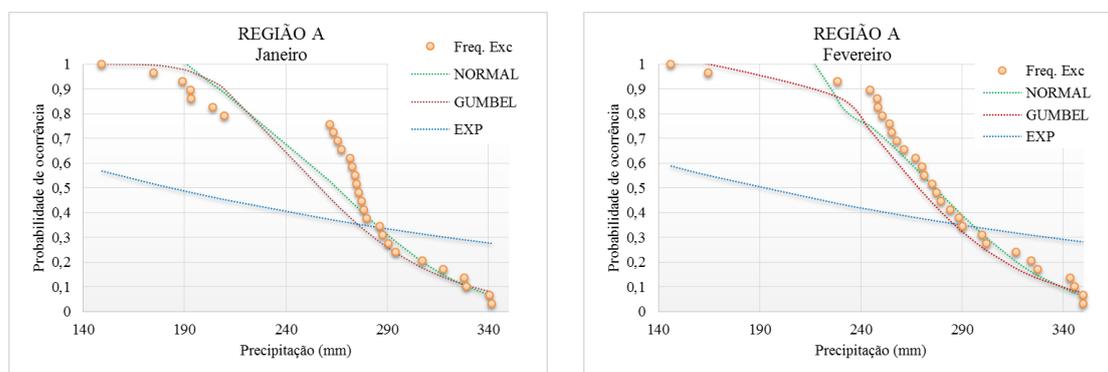
Tabela 4.4 – Teste Qui-quadrado das frequências de excedência para as regiões homogêneas A e F: Todos os anos

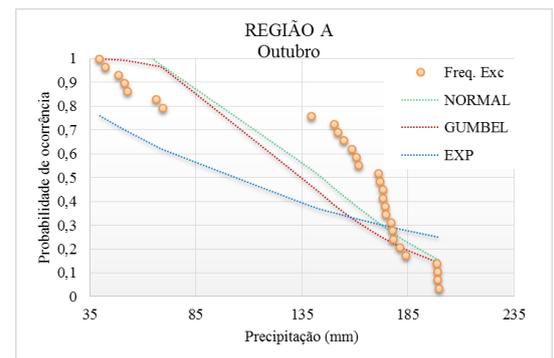
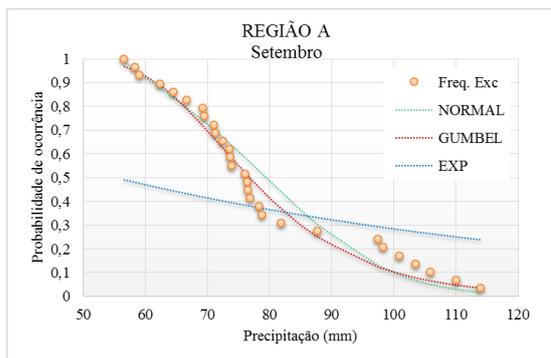
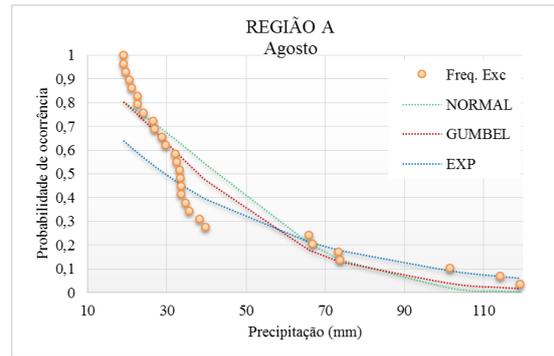
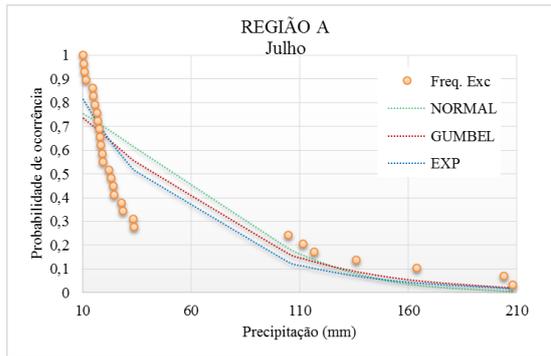
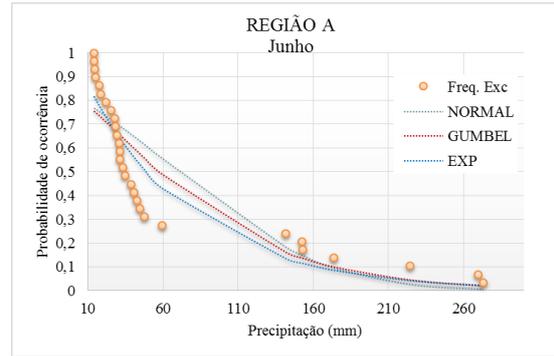
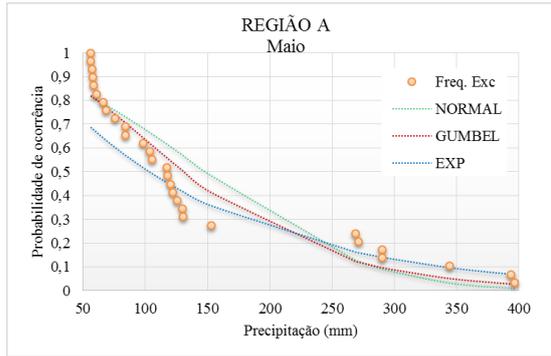
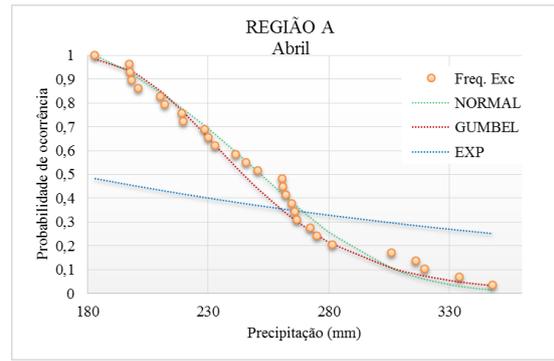
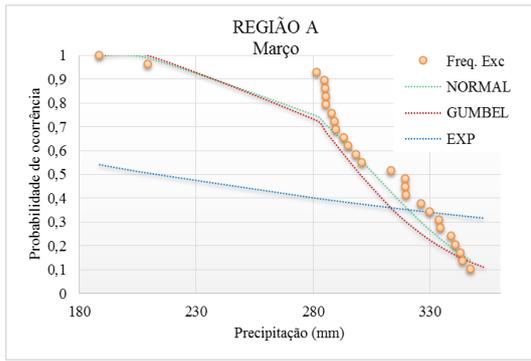
| Mês | Região_A | | | Região_F | | |
|-----|----------|--------|-------------|----------|--------|-------------|
| | Normal | Gumbel | Exponencial | Normal | Gumbel | Exponencial |
| JAN | 1,13 | 1,34 | 4,84* | 1,21 | 1,44 | 15,58* |
| FEV | 1,48 | 0,41 | 5,21* | 1,22 | 0,63 | 15,71* |
| MAR | 0,43 | 0,94 | 6,02* | 0,40 | 0,41 | 16,82* |
| ABR | 0,28 | 0,25 | 5,06* | 1,58 | 0,20 | 17,87* |
| MAI | 1,44 | 0,74 | 0,84 | 2,36 | 2,02 | 16,66* |
| JUN | 2,23 | 1,11 | 0,92 | 0,89 | 1,30 | 13,35* |
| JUL | 2,38 | 1,29 | 1,27 | 8,96* | 2,08 | 12,20* |
| AGO | 2,03 | 0,77 | 1,30 | 25,91* | 2,05 | 10,76* |
| SET | 0,70 | 0,41 | 4,78* | 0,49 | 0,25 | 11,14* |
| OUT | 1,74 | 2,82 | 3,34 | 0,60 | 0,88 | 10,35* |
| NOV | 0,91 | 1,70 | 3,13 | 1,00 | 0,79 | 11,91* |
| DEZ | 1,16 | 1,99 | 3,81 | 1,32 | 0,88 | 16,12* |

* Não adequado

Analisando-se os dados de chuva média mensal, observou-se que ocorreu aderência dos dados para as funções de distribuição de probabilidade Normal e Gumbel. Porém, para ambas as regiões, a função Gumbel produziu ajustes de melhor qualidade, evidenciado pelos menores valores de qui-quadrado calculado, assim como constatado no estudo de Beijo *et al.* (2004), em Lavras- MG.

A Figura 4.10 apresenta os ajustes das funções de probabilidade Normal, Gumbel, e Exponencial para os meses de janeiro a dezembro para a série completa, contendo todos os anos, para a região que apresentou menores índices pluviométricos (Região A). Nesse caso, nota-se que a função de distribuição de probabilidade Gumbel apresentou melhores ajustes as frequências de excedência de precipitação observadas.





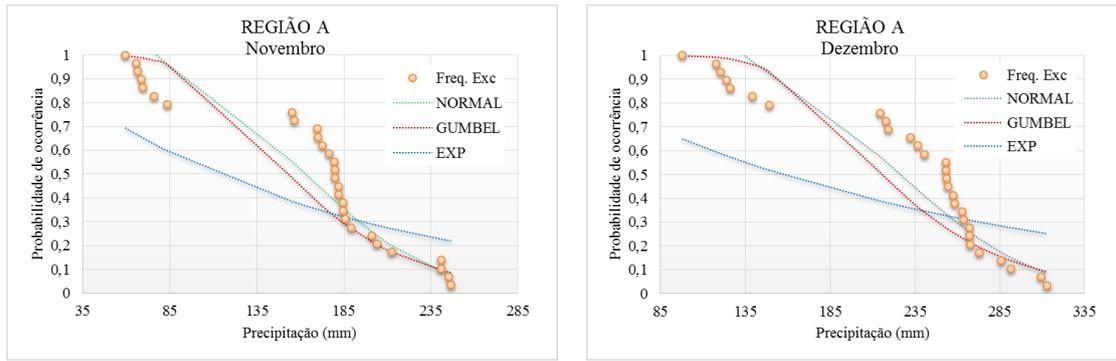
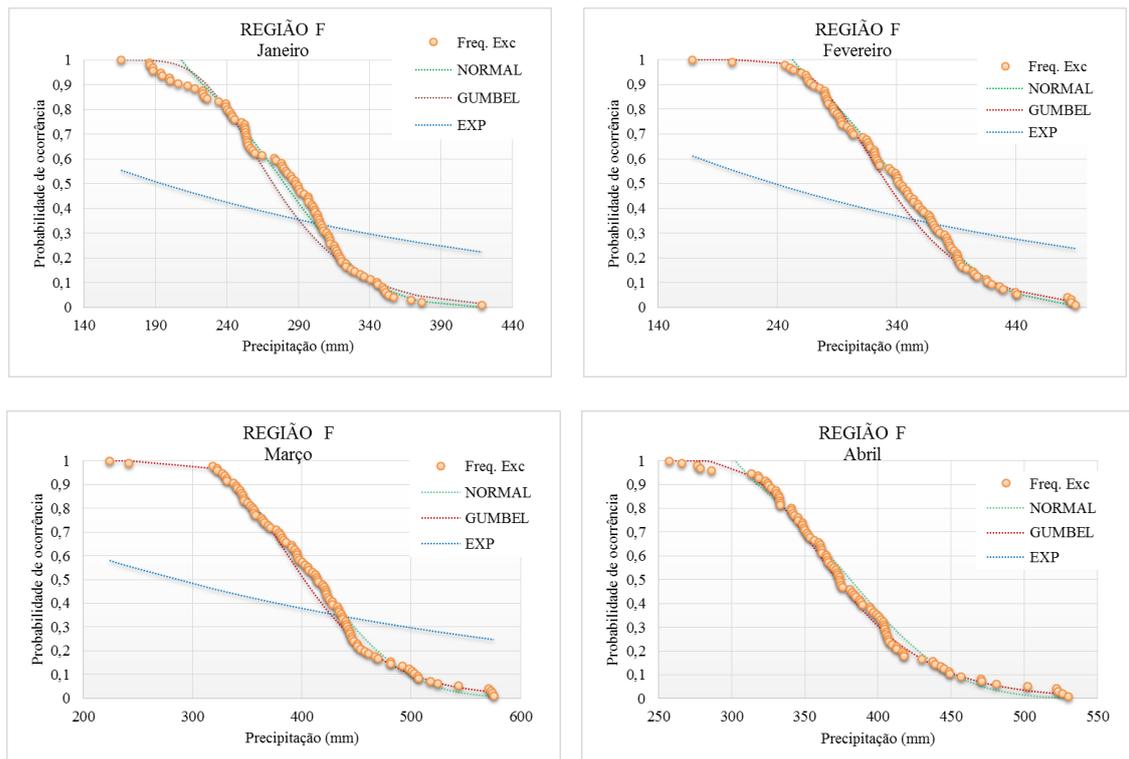


Figura 4.10 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região A: Todos os Anos

Para a região F (valores mais elevados de precipitação), pode-se observar na Figura 4.11, que a função de distribuição de probabilidade Gumbel também apresentou melhores ajustes as frequências de excedência observadas na série histórica completa.



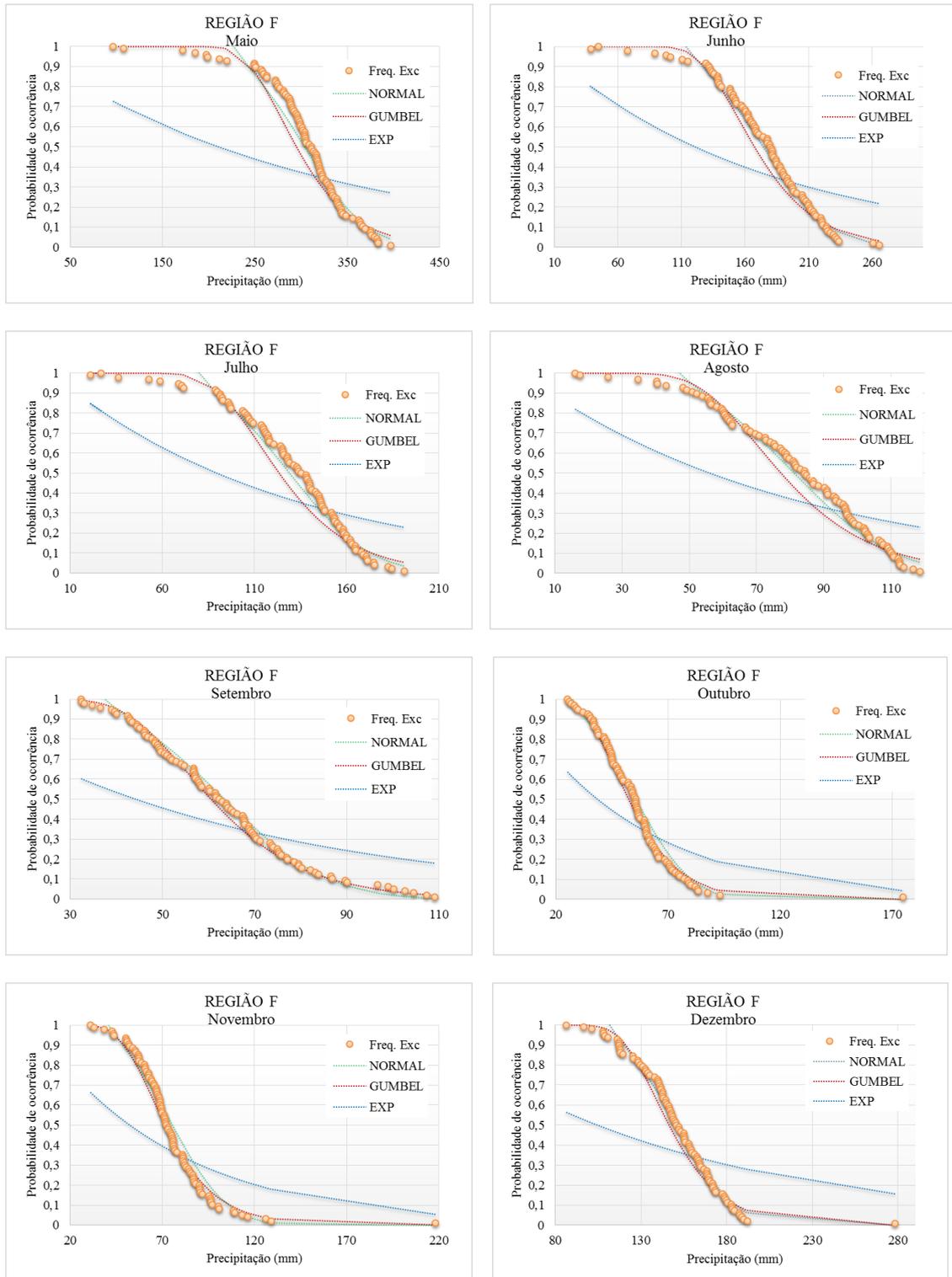


Figura 4.11 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região F: Todos os Anos

Pode-se observar nas Figura 4.10 e Figura 4.11, que houve melhor ajuste das funções de distribuição à Região F, quando comparada com a Região A, isto pode ser devido ao maior número de estações pluviométricas presente na Região F, que

melhora a consistências dos dados, quanto maior a série, maior a representatividade do evento.

A Tabela 4.5 apresenta os resultados da aplicação do teste Qui-quadrado para avaliar o ajuste das frequências de excedência para as regiões pluviometricamente homogêneas A e D, para séries com ocorrência de El Niño.

Tabela 4.5 – Teste Qui-quadrado das frequências de excedência para as regiões homogêneas A e E: Anos de El Niño

| Mês | Região_A | | | Região_D | | |
|-----|----------|--------|-------------|----------|--------|-------------|
| | Normal | Gumbel | Exponencial | Normal | Gumbel | Exponencial |
| JAN | 1,86 | 3,46 | 6,91* | 1,11 | 1,27 | 16,00* |
| FEV | 1,15 | 2,22 | 6,90* | 3,07 | 0,75 | 15,04* |
| MAR | 1,56 | 1,36 | 8,40* | 4,65* | 0,56 | 17,49* |
| ABR | 0,53 | 0,26 | 7,57* | 8,31* | 0,23 | 18,04* |
| MAI | 2,35 | 1,22 | 1,22 | 2,30 | 1,91 | 16,19* |
| JUN | 3,81 | 2,27 | 2,68 | 1,36 | 1,50 | 12,93* |
| JUL | 3,64 | 2,23 | 2,42 | 1,56 | 2,58 | 12,41* |
| AGO | 3,68 | 1,44 | 1,92 | 6,47 | 1,56 | 10,16* |
| SET | 1,18 | 1,36 | 6,66* | 0,47 | 0,29 | 9,84* |
| OUT | 2,82 | 3,95 | 5,03* | 0,40 | 0,75 | 8,58* |
| NOV | 1,31 | 2,21 | 4,36* | 0,78 | 0,72 | 11,40* |
| DEZ | 2,70 | 4,00 | 5,45* | 2,51 | 1,32 | 14,07* |

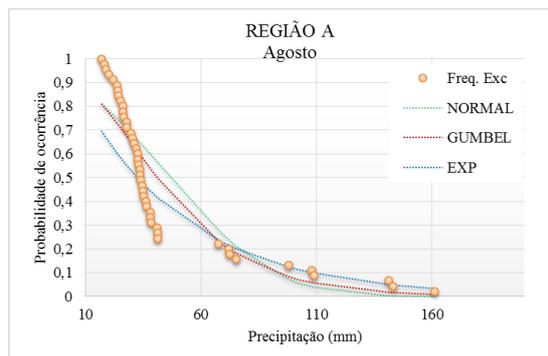
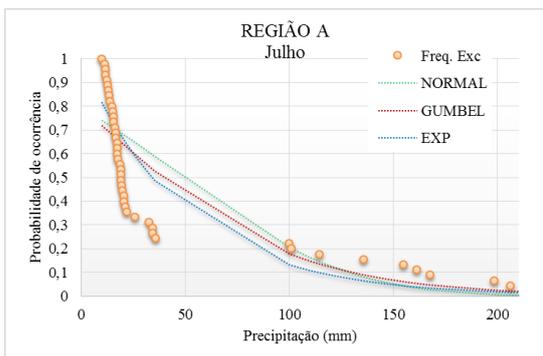
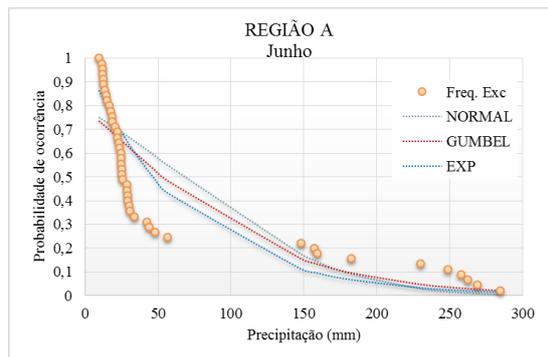
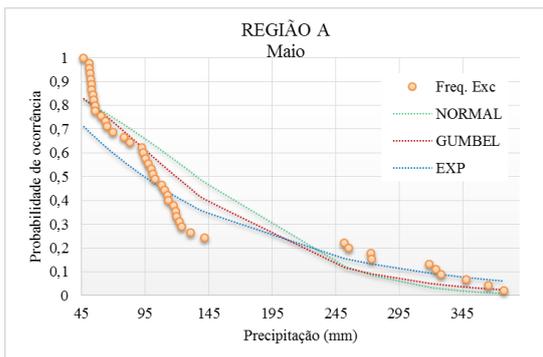
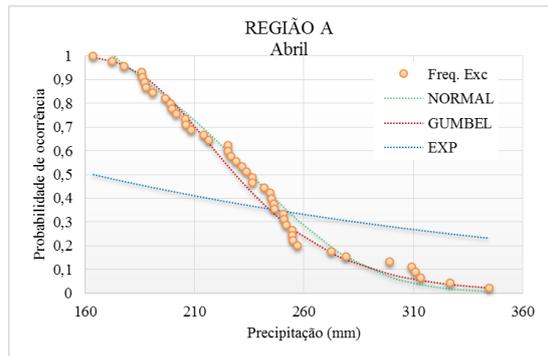
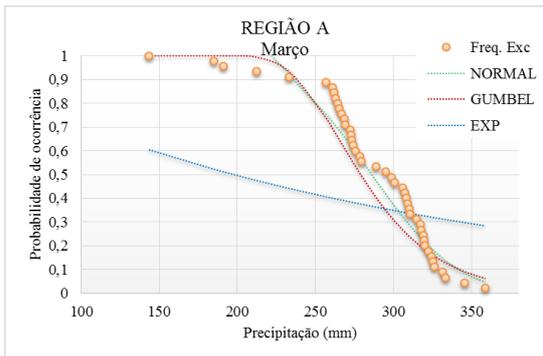
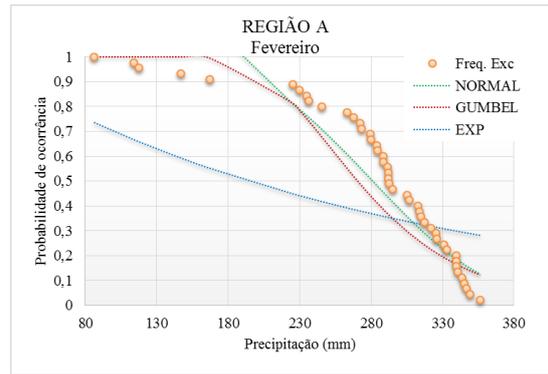
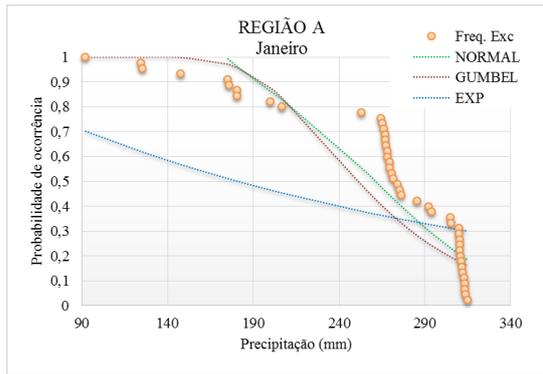
* Não adequado

Aplicando-se o teste Qui-quadrado para ajustes a função Gumbel, com grau de liberdade igual a dois, com 5% de significância, e valor de X^2 tabelado de 5,99, observou-se que ocorreu aderência dos dados de todos os meses e regiões homogêneas (A e D), com valores de X^2 calculado menores que 5,99.

Para função exponencial (X^2 tabelado igual a 3,84), observou-se que para ambas as Regiões (A e D), esta função foi considerada inadequada, por apresentar valores de X^2 calculado acima de 3,84. Já para o modelo Normal, apenas os meses de março e abril (Região D), apresentaram valores acima de 3,84.

Analisando-se os dados de chuva média mensal para anos de El Niño, observou-se que ocorreu aderência dos dados para as funções de distribuição de probabilidade Normal e Gumbel. Porém, para ambas as regiões, a função Gumbel produziu ajustes de melhor qualidade, evidenciado pelos menores valores de qui-quadrado calculado.

Para a Região A, a Figura 4.12 apresenta os ajustes das funções de probabilidade Normal, Gumbel, e Exponencial para os meses de janeiro a dezembro.



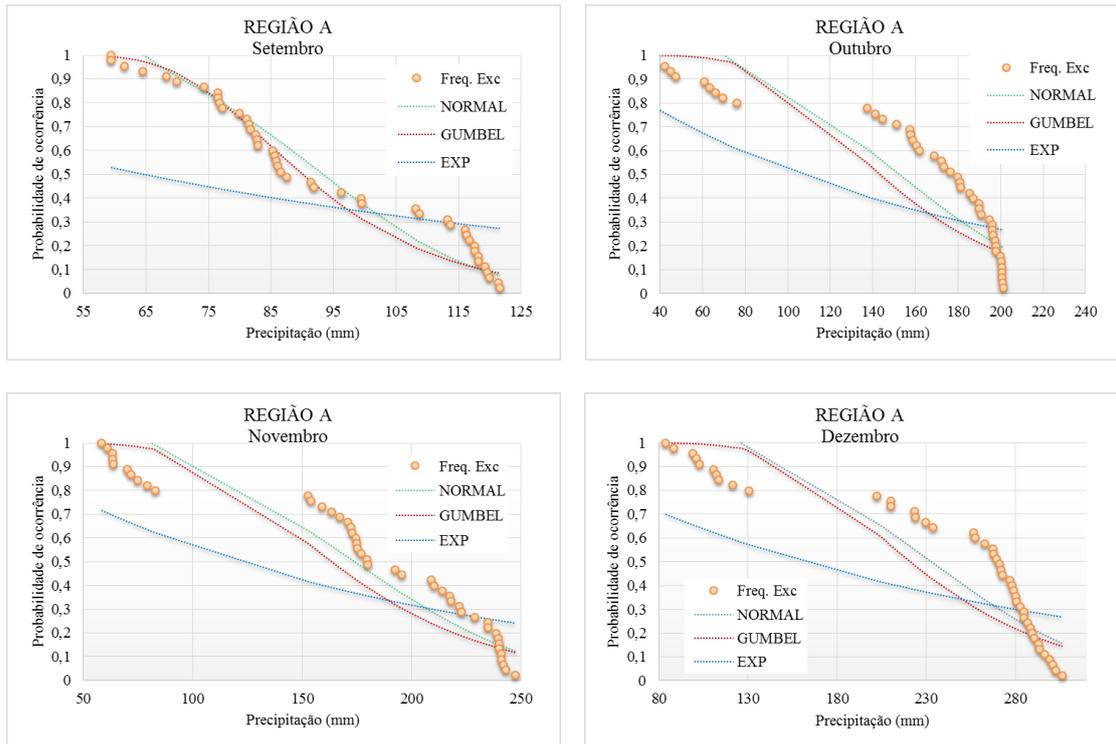
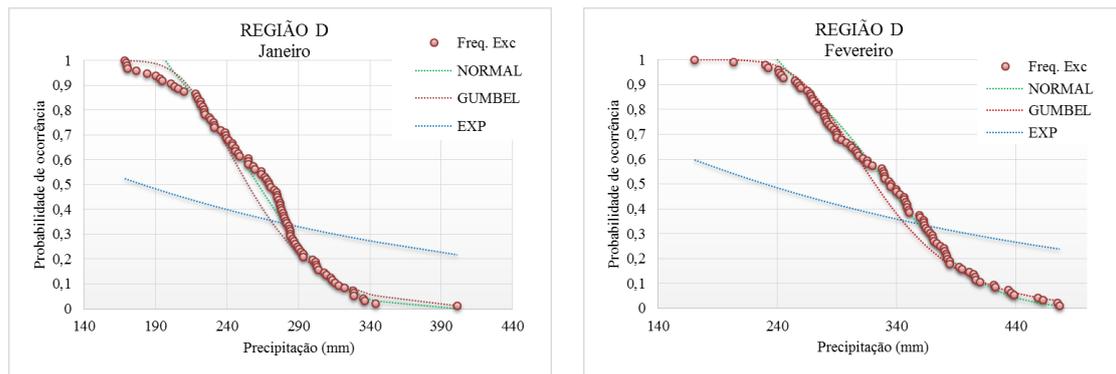
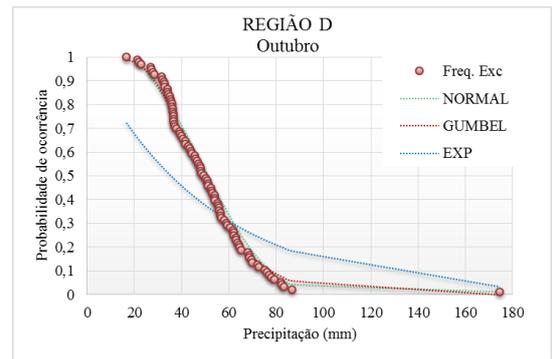
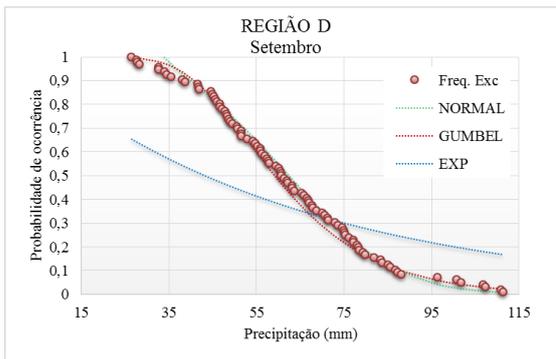
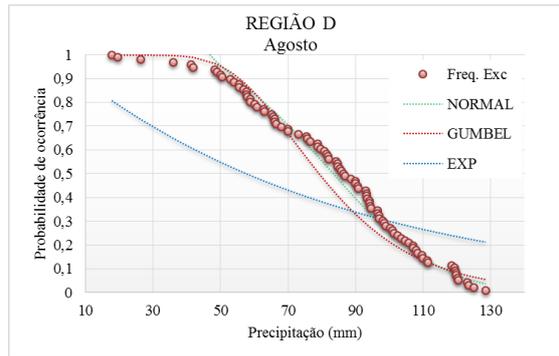
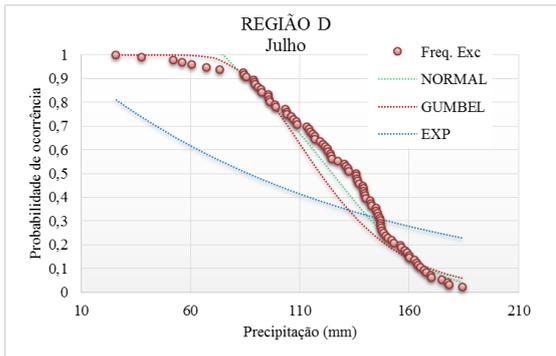
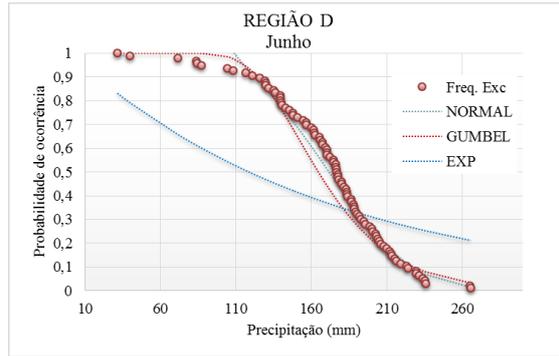
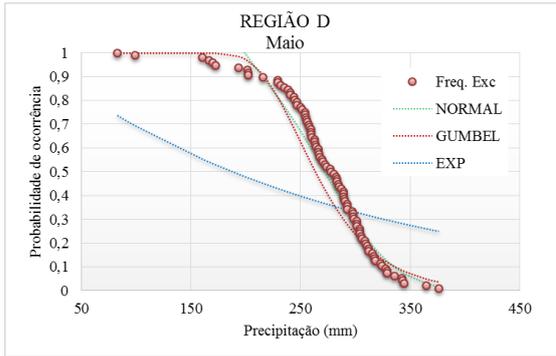
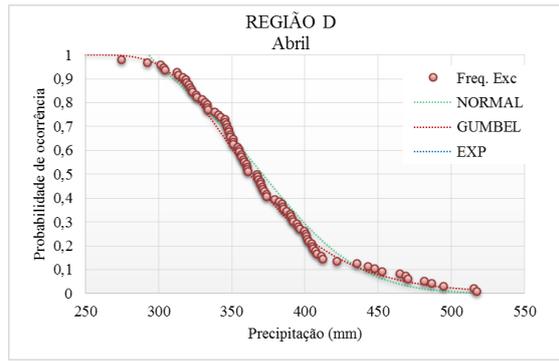
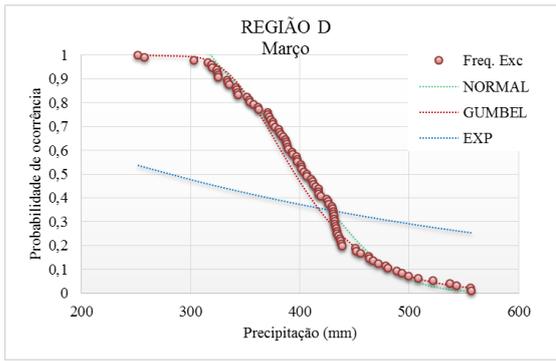


Figura 4.12 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região A: El Niño

Para a Região D, a qual apresenta valores mais elevados de precipitação, pode-se observar na Figura 4.13, que a função de distribuição de probabilidade Gumbel também apresentou melhores ajustes às frequências observadas de precipitação média por mês.





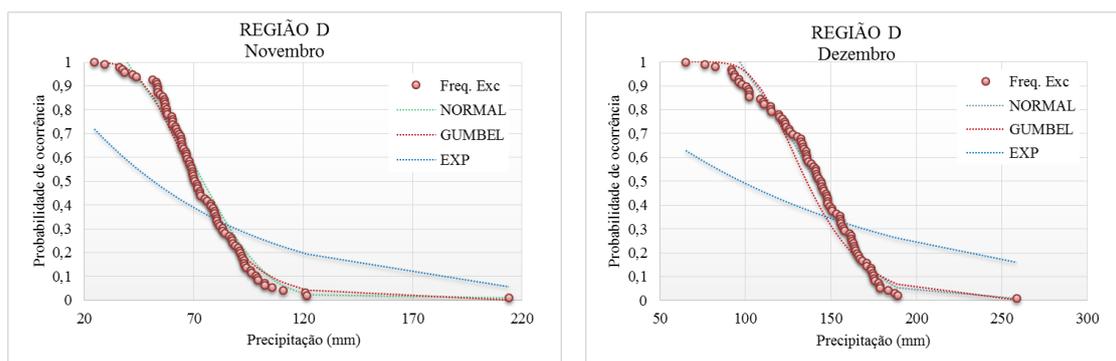


Figura 4.13 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região E: El Niño

Assim como para séries contendo todos os anos, para séries com ocorrência de El Niño, pode-se observar nas Figura 4.12 e Figura 4.13, que houve melhor ajuste das funções de distribuição à Região D, quando comparada com a Região A. Isto também pode ser devido ao maior número de estações pluviométricas presente na Região D.

A Tabela 4.6 apresenta os resultados da aplicação do teste Qui-quadrado para avaliar o ajuste das frequências de excedência para as regiões pluviometricamente homogêneas A e E (série com ocorrência de La Niña).

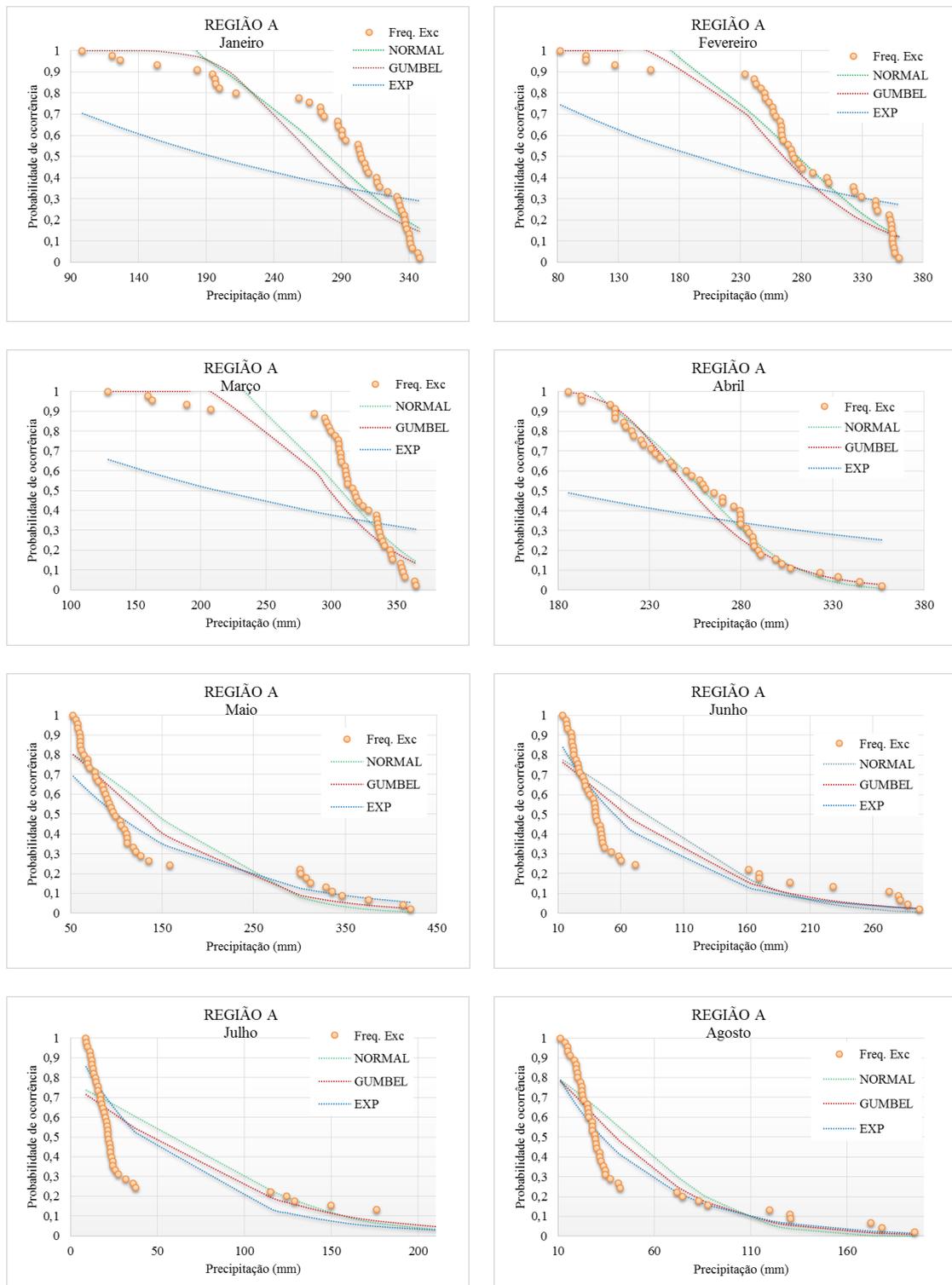
Assim como para séries contendo todos os anos e séries com ocorrência de El Niño, para série com ocorrência de La Niña, a função Gumbel, se aderiu aos dados de todos os meses e regiões homogêneas (A e E), com valores de X^2 calculado menores que 5,99. Já para funções exponencial e normal (X^2 tabelado igual a 3,84), observou-se que estas funções foram consideradas inadequadas, por apresentar valores de X^2 calculado acima de 3,84, com exceção da função normal para a Região E, que apresentou bons ajustes para todos os meses.

Tabela 4.6 - Teste Qui-quadrado das frequências de excedência para as regiões homogêneas A e E: Anos de La Niña

| Mês | Região_A | | | Região_E | | |
|-----|----------|--------|-------------|----------|--------|-------------|
| | Normal | Gumbel | Exponencial | Normal | Gumbel | Exponencial |
| JAN | 11,19* | 3,09 | 6,58* | 0,39 | 0,61 | 13,28* |
| FEV | 12,05* | 1,51 | 6,36* | 1,16 | 0,27 | 14,57* |
| MAR | 31,28* | 3,30 | 8,51* | 0,48 | 0,98 | 14,73* |
| ABR | 0,27 | 0,56 | 7,95* | 2,18 | 0,92 | 15,30* |
| MAI | 2,75 | 1,66 | 1,46 | 2,17 | 1,24 | 4,07* |
| JUN | 3,73 | 1,99 | 1,65 | 2,37 | 1,65 | 4,00* |
| JUL | 4,36* | 2,41 | 3,11 | 0,98 | 0,99 | 3,39 |
| AGO | 4,36* | 1,67 | 1,28 | 0,78 | 1,03 | 3,24 |
| SET | 0,45 | 0,24 | 7,94* | 1,39 | 0,70 | 3,94* |
| OUT | 3,64 | 4,91 | 5,60* | 2,28 | 1,00 | 3,71 |
| NOV | 1,63 | 2,56 | 4,87* | 1,49 | 0,84 | 4,13* |
| DEZ | 2,23 | 2,64 | 5,60* | 0,86 | 0,91 | 4,55* |

* Não adequado

Na Figura 4.14, podem-se observar as funções de distribuição de probabilidade para a região A, aplicadas à série que contém os anos de ocorrência de La Niña.



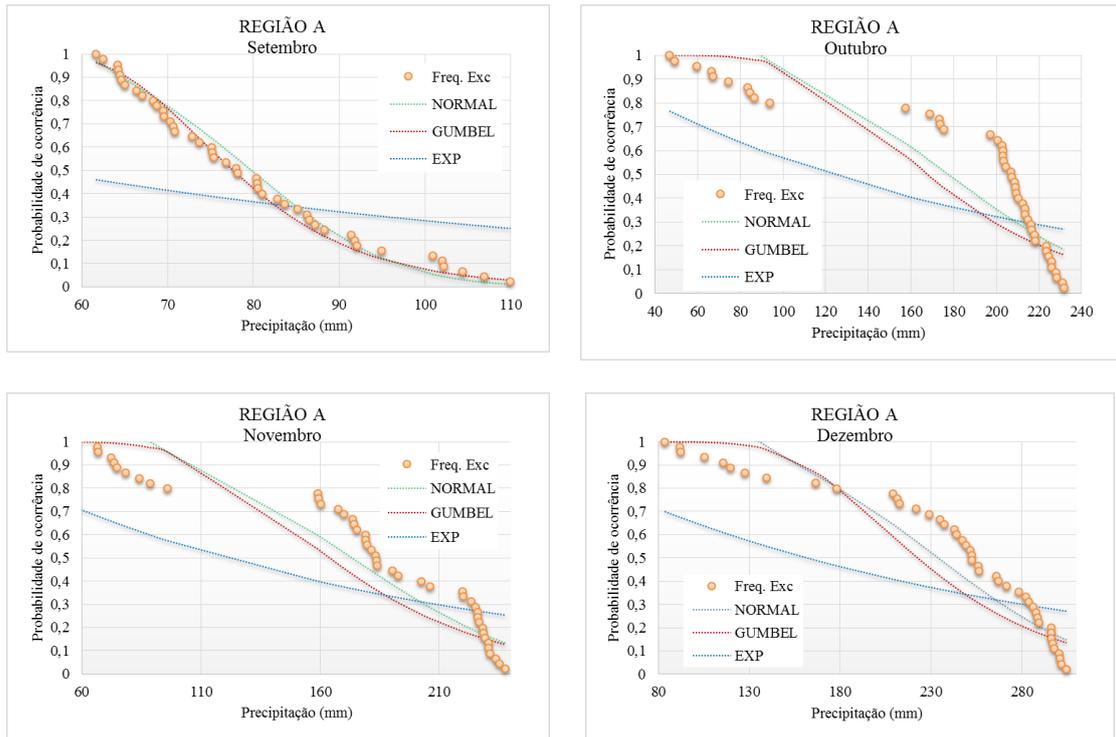
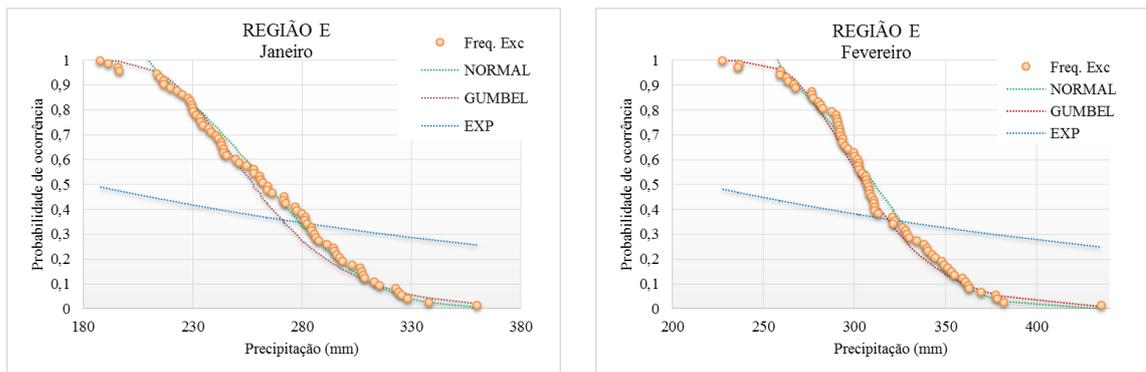
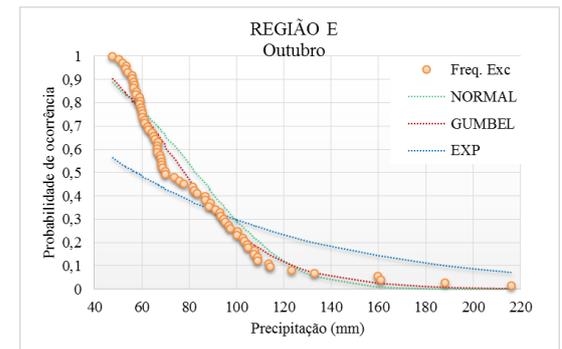
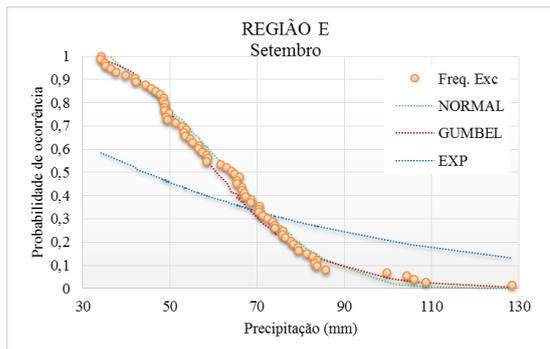
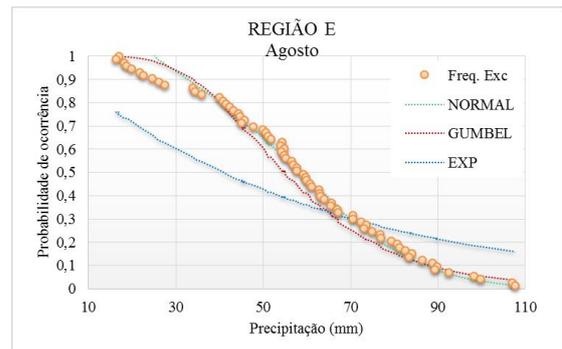
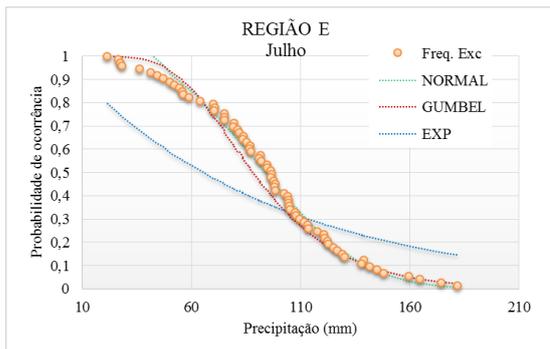
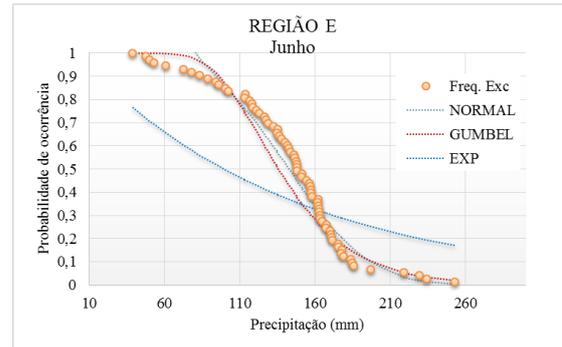
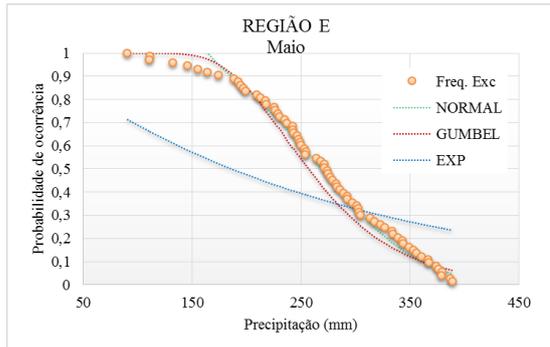
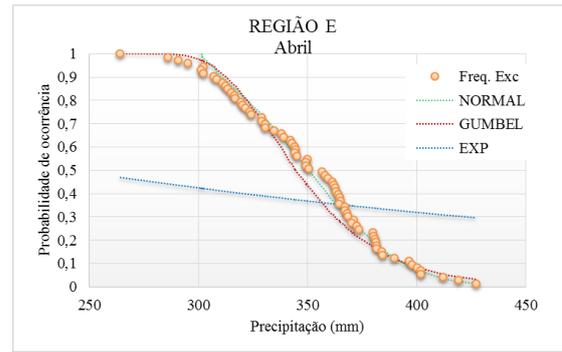
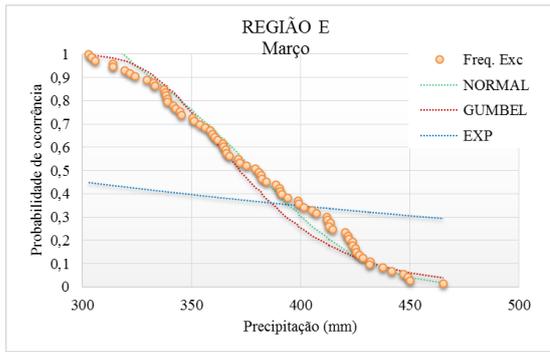


Figura 4.14 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região A: La Niña

Na Figura 4.15, observam-se as funções de distribuição de probabilidade para a região E, aplicadas à série que contém os anos de ocorrência de La Niña, na qual se nota que a função Gumbel apresentou melhor ajuste às frequências observadas.





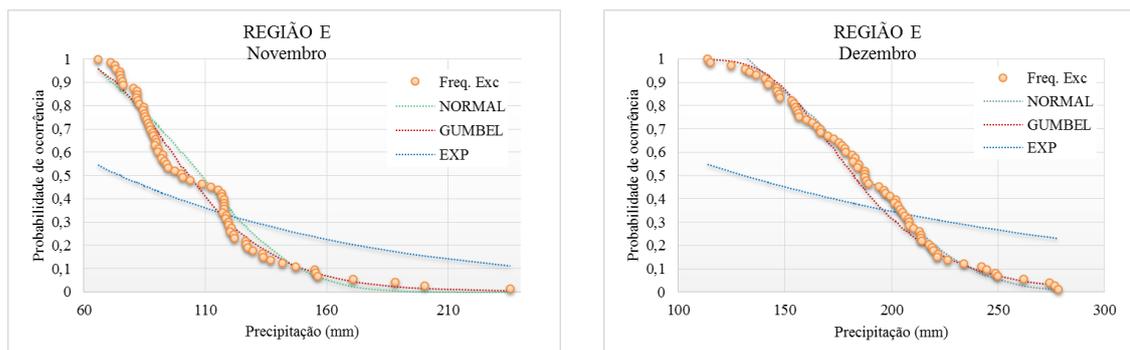


Figura 4.15 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região E: La Niña

Através das Figuras 4.14 e 4.15, pode-se observar que as frequências de excedência são melhores ajustadas para regiões mais úmidas (Região E) do que para regiões com índices pluviométricos menores (região A). Isto também pode ser devido aos maiores índices pluviométricos desta região.

4.3.1.2. Validação

Na etapa de validação das funções de probabilidade, foram selecionadas como estações alvos as estações apresentadas na Tabela 4.2 e rerepresentadas no Quadro 4.1, distribuídas por grupo ou região homogênea, para as séries analisadas (TA, EN e LN).

Para precipitações médias anuais, utilizou-se a função de distribuição Normal, pois se ajustou melhor aos dados de precipitação na calibração. Já para precipitações médias mensais para ambas as regiões (com maiores e menores índices pluviométricos) utilizou-se a função Gumbel.

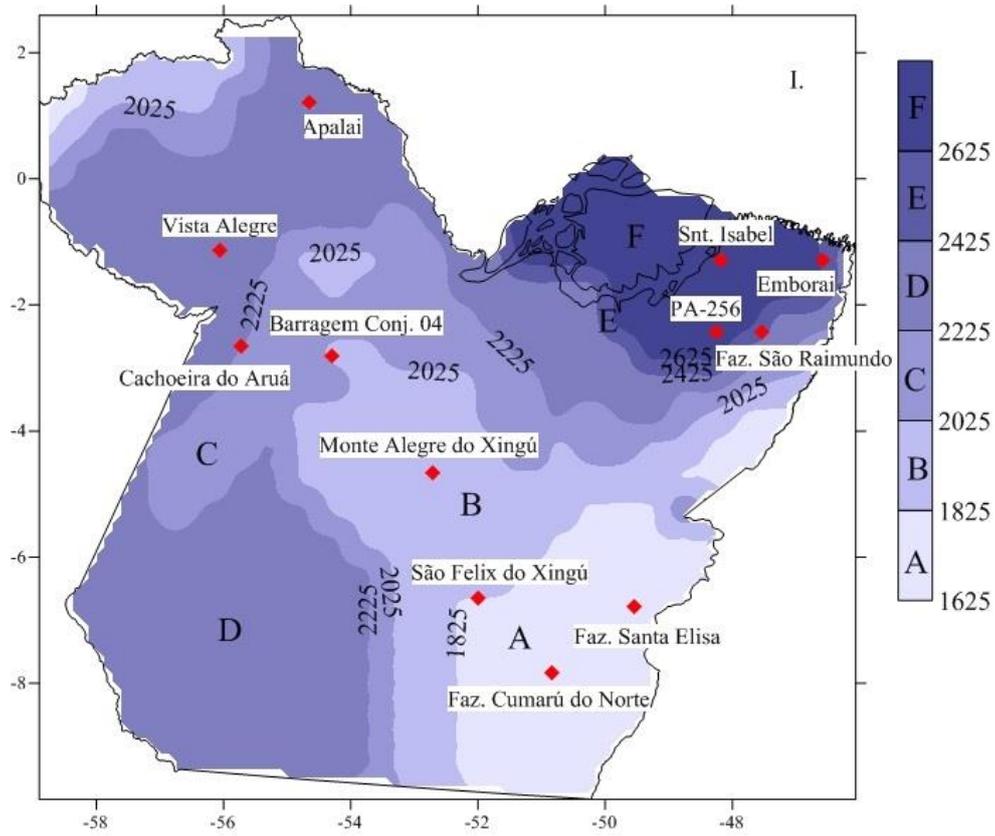
Quadro 4.1 - Estações alvo selecionadas para cada série histórica

| TA_MA | | EN_MA | | LN_MA | |
|-------|--|-------|---|-------|---|
| Cor | Estação Alvo | Cor | Estação Alvo | Cor | Estação Alvo |
| A | Faz. Santa Elisa São Felix do Xingú Faz. Cumarú do Norte | A | Faz. Santa Elisa | A | Faz. Cumarú do Norte Faz. Santa Elisa São Felix do Xingú |
| B | Barragem conj.4 Monte Alegre do Xingú | B | Faz. Cumarú do norte São Felix do Xingú Monte Alegre do Xingú | B | Monte Alegre do Xingu |
| C | Cachoeira do Aruá | C | Cachoeira do Aruá Barragem conj.04 Apalai | C | Barragem conj.04 Apalai |
| D | Vista alegre Apalai | D | Vista Alegre Emborai | D | Vista Alegre Cachoeira do Aruá |
| E | Faz. São Raimundo Emborai | E | Faz. São Raimundo | E | Emborai Faz. São Raimundo |
| F | Santa Isabel PA-256 Rio Acará Mirim | F | Santa Isabel PA-256 Rio Acará | F | Santa Isabel PA-256 Rio Acará Mirim |
| TA_MM | | EN_MM | | LN_MM | |
| Cor | Estação Alvo | Cor | Estação Alvo | Cor | Estação Alvo |
| A | Faz. Cumarú do norte | A | Barragem conj.4 Monte Alegre do Xingu | A | Faz. Cumarú do Norte São Felix do Xingu |
| B | Monte Alegre do Xingú Faz. Santa Elisa São Felix do Xingú | B | Faz. Cumarú do norte Cachoeira do Aruá São Felix do Xingu Faz. Santa Elisa Apalai | B | Faz. Santa Elisa Monte Alegre do Xingu Apalai Vista Alegre |
| C | Apalai Barragem conj.4 Cachoeira do Aruá | C | Vista Alegre | C | Barragem conj.4 Cachoeira do Aruá Faz. São Raimundo |
| D | | D | Santa Isabel Emborai PA-256 Rio Acará Faz. São Raimundo | D | |
| E | Vista Alegre | | | E | Santa Isabel Emborai PA-256 Rio Acará Mirim |
| F | Santa Isabel Emborai PA-256 Rio Acará Mirim Faz. São Raimundo | | | | |

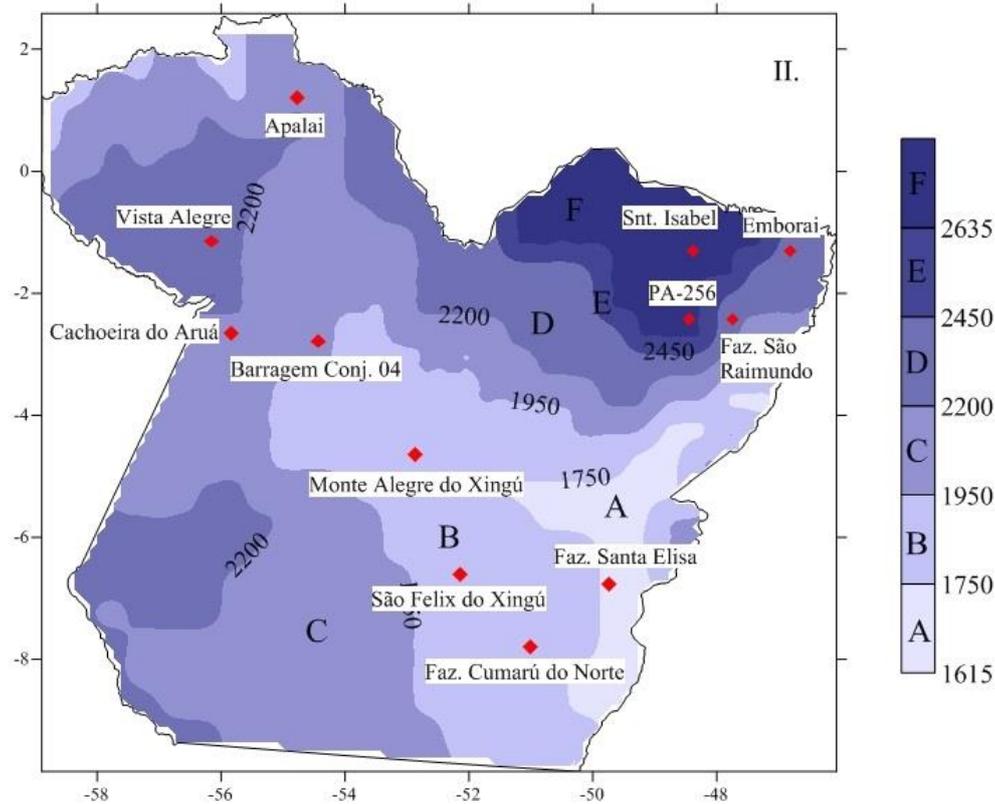
TA: Todos os anos; EN: Anos de El Niño; LN: Anos de La Niña

MA: Média anual; MM: Média mensal.

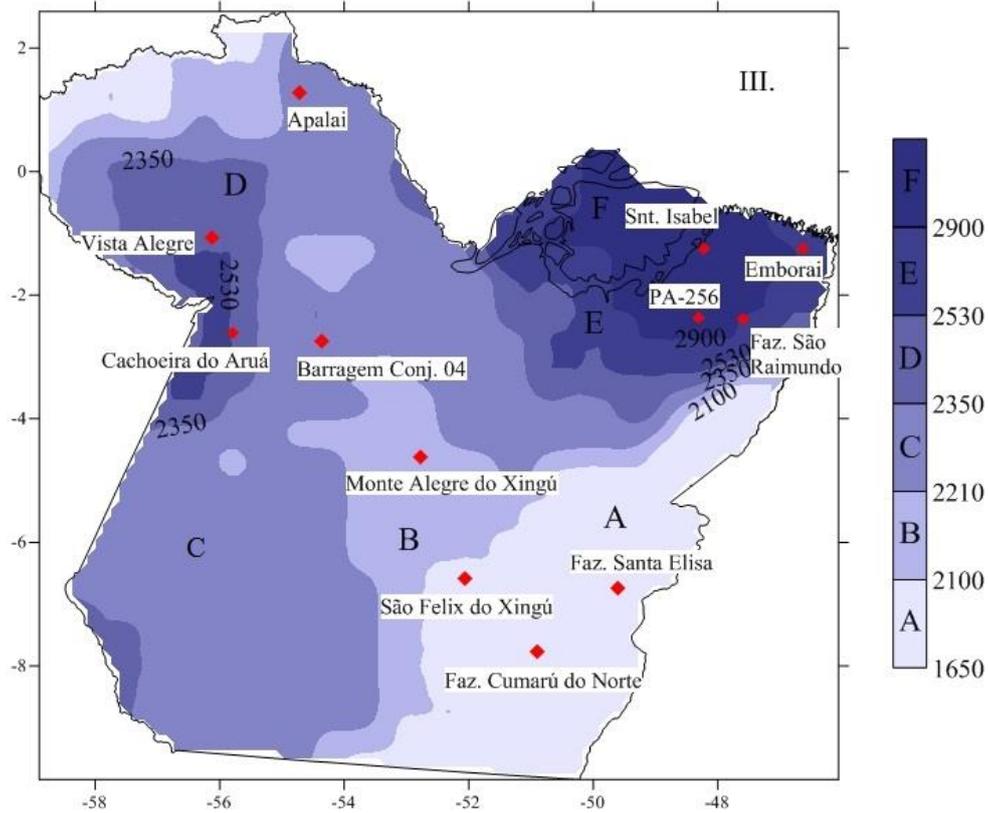
A Figura 4.16 mostra as regiões homogêneas de precipitação média anual no estado do Pará e as estações alvo, para séries históricas contendo todos os anos, anos com ocorrência de El Niño e com ocorrência de La Niña.



(a) Séries com todos os anos (1960-1990)



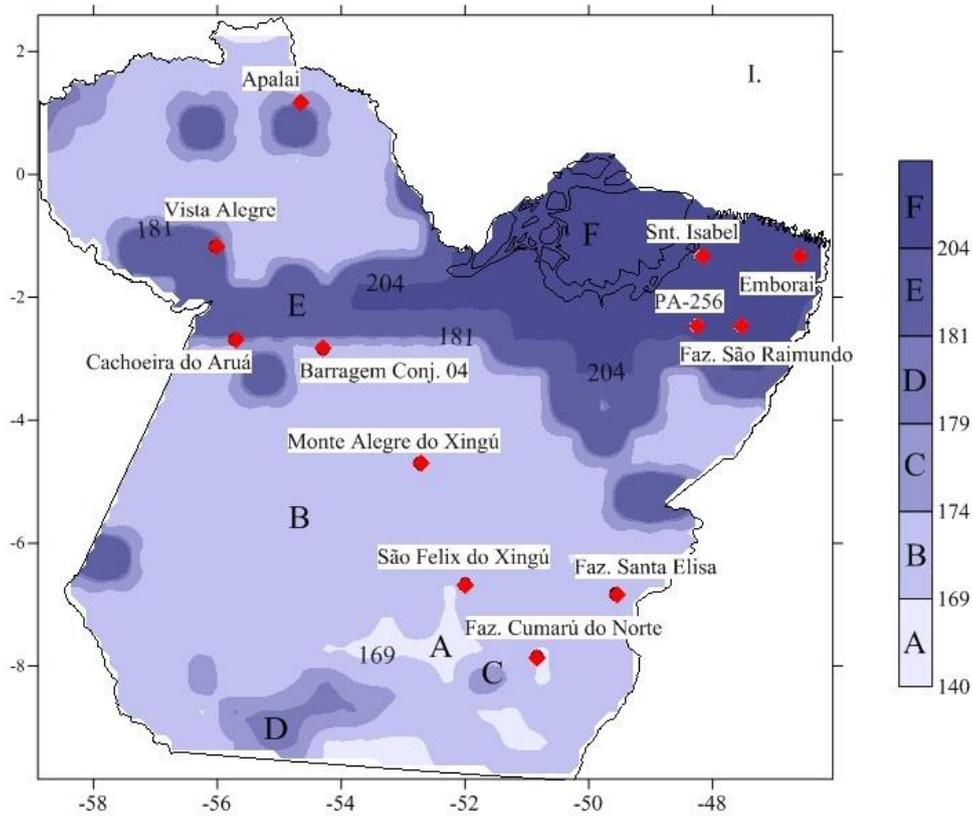
(b) Séries com ocorrência de El Niño



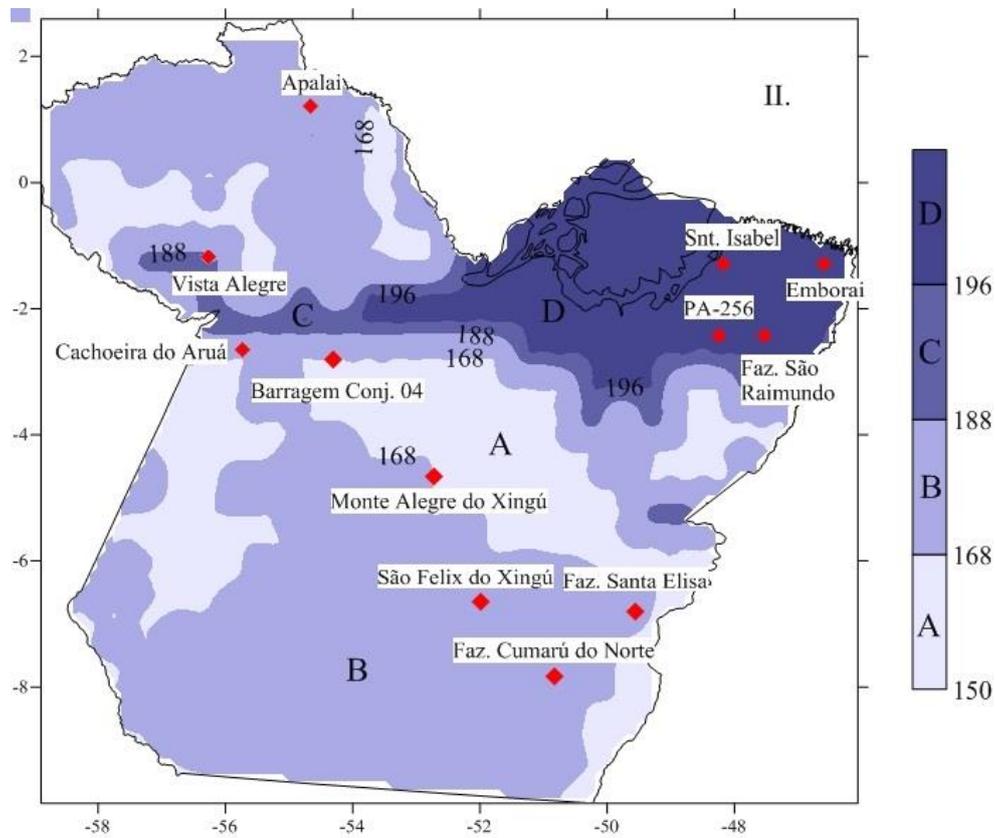
(c) Série com ocorrência de La Niña

Figura 4.16 – Estações Alvo para regiões homogêneas de Precipitação Média Anual

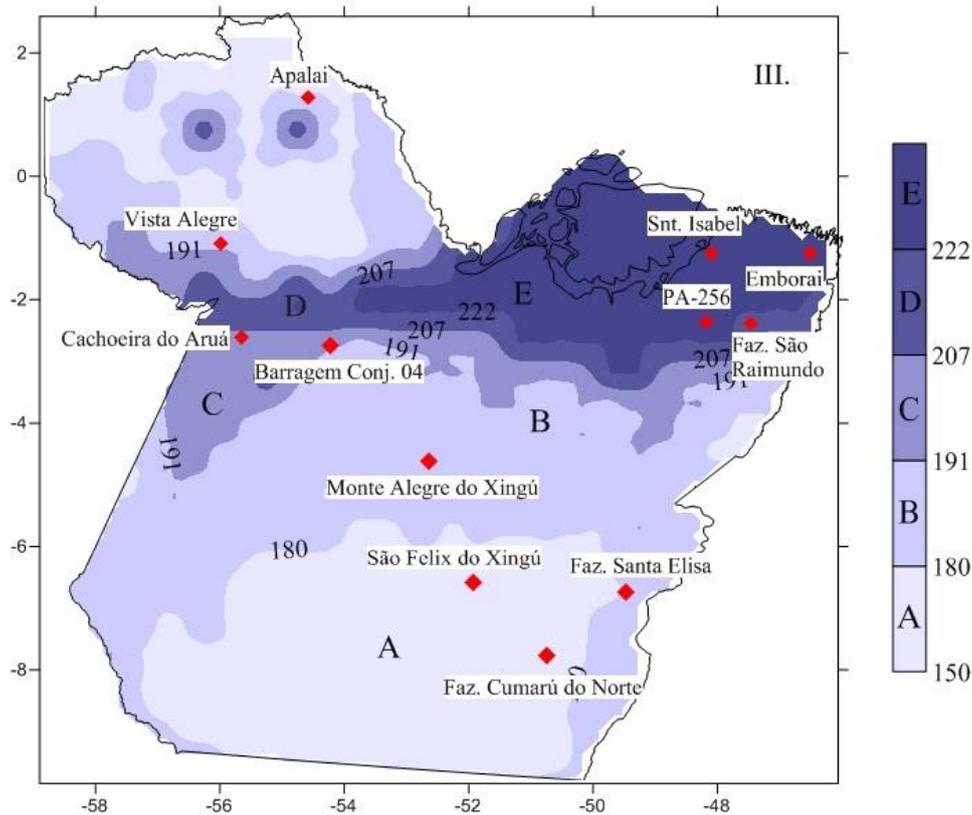
A Figura 4.17 apresenta a localização das estações alvo usadas para validação das funções de probabilidade e da regressão múltipla, para séries históricas contendo todos os anos, com ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, considerando-se regiões pluviometricamente homogêneas, para valores de precipitação média mensal.



(a) Séries com todos os anos (1960-1990)



(b) Séries com ocorrência de El Niño



(c) Série com ocorrência de La Niña

Figura 4.17 – Estações Alvo para regiões homogêneas de Precipitação Média Mensal

a) Simulação dos Modelos de Probabilidade

Para a validação dos melhores modelos de distribuição de probabilidade, utilizou-se como estações alvos as 12 estações pluviométricas da ANA, mostradas no Quadro 4.1 e Figuras 4.16 e 4.17.

A Tabela 4.7 apresenta os resultados da aplicação do teste Qui-quadrado na validação do modelo de distribuição de probabilidade Normal, considerado o modelo que apresentou melhor ajuste para valores de precipitação média anual, juntamente com o grupo ou região homogênea que cada uma das estações alvo pertence. Esta tabela também apresenta os ajustes referentes à série histórica completa (1960-1990), série histórica contendo anos com ocorrência de El Niño e anos com ocorrência de La Niña.

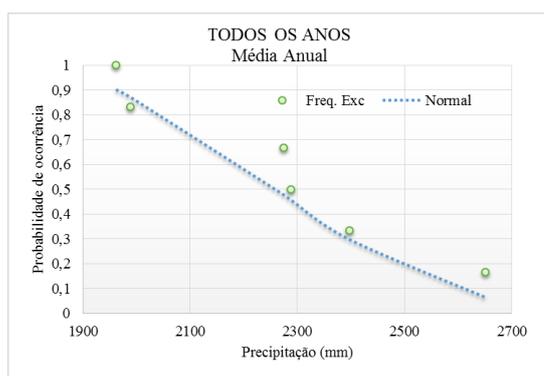
Analisando-se os dados de Precipitação Média Anual, mostrado na Tabela 4.7, observou-se que ocorreu aderência dos dados a todas as estações pluviométricas da ANA, pois apresentaram resultados da aplicação do teste inferior a 3,84 (para funções de distribuição normal).

Tabela 4.7 – Teste Qui-quadrado aplicado para avaliar o ajuste das frequências de excedência para as estações alvos: Precipitação Médias Anuais

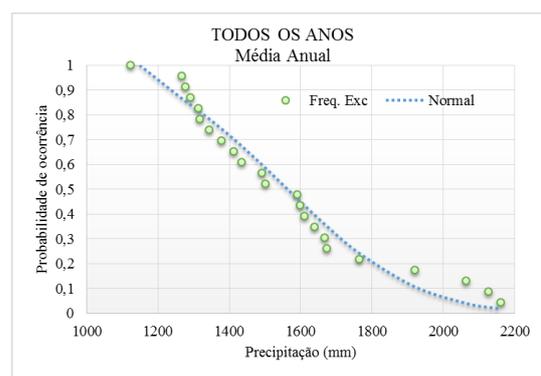
| Regiões | Todos os anos | | Anos de El Niño | | Anos de La Niña | |
|---------|----------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|----------|
| | Estações | χ^2 | Estações | χ^2 | Estações | χ^2 |
| A | Faz. Cumarú do Norte | 0,25 | Faz. Santa Elisa | 0,25 | Faz. Cumarú do Norte | 0,24 |
| | Faz. Santa Elisa | 0,51 | | | Faz. Santa Elisa | 0,002 |
| | São Felix do Xingú | 0,75 | | | São Felix do Xingú | 0,27 |
| B | Barragem conj.04 | 0,15 | São Felix do Xingú | 0,73 | M. Alegre do Xingú | 0,2 |
| | M. Alegre do Xingú | 0,36 | Faz. Cumarú do Norte | *** | | |
| | | | M. Alegre do Xingú | 0,33 | | |
| C | Cachoeira do Aruá | 0,27 | Cachoeira do Aruá | 0,3 | Barragem conj.04 | 0,28 |
| | | | Barragem conj.04 | 0,24 | Apalai | 0,21 |
| | | | Apalai | 0,29 | | |
| D | Vista Alegre | 0,2 | Vista Alegre | 0,4 | Vista Alegre | 0,31 |
| | Apalai | 0,33 | Emborai | 0,6 | Cachoeira do Aruá | 0,24 |
| E | Emborai | 0,74 | Faz. São Raimundo | 0,62 | Emborai | 0,45 |
| | Faz. São Raimundo | 0,57 | | | Faz. São Raimundo | 0,41 |
| F | Santa Isabel | 0,37 | Santa Isabel | 0,5 | PA-256 | 0,32 |
| | PA-256 | 0,71 | PA-256 | 0,45 | Santa Isabel | 0,32 |

*** Teste não realizado por falta de dados

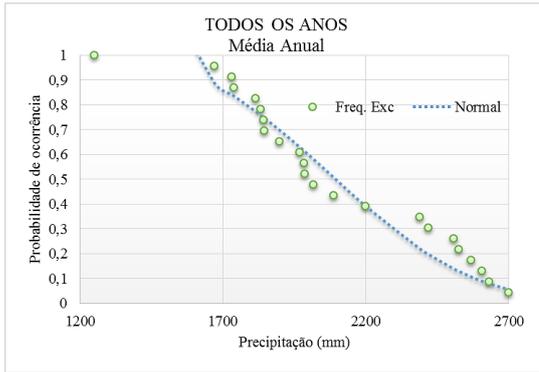
A Figura 4.18 apresenta a distribuição de probabilidade normal para as estações alvos correspondentes as regiões homogêneas de precipitação média anual para série histórica completa.



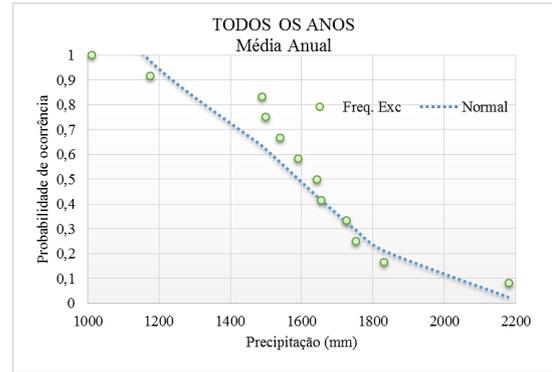
Região A: Faz. Cumarú do Norte



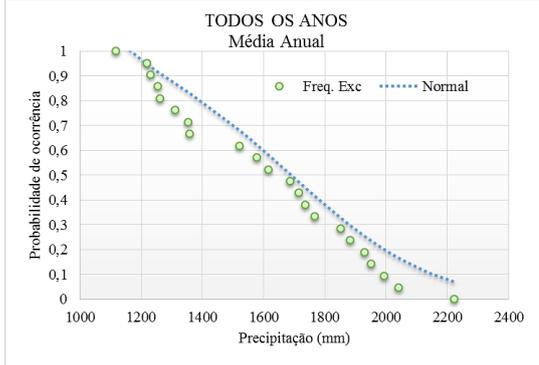
Região A: Faz. Santa Elisa



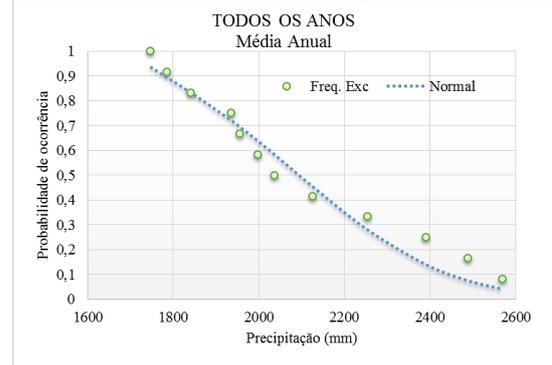
Região A: São Felix do Xingú



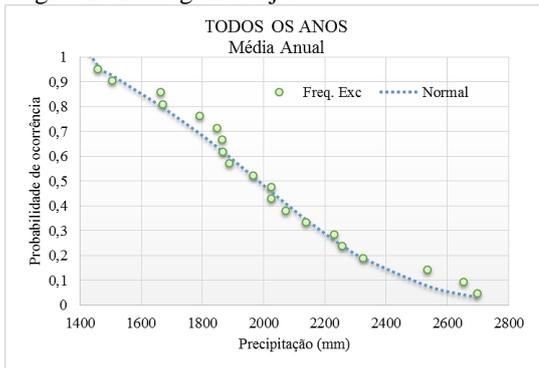
Região B: Monte Alegre do Xingú



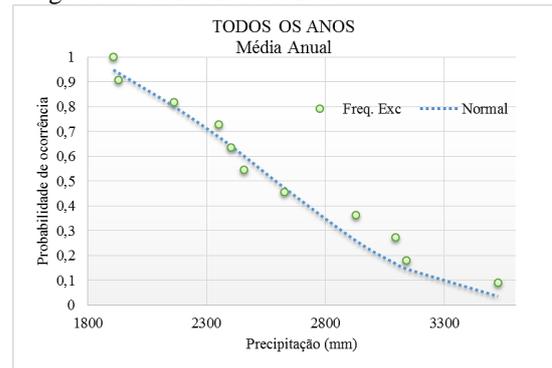
Região B: Barragem conj.4



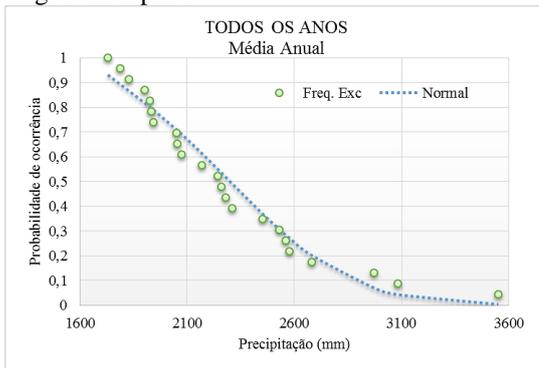
Região C: Cachoeira do Aruá



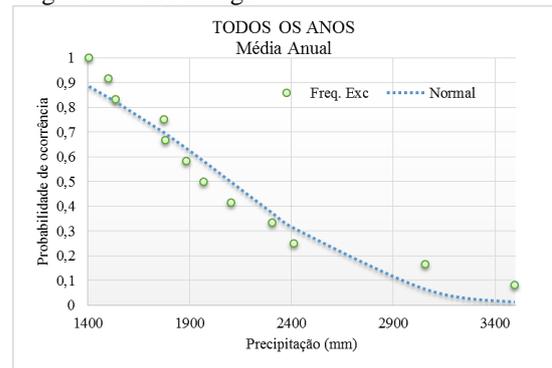
Região D: Apalai



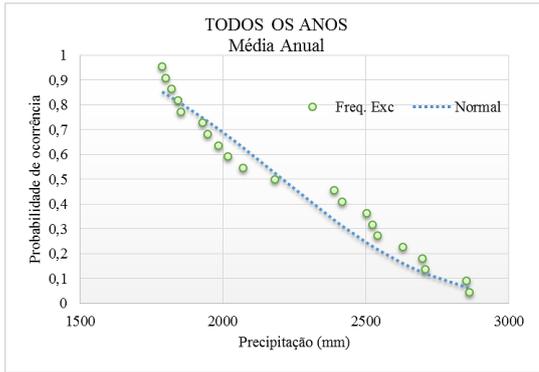
Região D: Vista Alegre



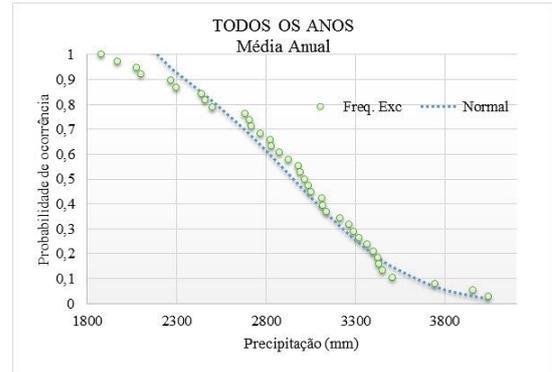
Região E: Emborai



Região E: Faz. São Raimundo



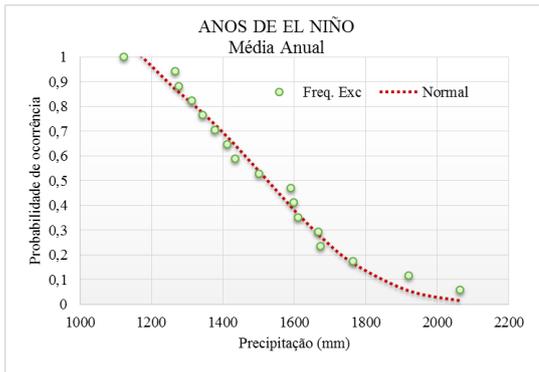
Região F: PA-256



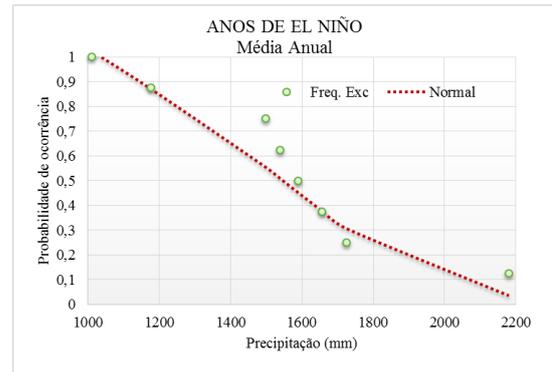
Região F: Santa Isabel

Figura 4.18 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por Estação Pluviométrica Alvo (ANA): Todos os anos

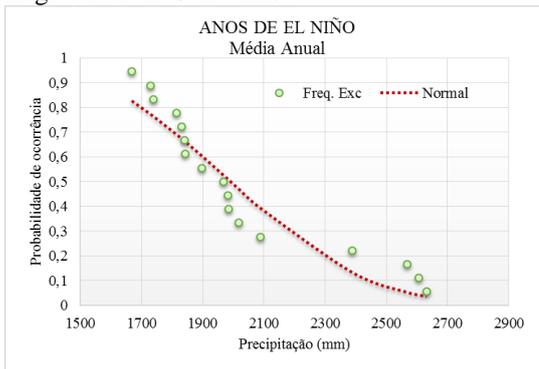
Estão apresentadas na Figura 4.19, as distribuições de probabilidade normal para as estações alvo correspondentes as regiões homogêneas de precipitação média anual para série histórica com anos de ocorrência do fenômeno El Niño.



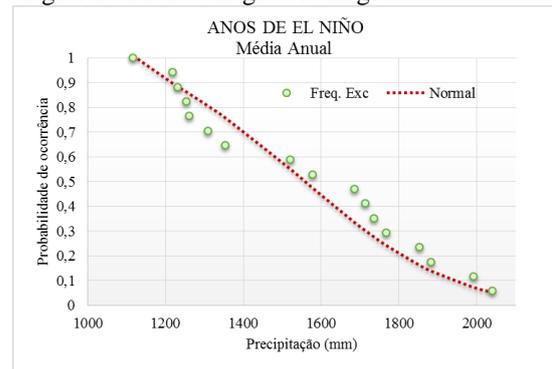
Região A: Faz. Santa Elisa



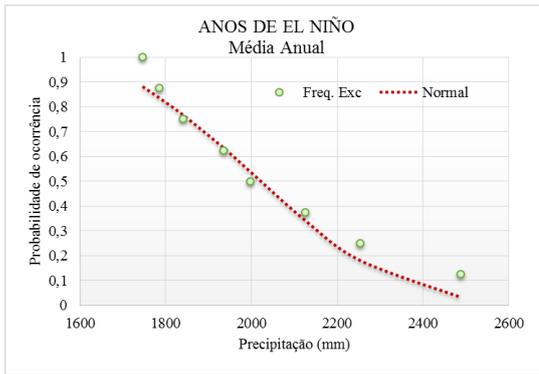
Região B: Monte Alegre do Xingú



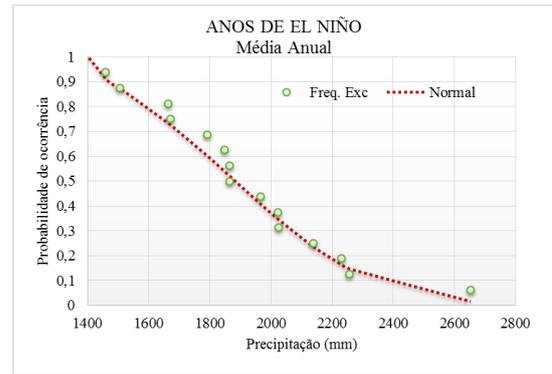
Região B: São Felix do Xingú



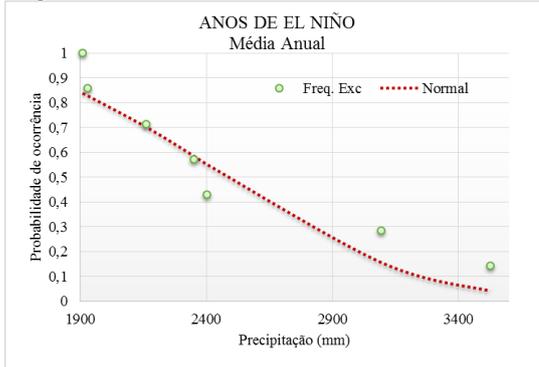
Região C: Barragem conj.4



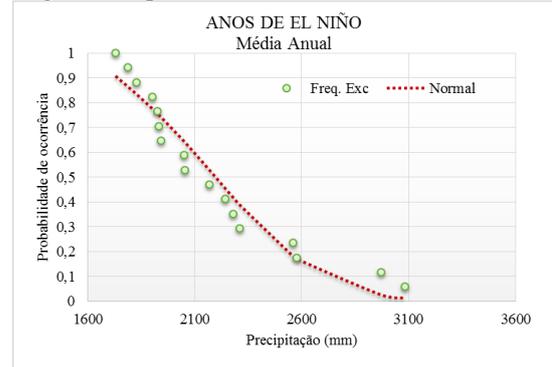
Região C: Cachoeira do Aruá



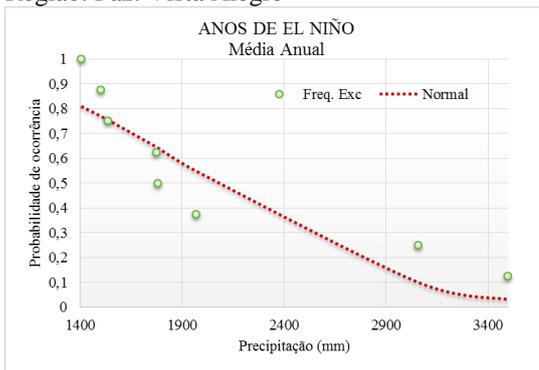
Região C: Apalai



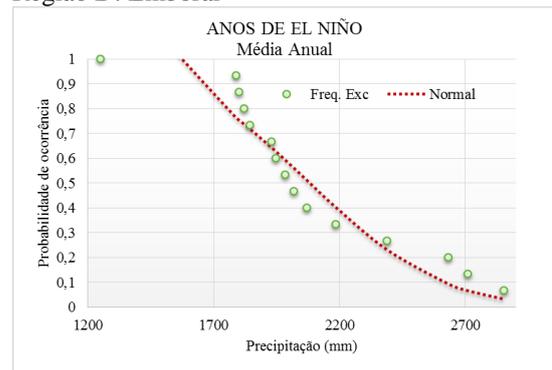
Região: Faz. Vista Alegre



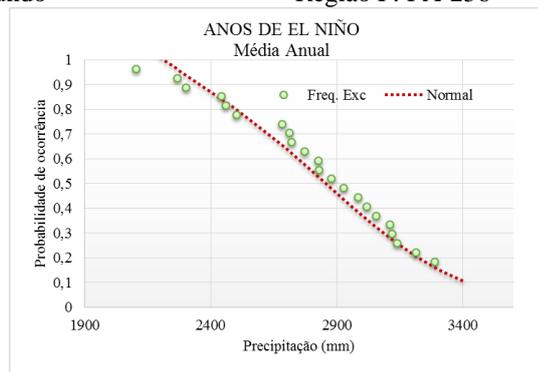
Região D: Emborai



Região E: Faz. São Raimundo



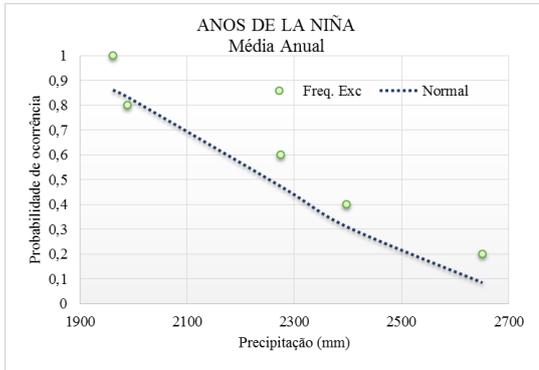
Região F: PA-256



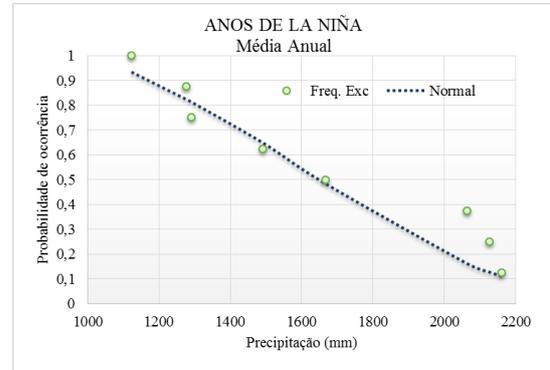
Região F: Santa Isabel

Figura 4.19 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por Estação Pluviométrica Alvo (ANA): Anos de El Niño

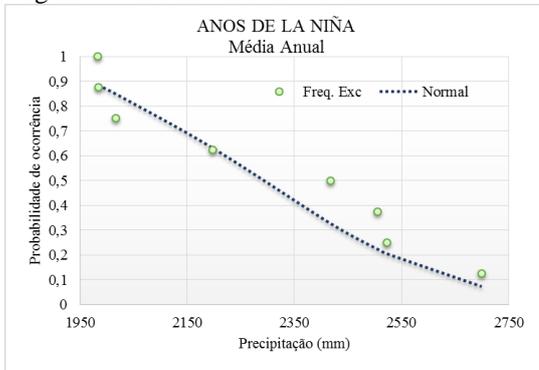
A Figura 4.20 apresenta as distribuições de probabilidade normal para as estações alvos correspondentes as regiões homogêneas de precipitação média anual para série histórica com anos de ocorrência do fenômeno La Niña.



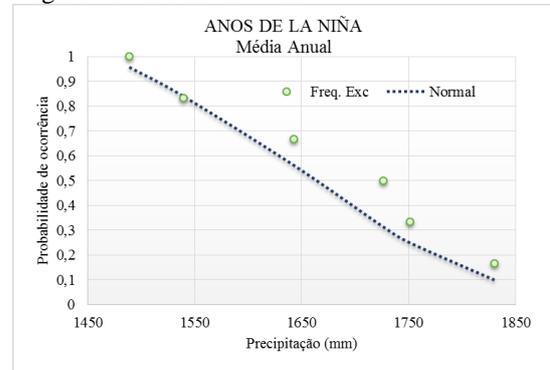
Região A: Faz. Cumarú do Norte



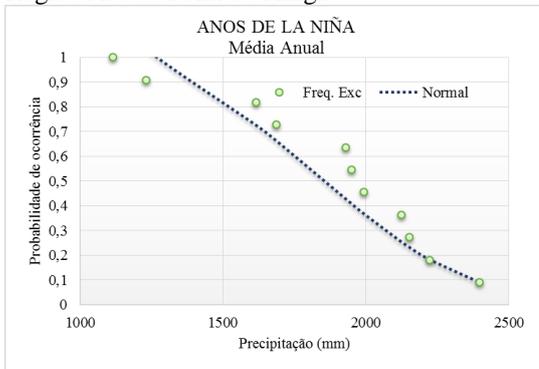
Região A: Faz. Santa Elisa



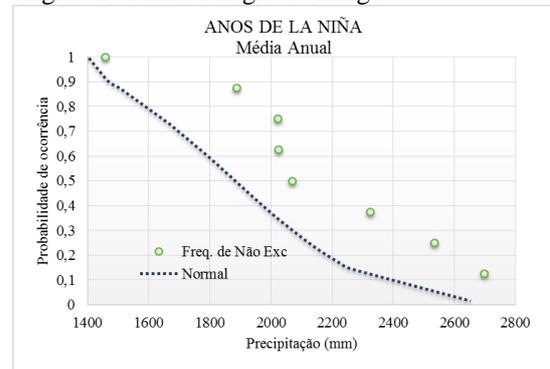
Região A: São Felix do Xingú



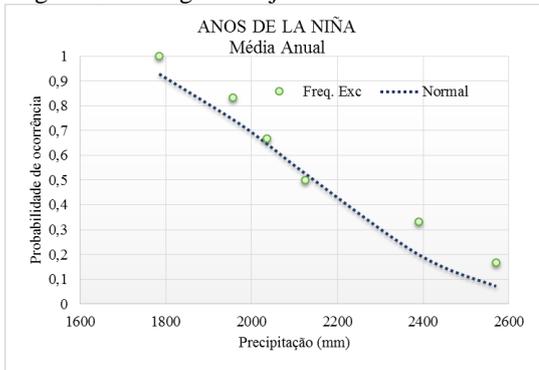
Região B: Monte Alegre do Xingú



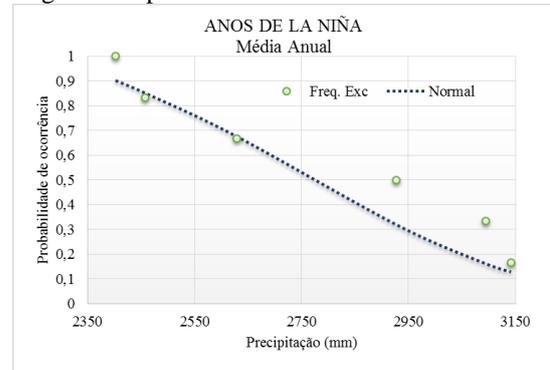
Região C: Barragem conj.4



Região C: Apalai



Região D: Cachoeira do Aruá



Região D: Vista Alegre

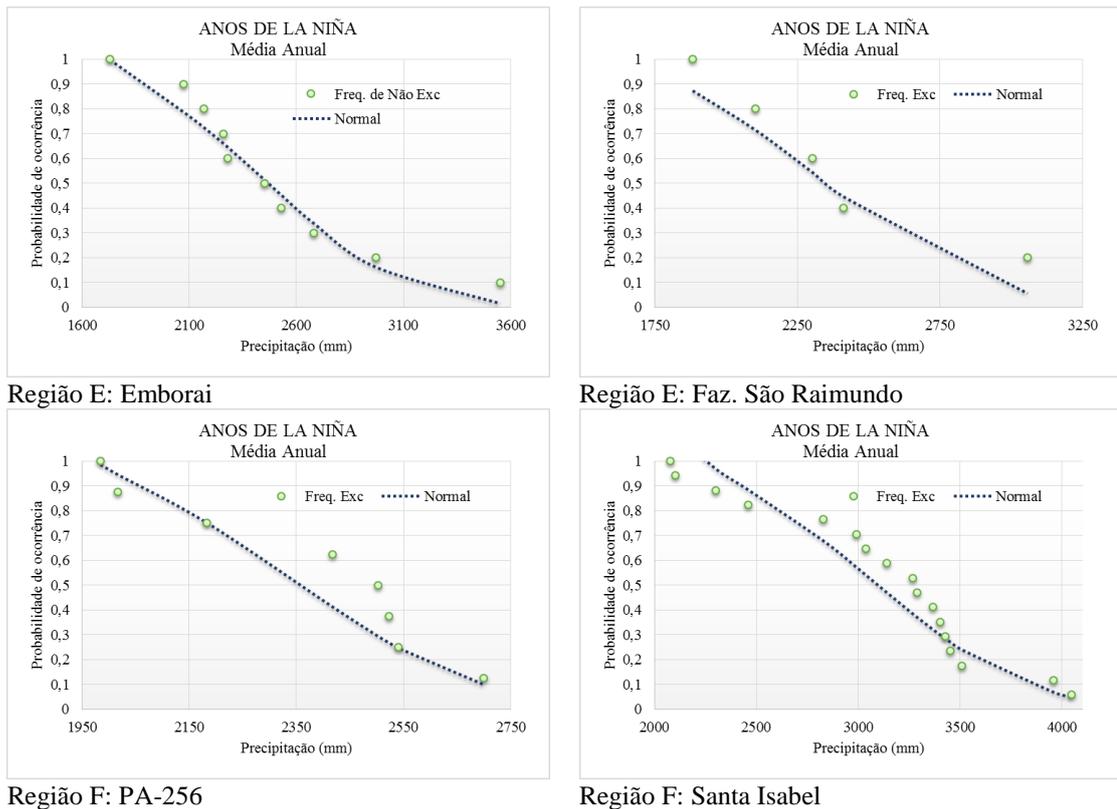


Figura 4.20 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por Estação Pluviométrica Alvo (ANA): Anos de La Niña

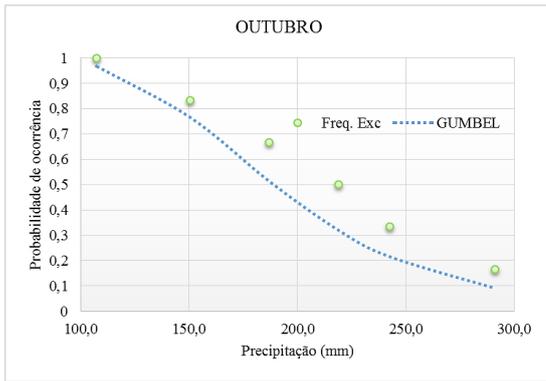
Para valores de precipitação média mensal, foi feita a simulação dos modelos de distribuição de probabilidade correspondente ao melhor modelo encontrado na etapa de calibração (Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7), neste caso a função de distribuição Gumbel. A Tabela 4.8 apresenta os valores da aplicação do teste X^2 na etapa de validação para valores de precipitação média mensal para cada mês do ano. Este teste foi realizado para as regiões com menores e maiores índices pluviométricos, região A e E/F, respectivamente.

Assim, analisando-se os dados de Precipitação Média Mensal, mostrado na Tabela 4.8, observou-se que ocorreu aderência dos dados a todas as estações pluviométricas alvo, pois apresentaram resultados da aplicação do teste inferior a 5,99 (limite para a função Gumbel).

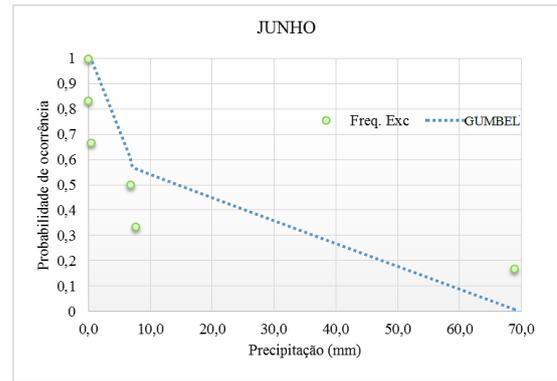
**Tabela 4.8 – Teste Qui-quadrado das frequências de excedência para as estações alvos:
Precipitação Média Mensal**

| Estações Pluviométricas | Região | Meses | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
| Todos os anos | | | | | | | | | | | | | |
| Faz. Cumarú do Norte | A | 0,29 | 0,42 | 0,80 | 0,54 | 0,40 | 3,78 | 1,12 | 0,45 | 0,43 | 0,29 | 0,51 | 0,47 |
| Santa Isabel | F | 2,53 | 0,25 | 0,71 | 0,26 | 1,90 | 0,57 | 0,16 | 0,12 | 0,27 | 0,16 | 0,30 | 0,40 |
| Emborai | | 1,36 | 0,42 | 0,35 | 0,14 | 0,33 | 0,22 | 0,29 | 0,27 | 0,23 | 0,70 | 0,93 | 0,72 |
| PA 256 | | 0,24 | 0,25 | 0,50 | 0,40 | 0,73 | 0,13 | 0,41 | 0,23 | 0,27 | 0,22 | 0,24 | 0,01 |
| Faz. São Raimundo | | 0,51 | 0,22 | 0,27 | 0,20 | 0,81 | 0,87 | 1,12 | 0,45 | 0,36 | 0,56 | 0,20 | 0,29 |
| Anos de El Niño | | | | | | | | | | | | | |
| Barragem conj.4 | A | 0,38 | 0,51 | 0,45 | 0,36 | 0,39 | 0,71 | 0,94 | 0,42 | 0,27 | 0,59 | 0,19 | 0,21 |
| Monte Alegre do Xingu | | 0,44 | 0,38 | 0,27 | 0,26 | 0,31 | 0,25 | 0,30 | 0,57 | 0,27 | 0,26 | 0,31 | 0,28 |
| Santa Isabel | D | 2,93 | 0,26 | 0,35 | 0,27 | 2,57 | 0,42 | 0,28 | 0,15 | 0,42 | 0,12 | 0,20 | 0,70 |
| Emborai | | 0,23 | 0,33 | 0,33 | 0,18 | 0,28 | 0,23 | 0,28 | 0,18 | 0,26 | 0,39 | 0,71 | 0,39 |
| PA 256 | | 0,53 | 0,25 | 0,74 | 0,36 | 0,79 | 0,62 | 0,25 | 0,22 | 0,18 | 0,26 | 0,25 | 0,20 |
| Faz. São Raimundo | | 0,49 | 0,23 | 0,34 | 0,37 | 0,54 | 1,51 | 0,60 | 0,35 | 0,38 | 0,59 | 0,21 | 0,49 |
| Anos de La Niña | | | | | | | | | | | | | |
| São Felix do Xingú | A | 0,24 | 0,51 | 0,41 | 0,41 | 0,33 | 0,30 | 0,32 | 0,38 | 0,39 | 0,66 | 0,49 | 0,24 |
| Faz. Cumarú do Norte | | 0,45 | 0,39 | 0,94 | 0,57 | 0,40 | 3,41 | 0,74 | 0,47 | 0,38 | 0,28 | 0,41 | 0,50 |
| Santa Isabel | E | 0,17 | 0,49 | 0,28 | 0,21 | 2,30 | 0,38 | 0,26 | 0,15 | 0,27 | 0,48 | 0,31 | 0,40 |
| Emborai | | 0,68 | 0,54 | 0,20 | 0,38 | 0,25 | 0,23 | 0,40 | 0,36 | 0,29 | 0,56 | 0,67 | 0,40 |
| PA 256 | | 0,26 | 0,51 | 0,32 | 0,41 | 0,20 | 0,38 | 0,39 | 0,54 | 0,39 | 0,66 | 0,49 | 0,24 |

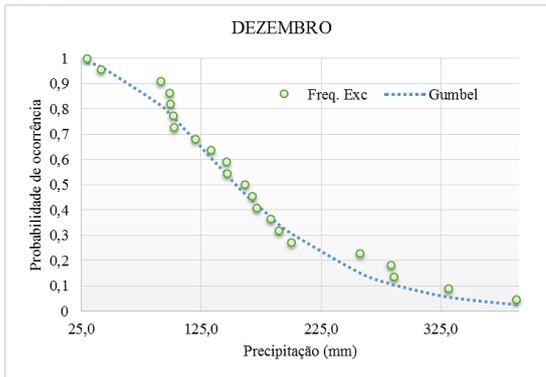
A Figura 4.21 apresenta os ajustes das funções de distribuição para as regiões A e F, para série histórica completa. Para a Região A, a maior aderência foi observada no mês de outubro, e a menor no mês de junho, ambas na estação Fazenda Cumarú do Norte. Já para a Região F, a estação que apresentou melhor ajuste foi a estação PA-256. Os restantes dos gráficos das simulações podem ser observados no APÊNDICE III.



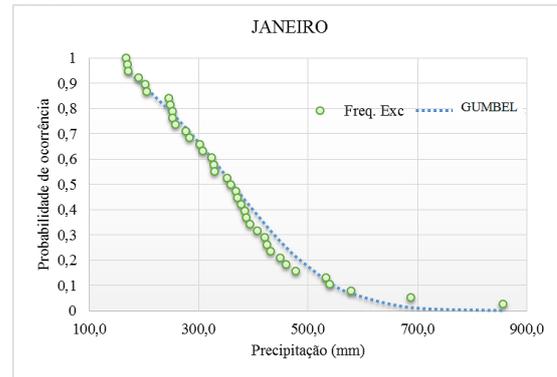
(a) Região A: Maior aderência– Faz. Cumarú do Norte



(b) Região A: Menor aderência – Faz. Cumarú do Norte



(c) Região F: Maior aderência – PA-256



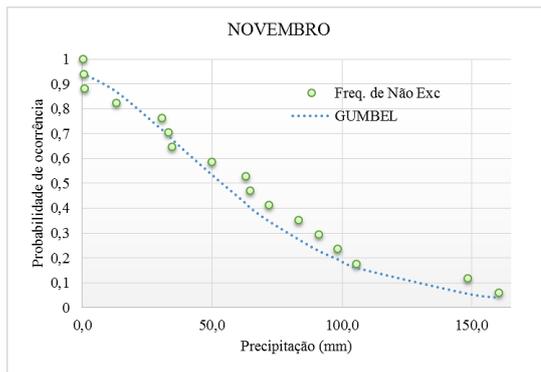
(d) Região F: Menor aderência – Santa Isabel

Figura 4.21 – Ajuste das frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade das Estações Pluviométricas: Todos os anos

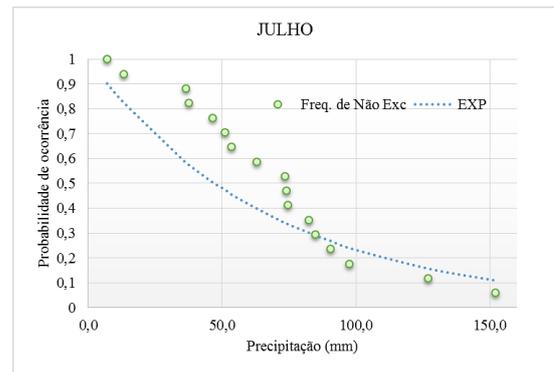
A Figura 4.22 apresenta os ajustes das funções de distribuição para as regiões A e E, para série histórica com ocorrência do fenômeno El Niño. Para a Região A, tanto a menor aderência às frequências de excedência quanto a maior aderência foram encontrados para estação Barragem conj.4. Assim, observou-se uma maior aderência no mês de novembro, e o mês que apresentou menor aderência foi o mês de Julho.

Assim como para série completa, para série com El Niño para a Região D, a estação que apresentou maior aderência aos dados foi a estação Santa Isabel (mês de outubro). Nessa mesma região, também se pode observar a estação que não apresentou um bom ajuste das frequências de excedência, ou seja, a estação Santa Isabel (mês de janeiro).

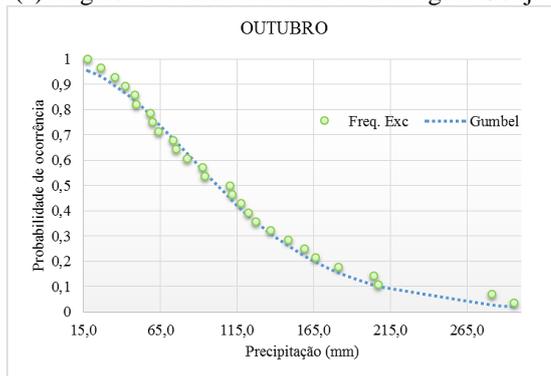
Pode-se observar no APÊNDICE III o restante dos gráficos das simulações.



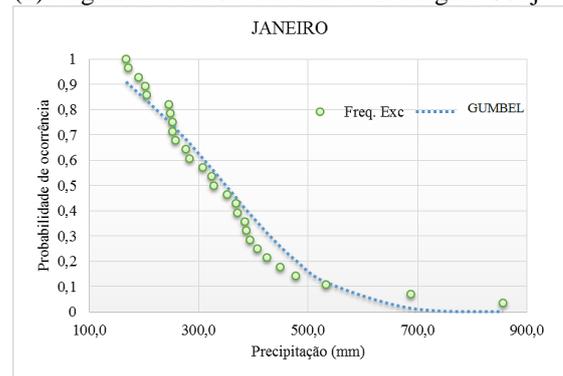
(a) Região A: Maior aderência – Barragem Conj.4



(b) Região A: Menor aderência – Barragem Conj.4



(c) Região D: Maior aderência – Santa Isabel



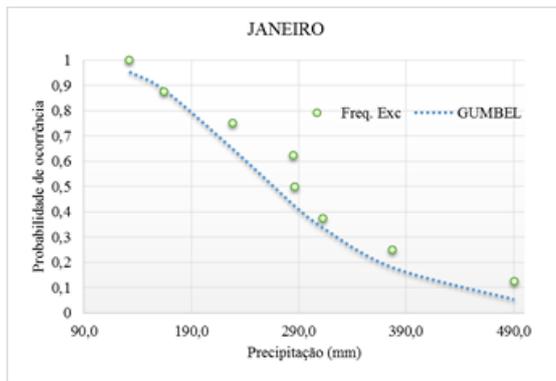
(d) Região D: Menor aderência – Santa Isabel

Figura 4.22 – Ajustes das frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade das Estações Pluviométricas: Anos de El Niño

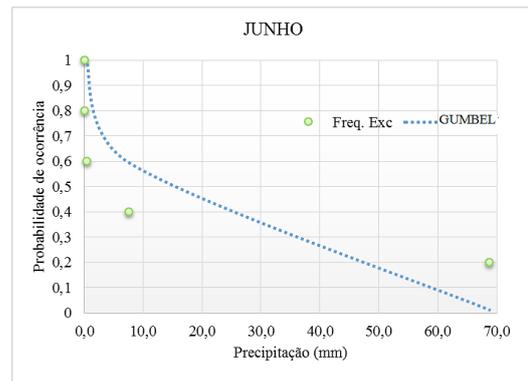
Para série histórica com ocorrência do fenômeno La Niña, estão apresentadas na Figura 4.23 os ajustes das funções de distribuição para as regiões A e E, regiões com menores e maiores índices pluviométricos, respectivamente.

Para a Região A, em séries com ocorrência de La Niña, os melhores ajustes às frequências de excedência foram encontrados na simulação da estação alvo São Felix do Xingú em Janeiro, porém observou-se na estação alvo Fazenda Cumarú do Norte, no mês de junho, um menor ajuste às frequências de excedência. Para a Região E a estação que apresentou maior e menor aderência as frequências de excedência foi a estação Santa Isabel, nos meses de agosto e maio, respectivamente.

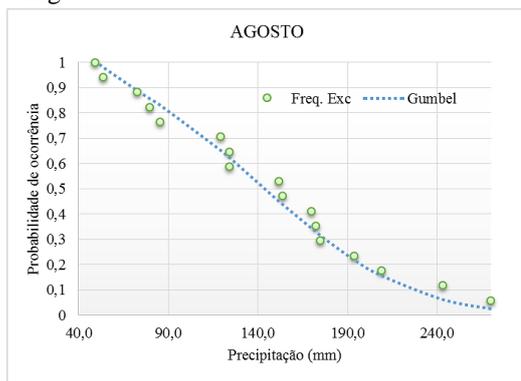
Os outros gráficos das simulações dos modelos probabilísticos podem ser observados no APÊNDICE III.



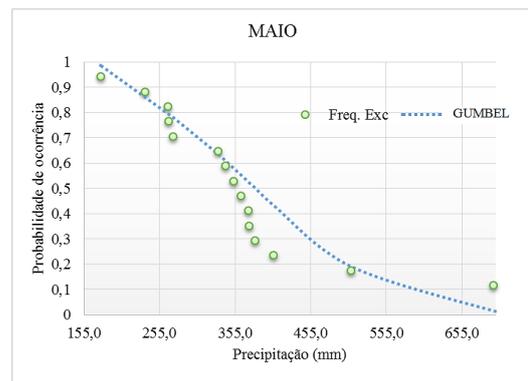
(a) Região A: Maior aderência – São Felix do Xingú



(b) Região A: Menor aderência – Faz. Cumará do Norte



(c) Região E: Maior aderência – Santa Isabel



(d) Região E: Menor aderência – Santa Isabel

Figura 4.23 – Ajustes das frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade das Estações Pluviométricas: Anos de La Niña

Os resultados do teste de ajustamento demonstraram que a metodologia adotada pode ser uma boa opção quando utilizada como ferramenta numérica para determinação de probabilidade de precipitações médias anuais e mensais em locais desprovidos de estações pluviométricas no estado do Pará.

4.3.2. Regressão Múltipla

Para a modelagem das precipitações via regressão múltipla, apresentam-se, a seguir, os processos de calibração e validação dos modelos para estimativas de alturas médias mensais e anuais.

4.3.2.1. Calibração

Os modelos de regressão múltipla Linear, Potência e segundo modelo de Potência foram aplicados, buscando-se o que melhor estimasse as precipitações médias mensais e anuais por regiões homogêneas, considerando-se a série completa com 31 anos (1960-1990), a série com anos de El Niño e a série com anos de La Niña.

- **Calibração Série Completa**

A Tabela 4.9 apresenta os valores médios do erro quadrático médio percentual por região homogênea para precipitações médias anuais e mensais estimadas através dos modelos de regressão múltipla analisados no presente trabalho para série completa.

Tabela 4.9 – Média do Erro Quadrático Relativo Percentual: Série Completa

| Regiões | P _{MA} | | | P _{MM} | | |
|---------------|-----------------|-------------------------|-------------|-----------------|-------------------------|-------------|
| | Potência | 2 ^o Potência | Linear | Potência | 2 ^o Potência | Linear |
| A | 2,78 | 5,29 | 3,07 | 6,22 | 12,1 | 6,40 |
| B | 2,23 | 3,15 | 2,19 | 4,41 | 44,2 | 4,43 |
| C | 2,25 | 2,44 | 2,17 | 4,28 | 39,9 | 4,10 |
| D | 3,38 | 7,25 | 2,9 | 4,55 | 9,68 | 4,64 |
| E | 1,64 | 15,7 | 1,72 | 1,89 | 98,0 | 1,50 |
| F | 1,84 | 5,69 | 1,84 | 2,09 | 117 | 2,18 |
| Média: | 2,35 | 6,58 | 2,31 | 3,91 | 53,48 | 3,87 |

Na Tabela 4.9, pode-se observar que o modelo que melhor estimou as precipitações médias anuais e mensais, foi o modelo Linear para todas as regiões. Os valores de erros percentuais encontrados com a utilização do modelo linear estão em um limite considerável, visto que em alguns trabalhos já realizados, como o Cruz *et al.* (2013) esses erros variam de -7,5% a 5,5%.

A Tabela 4.10 e a Figura 4.24 apresentam a identificação e a localização dos pontos de monitoramento que apresentaram os maiores e menores erros em função das regiões homogêneas para precipitações médias anuais para todos os anos.

O menor erro percentual foi observado no ponto C_22, com 0,01%, como mostrado na Tabela 4.10 e na Figura 4.24, o que garantiu um bom resultado na simulação, já o maior erro percentual foi observado no ponto C_405 (21,58%), o que ainda é considerado um resultado satisfatório.

Assim, para a etapa de validação para estimativa de precipitações médias anuais e mensais foi usado o modelo Linear; para série completa (1960-1990).

Tabela 4.10 – Identificação dos pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Anual: Todos os anos

| Região | ID | LON | LAT | Alt | Precipitação (mm) | Precipitação Simulada | E(%) | |
|--------|-------|--------|-------|-------|-------------------|-----------------------|-------|-----|
| A | C_405 | -52,25 | -9,25 | 300 | 1887,49 | 1480,24 | 21,58 | MAX |
| | C_407 | -51,25 | -9,25 | 400 | 1832,57 | 1833,00 | 0,02 | MIN |
| B | C_257 | -54,25 | -5,25 | 300 | 2080,35 | 1852,19 | 10,97 | MAX |
| | C_22 | -57,75 | 0,75 | 300 | 2028,50 | 2028,26 | 0,01 | MIN |
| C | C_117 | -53,75 | -1,75 | 0,001 | 1978,66 | 2126,50 | 7,47 | MAX |
| | C_196 | -55,25 | -3,75 | 100 | 2100,65 | 2100,51 | 0,01 | MIN |
| D | C_402 | -53,75 | -9,25 | 350 | 2120,21 | 2486,39 | 17,27 | MAX |
| | C_53 | -55,25 | -0,25 | 250 | 2188,03 | 2189,12 | 0,05 | MIN |
| E | C_145 | -50,25 | -2,25 | 0,001 | 2488,12 | 2285,97 | 8,12 | MAX |
| | C_186 | -50,25 | -3,25 | 50 | 2310,71 | 2311,08 | 0,02 | MIN |
| F | C_59 | -51,25 | -0,25 | 0,001 | 2515,26 | 2845,39 | 13,13 | MAX |
| | C_79 | -50,25 | -0,75 | 0,001 | 2777,16 | 2780,96 | 0,14 | MIN |

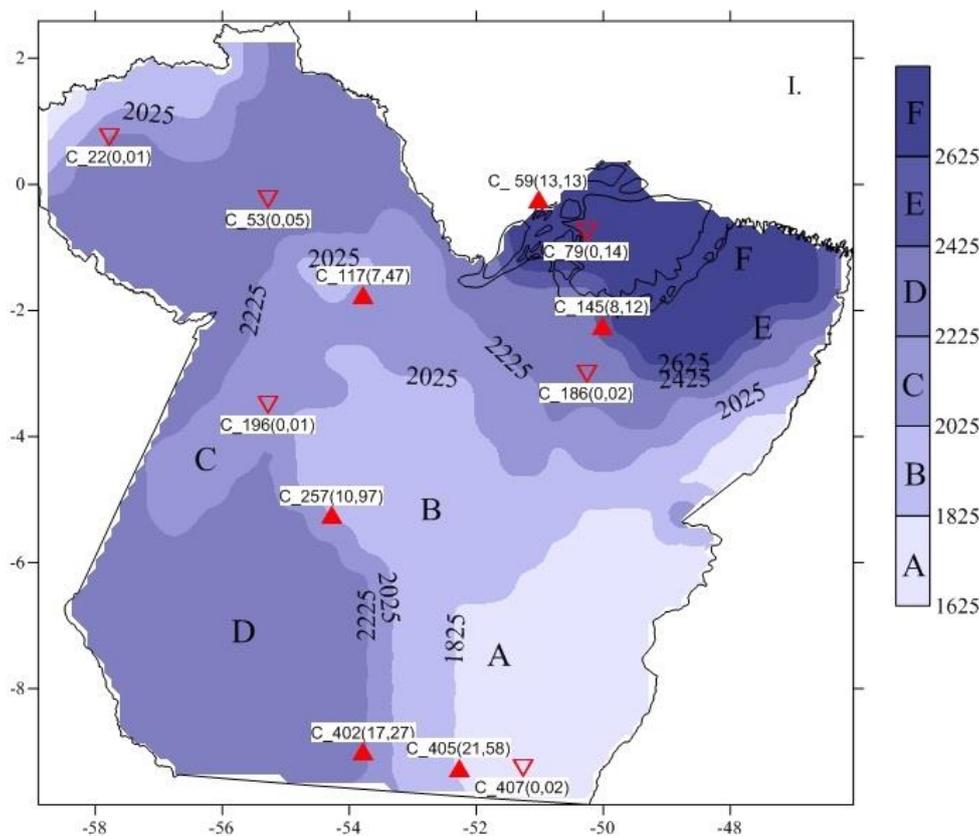


Figura 4.24 – Maiores e menores erros para valores de Precipitação Média Anual: Todos os anos

A Tabela 4.11 mostra a identificação, com a localização dos pontos de monitoramento que apresentaram os maiores e menores erros em função das regiões homogêneas para precipitações médias mensais para todos os anos. Além disso, apresenta o valor do erro percentual e o modelo correspondente. Observou-se que o ponto C_281 apresentou o menor erro percentual, com 0,0004%, como mostrado na

Tabela 4.11 e na Figura 4.25, o que garantiu um resultado bom para a simulação, já o maior erro percentual foi observado no ponto C_339 (96,7%). Esse erro, muito alto, foi considerado um *outlier* dos erros considerados na calibração das regressões múltiplas, assim como o segundo maior erro no ponto C_119, foi igual a 88,87%, seguido do erro 31,8% do C_374.

Notou-se que quando comparada as médias anuais, as médias mensais apresentam maiores valores de erros percentuais.

Tabela 4.11 – Identificação dos pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Mensal: Todos os anos

| Região | ID | LON | LAT | ALT | Precipitação (mm) | Precipitação Simulada | E(%) | |
|--------|-------|--------|-------|-------|-------------------|-----------------------|--------|-----|
| A | C_339 | -49,25 | -8,25 | 150 | 148,00 | 291,12 | 96,7 | MAX |
| | C_359 | -50,75 | -7,75 | 400 | 148,44 | 148,28 | 0,11 | MIN |
| B | C_366 | -51,75 | -9,75 | 400 | 153,88 | 113,10 | 26,5 | MAX |
| | C_281 | -51,75 | -5,75 | 150 | 160,78 | 160,78 | 0,0004 | MIN |
| C | C_374 | -51,75 | -8,25 | 500 | 154,44 | 105,33 | 31,8 | MAX |
| | C_365 | -56,25 | -8,25 | 500 | 196,61 | 196,47 | 0,07 | MIN |
| D | C_287 | -48,75 | -5,75 | 200 | 133,45 | 167,45 | 25,47 | MAX |
| | C_266 | -49,75 | -5,25 | 200 | 151,20 | 151,26 | 0,04 | MIN |
| E | C_119 | -47,75 | -4,25 | 300 | 130,07 | 245,67 | 88,87 | MAX |
| | C_89 | -54,75 | -5,25 | 300 | 175,93 | 175,97 | 0,02 | MIN |
| F | C_63 | -49,25 | -0,25 | 0,001 | 259,00 | 180,99 | 30,12 | MAX |
| | C_104 | 48,75 | 1,25 | 0,001 | 220,04 | 219,79 | 0,11 | MIN |

A Figura 4.25 é similar à Figura 4.24, mas apresenta os maiores e menores erros para precipitações médias mensais. Os erros apresentados são do modelo Linear para precipitações médias mensais.

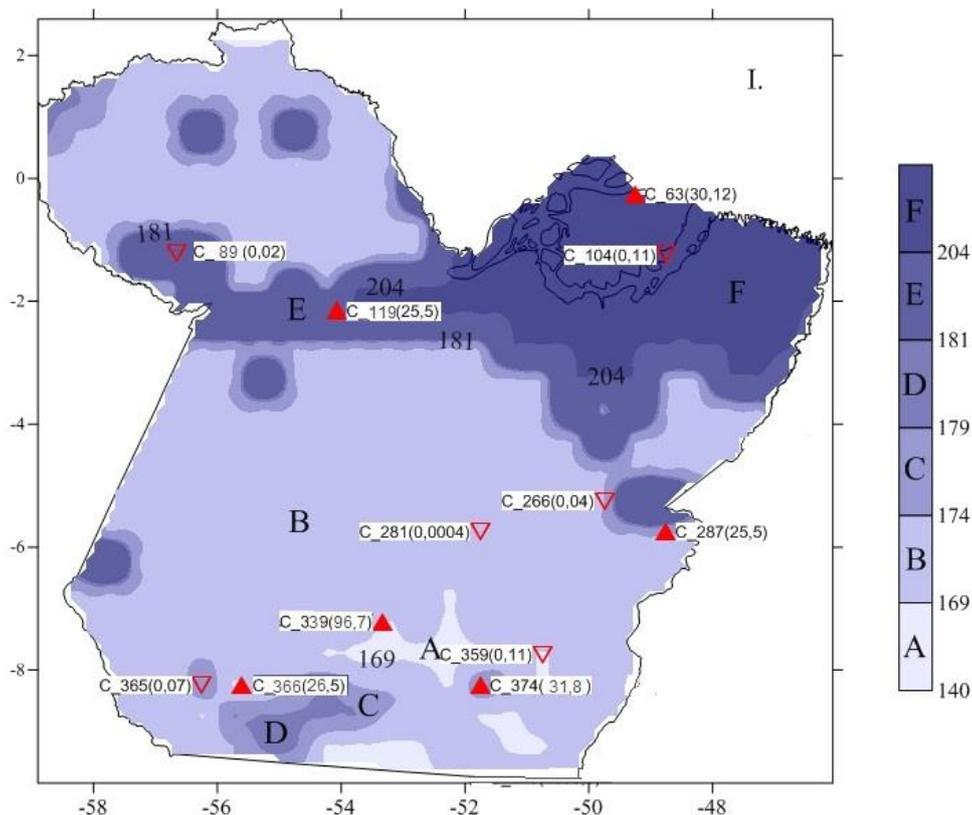


Figura 4.25 - Maiores e menores erros para valores de Precipitação Média Mensal: Todos os anos

- Calibração Série El Niño

Tabela 4.12 apresenta os valores médios do erro quadrático médio percentual por grupo ou região homogênea para precipitações médias anuais e mensais estimadas através dos modelos de regressão múltipla analisados no presente trabalho para a série El Niño.

Tabela 4.12 - Média do Erro Quadrático Relativo Percentual: El Niño

| Regiões | P _{MA} | | | P _{MM} | | |
|--------------|-----------------|-------------|-------------|-----------------|--------------|-------------|
| | Potência | 2° Potência | Linear | Potência | 2° Potência | Linear |
| A | 2,40 | 4,90 | 2,81 | 4,63 | 35,18 | 4,80 |
| B | 3,16 | 3,19 | 3,16 | 4,15 | 34,25 | 3,95 |
| C | 3,38 | 8,30 | 3,00 | 4,71 | 10,09 | 4,84 |
| D | 4,58 | 5,63 | 4,7 | 3,67 | 19,46 | 3,69 |
| E | 2,35 | 7,81 | 2,4 | --- | --- | --- |
| F | 1,68 | 9,89 | 1,71 | --- | --- | --- |
| Média | 2,93 | 6,62 | 2,96 | 4,29 | 24,75 | 4,32 |

Tabela 4.12, pode-se observar que para valores de precipitação de média anual e mensal, o modelo do tipo potência apresentou menores valores de erros percentuais.

Assim, para a etapa de validação para estimativa de precipitações médias anuais e mensais será usado o modelo do tipo Potência para série El Niño.

A Tabela 4.13 apresenta também a identificação, com a localização dos pontos de monitoramento que apresentaram os maiores e menores erros em função das regiões homogêneas para precipitações médias anuais para anos com ocorrência do fenômeno El Niño.

Para médias anuais de precipitação, o menor erro percentual foi observado no ponto C_261, com 0,001%, o que garantiu um resultado bom para a simulação. O maior erro percentual foi observado no ponto C_96 com 23,74%, o que ainda é considerado um bom resultado (Tabela 4.13).

Tabela 4.13 - Identificação dos pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Anual: Anos de El Niño

| Região | ID | LON | LAT | Alt | Precipitação (mm) | Precipitação Simulada | E(%) | |
|--------|-------|--------|-------|-------|-------------------|-----------------------|-------|-----|
| A | C_263 | -51,25 | -5,25 | 150 | 1846,37 | 1570,73 | 14,93 | MAX |
| | C_361 | -49,75 | -7,75 | 150 | 1704,28 | 1704,20 | 0,005 | MIN |
| B | C_304 | -50,25 | -6,25 | 400 | 1734,05 | 2067,44 | 19,23 | MAX |
| | C_261 | 52,25 | 5,25 | 200 | 1881,45 | 1881,38 | 0,001 | MIN |
| C | C_346 | -57,25 | -7,75 | 300 | 2376,47 | 1927,48 | 18,89 | MAX |
| | C_398 | 55,75 | 9,25 | 250 | 2238,84 | 2238,22 | 0,030 | MIN |
| D | C_140 | 52,75 | 2,25 | 0,001 | 2067,74 | 2257,63 | 9,180 | MAX |
| | C_48 | -57,75 | -0,25 | 200 | 2258,67 | 2259,08 | 0,018 | MIN |
| E | C_96 | -48,25 | -5,75 | 100 | 1450,00 | 1794,4 | 23,74 | MAX |
| | C_83 | -54,75 | -1,75 | 0,001 | 1941,14 | 1940,96 | 0,009 | MIN |
| F | C_59 | -51,25 | -0,25 | 0,001 | 2486,41 | 2766,87 | 11,28 | MAX |
| | C_168 | -48,75 | -2,75 | 0,001 | 2500,96 | 2500,80 | 0,007 | MIN |

A Figura 4.26 apresenta a localização dos pontos de monitoramento que apresentaram os maiores e menores erros em função das regiões homogêneas para precipitações médias anuais para anos de El Niño.

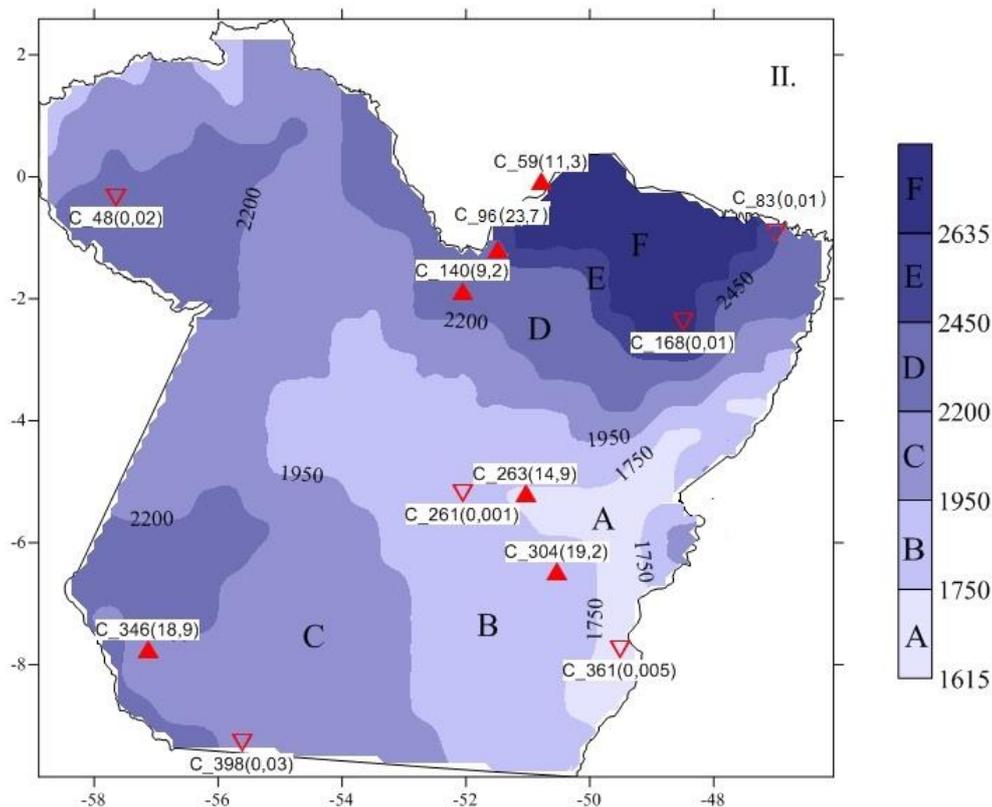


Figura 4.26 - Pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Anual: Série de El Niño

A Tabela 4.14 é similar à Tabela 4.13, porém apresenta a identificação, com a localização dos pontos de monitoramento que apresentaram os maiores e menores erros em função das regiões homogêneas para precipitações médias mensais, assim como a Figura 4.27 é similar à Figura 4.26, que apresenta os maiores e menores erros para precipitações médias mensais.

Observou-se que o ponto C_192 (Região D) apresentou o menor erro percentual, com 0,0004%, como mostrado na Tabela 4.14 e na Figura 4.27, o que representa um resultado bom para a simulação, já o maior erro percentual foi observado no ponto C_255 (98,58%), o qual foi muito alto, sendo considerado um *outlier* dos erros da calibração das regressões múltiplas, já o segundo maior erro no ponto C_79, foi igual a 39,67%.

Assim como para as séries com todos os anos, para séries com ocorrência de El Niño, notou-se que quando comparada as médias anuais, as médias mensais apresentam maiores valores de erros percentuais.

Tabela 4.14 - Identificação dos pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Mensal: Anos de El Niño

| Região | ID | LON | LAT | Alt | Precipitação (mm) | Precipitação Simulada | E(%) | |
|--------|-------|--------|-------|-------|-------------------|-----------------------|-------|-----|
| A | C_307 | -48,75 | -6,25 | 200 | 127,13 | 162,23 | 27,61 | MAX |
| | C_253 | -56,25 | -5,25 | 200 | 179,00 | 179,09 | 0,053 | MIN |
| B | C_255 | -55,25 | -5,25 | 200 | 176,08 | 349,66 | 98,58 | MAX |
| | C_259 | -54,25 | -5,25 | 200 | 175,46 | 175,23 | 0,05 | MIN |
| C | C_109 | -55,25 | -2,25 | 200 | 159,08 | 180,2 | 26,5 | MAX |
| | C_192 | -47,25 | -3,25 | 50 | 153,87 | 153,84 | 0,019 | MIN |
| D | C_79 | -50,25 | -0,75 | 0,001 | 211,49 | 127,59 | 39,67 | MAX |
| | C_104 | -48,75 | -1,25 | 0,001 | 227,96 | 227,39 | 0,25 | MIN |

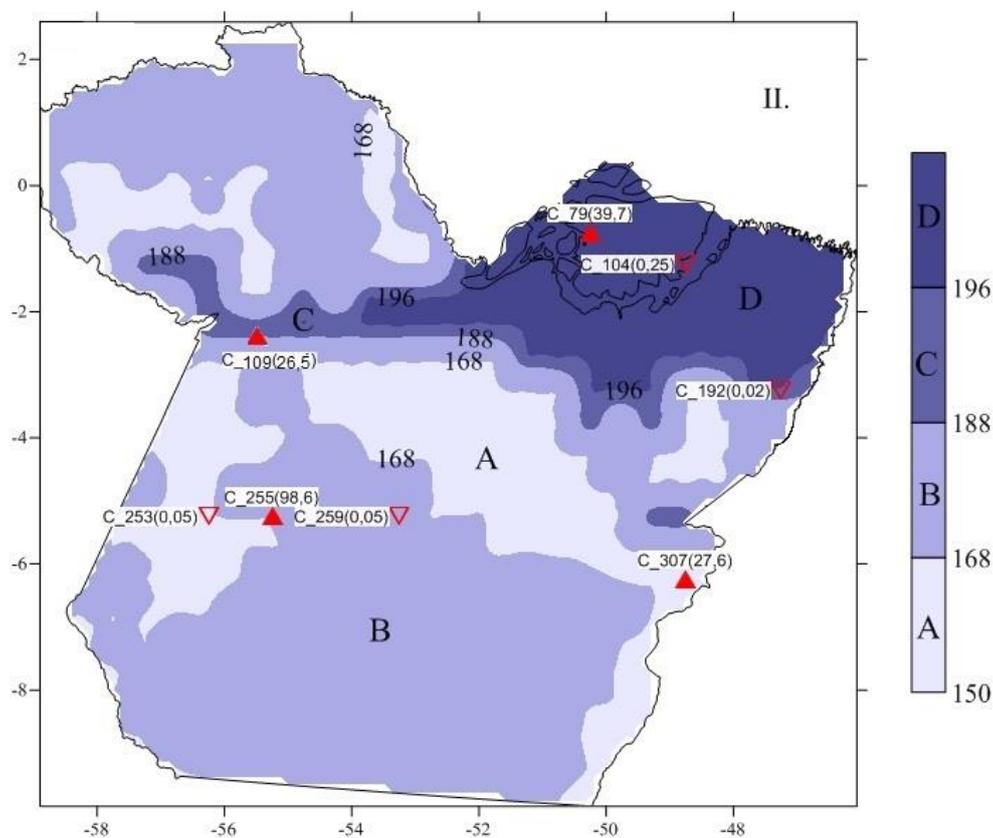


Figura 4.27 - Pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Mensal: Série de El Niño

- **Calibração Série La Niña**

A Tabela 4.15 apresenta os valores médios do erro quadrático médio percentual por região homogênea para precipitações médias anuais e mensais estimadas através dos modelos de regressão múltipla analisados no presente trabalho para a série La Niña.

Tabela 4.15 - Média do Erro Quadrático Relativo Percentual: La Niña

| Região | P _{MA} | | | P _{MM} | | |
|--------------|-----------------|-------------------------|-------------|-----------------|-------------------------|-------------|
| | Potência | 2 ^o Potência | Linear | Potência | 2 ^o Potência | Linear |
| A | 2,15 | 2,47 | 2,21 | 5,12 | 6,96 | 4,96 |
| B | 3,24 | 5,74 | 3,07 | 4,89 | 9,04 | 5,15 |
| C | 2,90 | 2,94 | 2,87 | 4,74 | 28,64 | 4,64 |
| D | 2,26 | 2,33 | 2,26 | 5,09 | 50,01 | 5,05 |
| E | 2,40 | 5,90 | 2,38 | 4,81 | 8,93 | 4,79 |
| F | 2,53 | 8,20 | 2,63 | --- | --- | --- |
| Média | 2,58 | 4,6 | 2,57 | 4,93 | 20,72 | 4,92 |

Através da Tabela 4.15, pode-se observar que para valores de precipitação média anual e mensal, o modelo linear apresentou menores valores de erros percentuais. A Tabela 4.16 e a Figura 4.28 apresenta a identificação dos pontos e a localização dos pontos de monitoramento que apresentaram os maiores e menores erros em função das regiões homogêneas para precipitações médias anuais para anos de La Niña.

Tabela 4.16 - Identificação dos pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Anual: Anos de La Niña

| Região | ID | LON | LAT | Alt | Precipitação (mm) | Precipitação Simulada | E(%) | |
|--------|-------|--------|-------|-------|-------------------|-----------------------|------|-----|
| A | C_373 | -52,25 | -8,25 | 400 | 2032,30 | 1729,75 | 14,9 | MAX |
| | C_12 | 57,25 | 1,25 | 150 | 2030,73 | 2030,52 | 0,01 | MIN |
| B | C_401 | -54,25 | -9,25 | 350 | 2239,66 | 1956,68 | 12,6 | MAX |
| | C_235 | -55,75 | -4,75 | 300 | 2136,87 | 2136,74 | 0,01 | MIN |
| C | C_25 | 56,25 | 0,75 | 0,001 | 2135,41 | 2293,16 | 7,39 | MAX |
| | C_384 | -55,25 | -8,75 | 500 | 2319,98 | 2320,85 | 0,04 | MIN |
| D | C_207 | -49,75 | -3,75 | 200 | 2492,04 | 2265,24 | 9,10 | MAX |
| | C_124 | -53,25 | -2,75 | 100 | 2267,42 | 2267,09 | 0,01 | MIN |
| E | C_174 | -56,25 | -3,25 | 100 | 2701,43 | 2503,05 | 7,34 | MAX |
| | C_152 | -46,75 | -1,25 | 0,001 | 2635,81 | 2633,4 | 0,09 | MIN |
| F | C_63 | -49,25 | -0,25 | 0,001 | 3403,91 | 2975,66 | 12,6 | MAX |
| | C_62 | 49,75 | 0,25 | 0,001 | 3055,55 | 3048,93 | 0,22 | MIN |

Neste caso, para médias anuais de precipitação o menor erro percentual foi observado nos pontos C_12 e C_124, com 0,01%, garantindo um resultado bom para a simulação. O maior erro percentual foi observado nos pontos C_401 e C_63, com 12,6%, o que ainda é considerado um bom resultado (Tabela 4.16 e Figura 4.28).

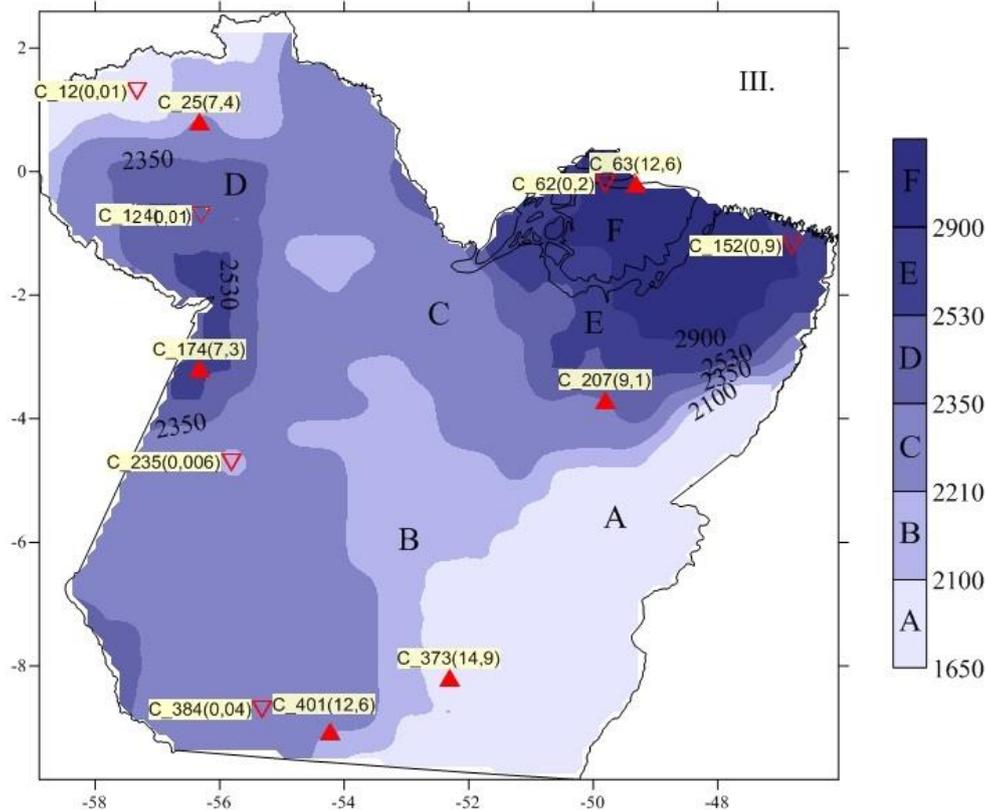


Figura 4.28 – Pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Anual: Série de La Niña

A Tabela 4.17 é similar à Tabela 4.16, porém apresenta a identificação, com a localização dos pontos de monitoramento que apresentaram os maiores e menores erros em função das regiões homogêneas para precipitações médias mensais, assim como a Figura 4.29 é similar à Figura 4.28, que apresenta os maiores e menores erros para precipitações médias mensais.

Tabela 4.17 - Identificação dos pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Mensal: Anos de La Niña

| Região | ID | LON | LAT | Alt | Precipitação (mm) | Precipitação Simulada | E(%) | |
|--------|-------|--------|-------|-------|-------------------|-----------------------|--------|-----|
| A | C_364 | -56,75 | -8,25 | 400 | 203,13 | 161,39 | 20,55 | MAX |
| | C_301 | -51,75 | -6,25 | 250 | 169,60 | 169,61 | 0,007 | MIN |
| B | C_273 | -55,75 | -5,75 | 200 | 223,16 | 117,31 | 47,43 | MAX |
| | C_304 | 50,25 | 6,25 | 400 | 155,45 | 155,33 | 0,08 | MIN |
| C | C_231 | -47,75 | -4,25 | 300 | 134,47 | 274,83 | 104,37 | MAX |
| | C_197 | -54,75 | -3,75 | 200 | 186,95 | 186,93 | 0,011 | MIN |
| D | C_25 | -56,25 | 0,75 | 0,001 | 177,25 | 226,14 | 27,58 | MAX |
| | C_187 | -49,75 | -3,25 | 0,001 | 214,20 | 214,31 | 0,052 | MIN |
| E | C_121 | -51,75 | -1,75 | 0,001 | 197,6 | 287,09 | 45,29 | MAX |
| | C_148 | -48,75 | -2,25 | 0,001 | 233,20 | 233,53 | 0,141 | MIN |

Pode-se observar na Tabela 4.17 e na Figura 4.29 que o ponto C_197 (Região C) apresentou o menor erro percentual, com 0,011%, já o maior erro percentual foi observado no ponto C_231 (104,37%). Esse erro, muito alto, foi considerado um *outlier* dos erros considerados na calibração das regressões múltiplas, já o segundo maior erro no ponto C_273, foi igual a 47,43%.

Assim como as outras séries históricas, para séries com ocorrência de La Niña, notou-se que quando comparada às médias anuais, as médias mensais apresentam maiores valores de erros percentuais.

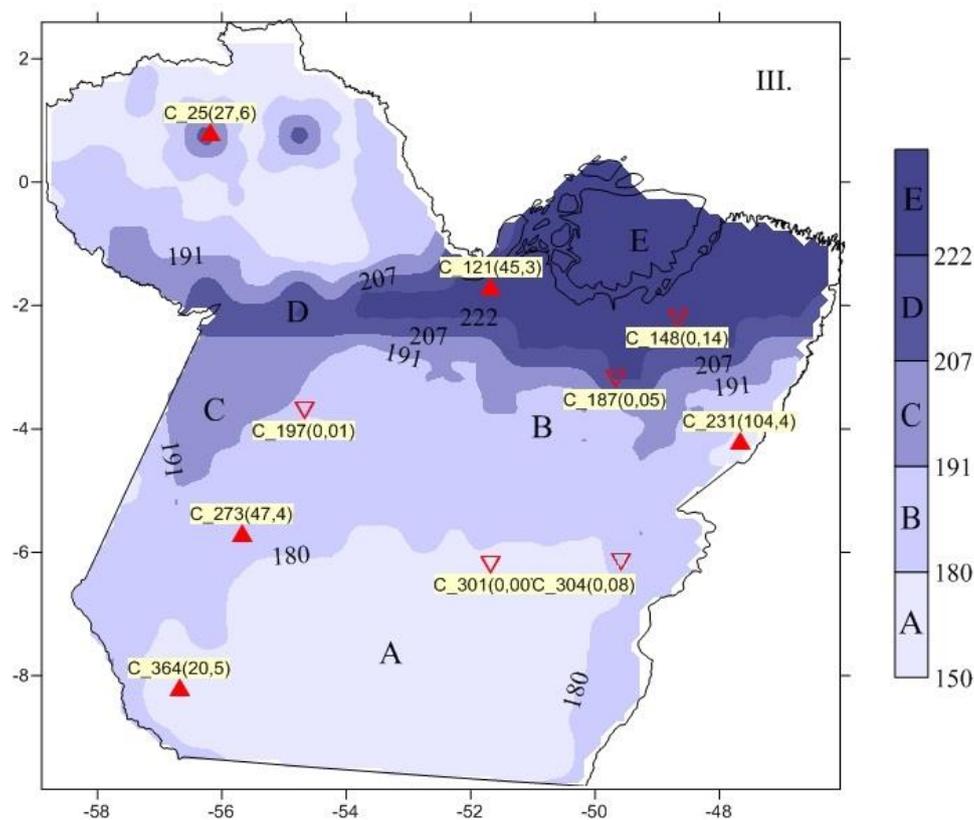


Figura 4.29 - Pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Mensal: Série de La Niña

Assim, para a etapa de validação para estimativa de precipitações médias anuais e mensais será usado também, o modelo do tipo Linear para série La Niña.

Constatou-se que para o período de calibração, o modelo Linear estimou melhor as precipitações médias anuais e mensais, considerando a série completa e com anos de ocorrência de La Niña. Enquanto para série com ocorrência de El Niño, o modelo do tipo Potência estimou melhor tanto as precipitações médias anuais, quanto as mensais.

Ainda para a calibração dos modelos de regressão, utilizou-se os mesmos modelos para estimativas de alturas de chuvas para as regiões com menores índices pluviométricos (Região A) e para as regiões com maiores índices pluviométricos (Região F), para estimativas de valores mensais de janeiro a dezembro de precipitação.

Aplicando-se os modelos na série histórica completa (1960-1990), pode-se observar na

Tabela 4.18, os erros quadráticos referentes as regiões A e F, constatando-se que o modelo de potência apresentou menores erros percentuais.

Tabela 4.18 - Média do Erro Quadrático Relativo Médio Percentual por mês- Calibração Série Completa

| Mês | Região_A | | | Região_F | | |
|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | Potência | 2ª Potência | Linear | Potência | 2ª Potência | Linear |
| JAN | 12,8 | 99,2 | 13,7 | 15,0 | 15,6 | 24,6 |
| FEV | 12,0 | 98,9 | 12,2 | 14,9 | 15,1 | 23,8 |
| MAR | 10,2 | 79,1 | 10,4 | 12,9 | 12,9 | 12,8 |
| ABR | 13,0 | 96,5 | 13,1 | 10,3 | 10,8 | 10,2 |
| MAI | 43,2 | 96,5 | 53,0 | 13,3 | 15,8 | 12,7 |
| JUN | 52,5 | 96,5 | 95,8 | 20,5 | 25,4 | 20,7 |
| JUL | 54,9 | 96,5 | 106,6 | 24,5 | 32,2 | 25,0 |
| AGO | 32,0 | 96,5 | 40,4 | 25,4 | 35,3 | 26,5 |
| SET | 12,5 | 99,0 | 13,2 | 21,3 | 28,5 | 23,1 |
| OUT | 26,5 | 99,9 | 31,2 | 25,0 | 26,4 | 26,4 |
| NOV | 24,6 | 99,9 | 28,5 | 21,1 | 21,0 | 22,4 |
| DEZ | 15,7 | 99,7 | 17,1 | 13,9 | 13,9 | 14,1 |
| Média | 25,8 | 96,53 | 36,3 | 18,71 | 23,9 | 20,19 |

A Figura 4.30 apresenta os erros referentes à utilização do modelo de Potência na etapa de calibração, notou-se que os menores erros tanto para regiões menos chuvosas (Região A) quanto para a região mais chuvosa (Região F), foram observados entre os meses de dezembro a abril, meses onde geralmente ocorrem maiores índices pluviométricos na região Amazônica. Foi observado erro mínimo de 10,2% no mês de março (Região A). Observou-se também que a média de erros percentuais nas regiões com maiores índices pluviométricos (Região F) foram menores que a média de erros da região onde ocorrem menos chuvas, isto pode ser decorrente da escolha dos modelos utilizados neste trabalho, escolhidos para simular precipitação. Assim, há uma melhor simulação quando houver maior incidência de chuva.

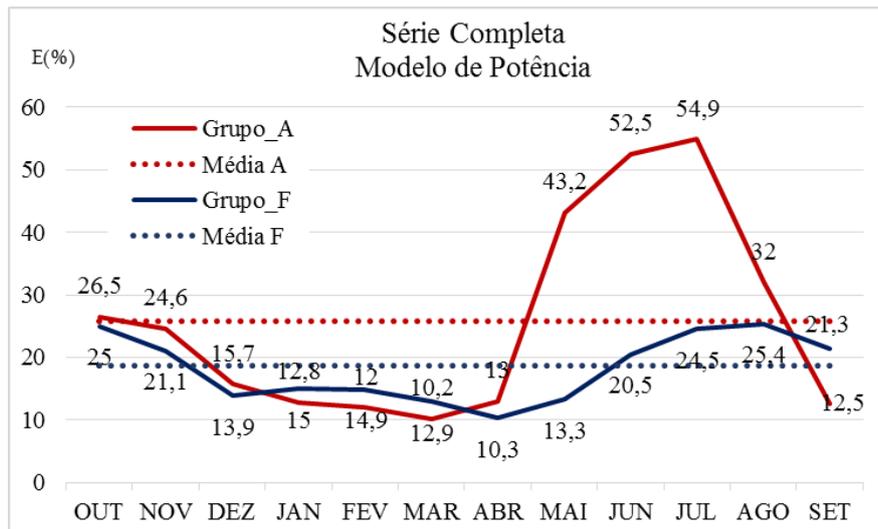


Figura 4.30 – Comparação dos erros percentuais por regiões: Todos os anos

A Tabela 4.19 apresenta os erros quadráticos referentes à série histórica com anos com ocorrência de El Niño, para os grupos ou regiões A e D, pode-se observar que também para este caso o modelo de potência apresentou menores erros percentuais.

Tabela 4.19 - Média do Erro Quadrático Relativo Médio Percentual por mês- Anos de El Niño

| Mês | Região_A | | | Região_D | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Potência | 2° Potência | Linear | Potência | 2° Potência | Linear |
| JAN | 12,74 | 92,7 | 45,99 | 12,13 | 14,70 | 12,21 |
| FEV | 16,96 | 92,7 | 39,26 | 13,12 | 16,20 | 13,53 |
| MAR | 14,51 | 92,7 | 53,38 | 10,06 | 11,60 | 10,16 |
| ABR | 11,00 | 92,7 | 88,73 | 9,12 | 10,50 | 9,30 |
| MAI | 19,10 | 96,69 | 56,40 | 14,86 | 16,74 | 14,65 |
| JUN | 37,89 | 99,71 | 56,40 | 23,86 | 27,45 | 23,89 |
| JUL | 35,11 | 99,77 | 56,40 | 30,31 | 32,40 | 30,03 |
| AGO | 19,12 | 99,15 | 56,40 | 27,82 | 33,49 | 28,70 |
| SET | 10,08 | 68,32 | 56,40 | 22,68 | 26,78 | 23,87 |
| OUT | 16,28 | 92,7 | 56,49 | 24,48 | 29,57 | 27,86 |
| NOV | 14,97 | 92,7 | 50,11 | 19,90 | 23,23 | 21,57 |
| DEZ | 13,46 | 92,7 | 60,56 | 15,87 | 18,57 | 15,90 |
| Média | 18,43 | 92,73 | 56,37 | 18,69 | 21,77 | 19,31 |

Assim como mostrado na Figura 4.30, para séries históricas com ocorrência do fenômeno El Niño, notou-se que os menores erros referentes à utilização do modelo de Potência, tanto para região menos chuvosa (Região A) quanto para a região mais chuvosa (Região D), foram observados entre os meses de janeiro a abril (com erro

mínimo de 10,6% no mês de março, Região A), meses onde geralmente ocorrem maiores índices pluviométricos na região Amazônica (Figura 4.31).

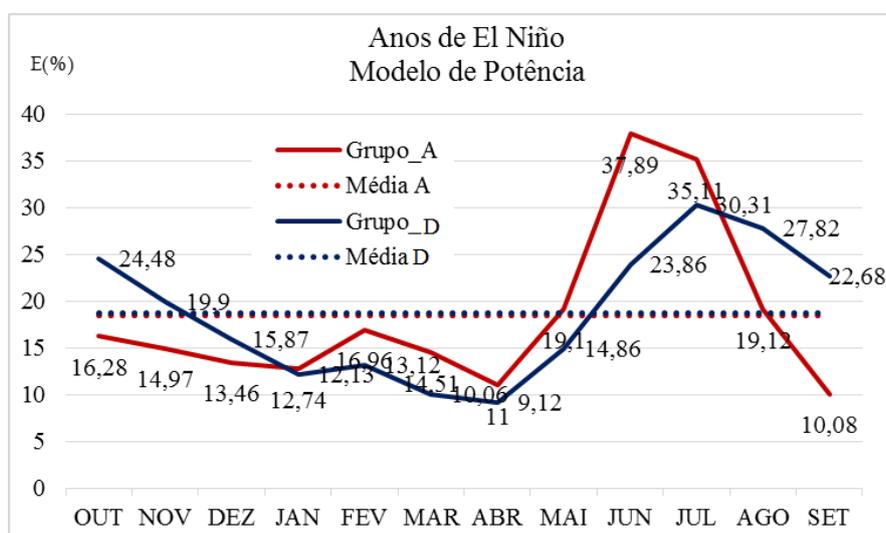


Figura 4.31 - Comparação dos erros percentuais por regiões: Anos de El Niño

Porém, para série histórica com anos de La Niña, o modelo que apresentou menores erros percentuais foi o modelo linear, como mostrado na Tabela 4.20.

Tabela 4.20 - Média do Erro Quadrático Relativo Médio Percentual por mês- Anos de La Niña

| Mês | Região_A | | | Região_E | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Potência | 2º Potência | Linear | Potência | 2º Potência | Linear |
| JAN | 13,8 | 86,8 | 8,1 | 10,3 | 16,6 | 8,7 |
| FEV | 22,8 | 86,8 | 15,5 | 9,3 | 10,2 | 8,6 |
| MAR | 17,0 | 86,8 | 11,4 | 8,8 | 16,3 | 7,0 |
| ABR | 15,1 | 75,9 | 12,5 | 9,3 | 17,8 | 5,9 |
| MAI | 21,2 | 91,5 | 18,0 | 26,6 | 37,0 | 9,0 |
| JUN | 34,4 | 98,8 | 25,2 | 32,2 | 37,5 | 13,3 |
| JUL | 32,1 | 99,5 | 35,7 | 36,6 | 41,3 | 11,7 |
| AGO | 23,9 | 99,2 | 28,2 | 38,3 | 57,4 | 18,1 |
| SET | 7,5 | 83,4 | 7,4 | 19,1 | 39,2 | 17,6 |
| OUT | 14,8 | 100,8 | 8,4 | 20,0 | 23,8 | 18,1 |
| NOV | 14,1 | 45,6 | 7,1 | 16,8 | 24,7 | 10,7 |
| DEZ | 14,9 | 86,8 | 7,1 | 13,1 | 21,0 | 10,5 |
| Média | 19,30 | 86,83 | 15,38 | 20,03 | 28,57 | 11,60 |

Pode-se observar na Figura 4.32, que os menores erros percentuais para a região mais chuvosa (Região E) possuem uma média de 12%. Constatou-se também, menores erros entre os meses de janeiro a abril.

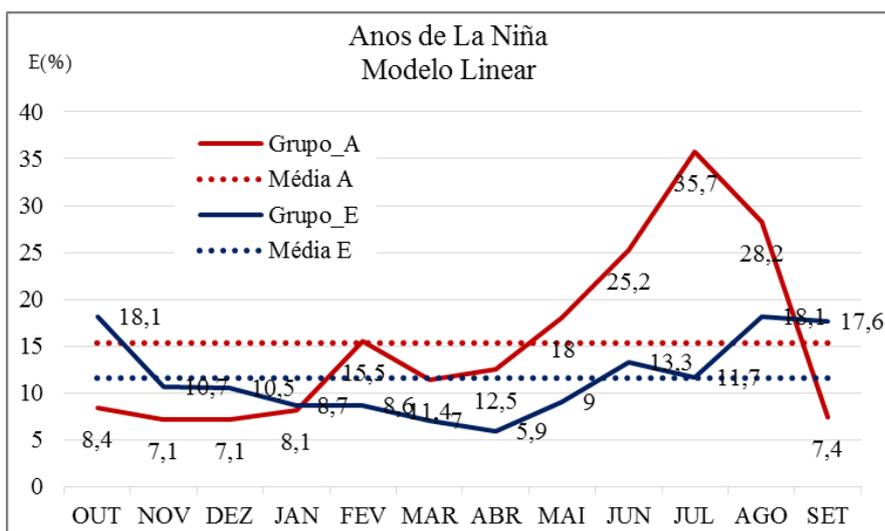


Figura 4.32 - Comparação dos erros percentuais por regiões: Anos de La Niña

4.3.2.2. Validação

Utilizando os modelos e os valores dos coeficientes de regressão (*a*, *b*, *c* e *d*), obtidos na etapa de calibração, como mostrado na Tabela 4.21, foram determinadas alturas de chuva mediante às informações de latitude, longitude e altitude contidas na Tabela 4.2 para cada uma das 12 estações alvo. Assim, puderam-se comparar os valores estimados pelos modelos com os valores observados de precipitação.

A Tabela 4.21 apresenta os resultados das estimativas do modelo Linear para a série contendo todos os anos, nela pode-se observar também, os valores das precipitações médias anuais e mensais observadas e os valores dos erros relativos percentuais.

Para médias anuais de precipitação, considerando toda a série histórica, observou-se que o erro percentual médio foi de 19,9% (Tabela 4.21 (a)).

Tabela 4.21 – Simulação do melhor modelo para série histórica de 1960-1990

| Modelo Linear | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--------------------|--------|------------------------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|-----|---------|---------|-------|
| P=a+b.Lo+c.la+d.H | A | Faz. Santa Elisa | 1564 | 4764,37 | 49,55 | -37,538 | 6,7947 | -155,75 | 210 | 0 | 1846 | 18,1 |
| | | São Felix do Xingú | 2019 | 4764,37 | 50,03 | -37,538 | 5,37 | -155,75 | 206 | 0 | 2050 | 1,50 |
| | | Faz. Cumarú do Norte | 2260 | 4764,37 | 50,83 | -37,538 | 7,8256 | -155,75 | 329 | 0 | 1638 | 27,5 |
| | B | Barragem conj.4 | 1857 | 2565,7 | 54,3 | -3,6559 | 2,815 | -4,1287 | 47 | -0,7403 | 2321 | 25,0 |
| | | Monte Alegre do Xingú | 1591 | 2565,7 | 52,72 | -3,6559 | 4,674 | -4,1287 | 188 | -0,7403 | 2214 | 39,2 |
| | C | Cachoeira do Aruá | 2094 | 1988,04 | 55,721 | 1,89105 | 2,6508 | -4,7648 | 47 | 0,35591 | 2098 | 0,20 |
| | D | Vista alegre | 2594 | 1491,48 | 56,05 | 14,1028 | 1,1303 | 13,5947 | 15 | -0,3148 | 2293 | 11,6 |
| | | Apalai | 1979 | 1988,04 | 54,656 | 1,89105 | 1,2203 | -4,7648 | 376 | 0,35591 | 2219 | 12,1 |
| | E | Faz. São Raimundo | 2102 | -35,5 | 47,53 | 34,3684 | 2,4261 | 13,3068 | 90 | -0,0304 | 1628 | 22,6 |
| | | Emborai | 2300 | -35,5 | 46,58 | 34,3684 | 1,2917 | 13,3068 | 47 | -0,0304 | 1581 | 31,3 |
| | F | Santa Isabel | 2965 | 1364,59 | 48,171 | 11,0421 | 1,2969 | -1,0426 | 15 | 0,1334 | 1897 | 36,0 |
| | | PA-256 Rio Acará Mirim | 2208 | 1364,59 | 48,245 | 11,0421 | 2,4206 | -1,0426 | 47 | 0,1334 | 1901 | 13,9 |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 19,9 | |

(a) Simulação do modelo linear: Precipitação Média Anual

| Modelo Linear | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) | |
|-------------------|--------------------|------------------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|-------|------|
| P=a+b.Lo+c.la+d.H | A | São Felix do Xingú | 183 | 409,075 | 50,03 | -3,565 | 5,37 | -12,39 | 206 | -0,126 | 138 | 24,6 | |
| | | Faz. Cumarú do norte | 188 | 409,075 | 50,83 | -3,565 | 7,8256 | -12,39 | 329 | -0,126 | 89 | 52,5 | |
| | B | Monte Alegre do Xingú | 133 | 38,9028 | 52,72 | 2,88793 | 4,67398 | -1,7435 | 188 | -0,117 | 161 | 21,4 | |
| | C | Barragem conj.4 | 141 | -172,93 | 54,3 | 6,50483 | 2,815 | 1,55594 | 47 | -0,051 | 182 | 29,4 | |
| | D | Apalai | 165 | -106,18 | 54,66 | 5,27071 | 1,2203 | -0,785 | 376 | -0,051 | 181 | 9,5 | |
| | | Vista Alegre | 216 | -319,16 | 56,05 | 8,54387 | 1,1303 | 7,02885 | 15 | 0 | 167 | 22,7 | |
| | E | Cachoeira do Aruá | 174 | -319,16 | 55,72 | 8,54387 | 2,6508 | 7,02885 | 47 | -0,046 | 173 | 0,6 | |
| | | Santa Isabel | 246 | -227,34 | 48,171 | 7,92626 | 1,2969 | 0,9814 | 15 | -0,046 | 154 | 37,3 | |
| | F | Emborai | 192 | -227,34 | 46,584 | 7,92626 | 1,2917 | 0,9814 | 47 | -0,087 | 139 | 27,4 | |
| | | PA-256 Rio Acará Mirim | 185 | -227,34 | 48,245 | 7,92626 | 2,4206 | 0,9814 | 47 | -0,087 | 153 | 17,3 | |
| | | | Faz. São Raimundo | 175 | -227,34 | 47,53 | 7,92626 | 2,4261 | 0,9814 | 90 | -0,087 | 144 | 17,8 |
| | Média (E%): | | | | | | | | | | | 22,92 | |

(b) Simulação do modelo linear: Precipitação Média Mensal

A Figura 4.33 apresenta os valores das precipitações médias anuais observadas, assim como os valores simulados pela utilização do modelo linear, e os erros percentuais obtidos entre os valores de precipitações. Pode-se observar também, na figura, que o máximo erro foi de 39,2% da estação Monte Alegre do Xingu – Região B e o mínimo foi de 0,20% da estação Cachoeira do Aruá – Região C, também mostrado na Tabela 4.21.



Figura 4.33 – Erros percentuais por estação alvo: todos os anos

A Tabela 4.22 e a Tabela 4.23 apresentam os resultados das estimativas do modelo do tipo Potência para séries contendo anos com ocorrência do fenômeno El Niño e modelo Linear para séries de La Niña, respectivamente.

Tabela 4.22 – Simulação do melhor modelo para séries de El Niño

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--|--------------------|-----------------------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|-----|----------|---------|-------|
| P=a*Lo ^b *Ia ^c *H ^d | A | Faz. Santa Elisa | 1526 | 21206,5 | 49,55 | -0,536 | 6,7947 | -0,0533 | 210 | 0 | 2362 | 54,8 |
| | B | Faz. Cumaru do norte | 2138 | 2653,52 | 50,83 | -0,041 | 7,8256 | 0,0024 | 329 | 0,000212 | 2270 | 6,20 |
| | | São Felix do Xingú | 2019 | 21206,5 | 50,03 | -0,536 | 5,37 | -0,0533 | 206 | 0 | 2380 | 17,9 |
| | | Monte Alegre do Xingú | 1547 | 21206,5 | 52,72 | -0,536 | 4,67398 | -0,0533 | 188 | 0 | 2331 | 50,7 |
| | C | Cachoeira do Aruá | 2021 | 61,1801 | 55,721 | 0,8656 | 2,6508 | 0,01764 | 47 | 0,011196 | 2109 | 4,30 |
| | | Barragem conj.4 | 1857 | 2653,52 | 54,3 | -0,041 | 2,815 | 0,0024 | 47 | 0,000212 | 2258 | 21,6 |
| | | Apalai | 1883 | 75,1999 | 54,66 | 0,8216 | 1,2203 | -0,0101 | 376 | 0,001075 | 2022 | 7,30 |
| | D | Vista Alegre | 2482 | 87,0081 | 56,053 | 0,8227 | 1,1303 | 0,01015 | 15 | 0,006792 | 2436 | 1,90 |
| | | Emborai | 2075 | 3,44174 | 46,58 | 1,5819 | 1,2917 | -0,0048 | 47 | 0,006792 | 1537 | 25,9 |
| | E | Faz. São Raimundo | 2065 | 75,1999 | 47,53 | 0,8216 | 2,4261 | -0,0101 | 90 | 0,001075 | 1787 | 13,5 |
| | F | Santa Isabel | 2848 | 87,0081 | 48,171 | 0,8227 | 1,2969 | 0,01015 | 15 | 0,006792 | 2153 | 24,4 |
| | | PA-256 Rio Acará | 2079 | 3,44174 | 48,25 | 1,5819 | 2,4206 | -0,0048 | 47 | 0,006792 | 1620 | 22,1 |
| | Média (E%): | | | | | | | | | | | 20,9 |

(a) Simulação do modelo Potência: Precipitação Média Anual

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--|--------------------|----------------------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|-----|----------|---------|-------|
| P=a*Lo ^b *Ia ^c *H ^d | A | Barragem conj.4 | 130 | 2322,89 | 54,3 | -0,632 | 2,815 | -0,0955 | 47 | -0,00777 | 164 | 25,9 |
| | | Cachoeira do Aruá | 168 | 0,17764 | 55,72 | 1,7249 | 2,6508 | -0,0177 | 47 | 0 | 179 | 6,5 |
| | B | Monte Alegre do | 129 | 2322,89 | 52,72 | -0,632 | 4,67398 | -0,0955 | 188 | -0,00777 | 157 | 21,9 |
| | C | Faz. Cumaru do norte | 178 | 0,12312 | 50,828 | 1,8856 | 7,8256 | 0,01565 | 329 | -0,05671 | 151 | 15,4 |
| | | Faz. Santa Elisa | 127 | 7,10639 | 49,25 | 0,9076 | 6,7947 | -0,0328 | 210 | 0 | 229 | 80,3 |
| | | São Felix do Xingu | 175 | 7,10639 | 50,03 | 0,9076 | 5,37 | -0,0328 | 206 | -0,08881 | 146 | 16,3 |
| | D | Apalai | 157 | 0,17764 | 54,66 | 1,7249 | 1,2203 | -0,0177 | 376 | 0 | 176 | 12,1 |
| | | Vista Alegre | 207 | 0,17764 | 56,05 | 1,7249 | 1,1303 | -0,0177 | 15 | 0 | 184 | 11,1 |
| | E | Santa Isabel | 238 | 0,08201 | 48,171 | 2,0956 | 1,2969 | 0,04688 | 15 | -0,13331 | 194 | 18,3 |
| | | Emborai | 183 | 0,08201 | 46,58 | 2,0956 | 1,2917 | 0,04688 | 47 | -0,13331 | 156 | 15,0 |
| | | PA-256 Rio Acará | 174 | 0,08201 | 48,245 | 2,0956 | 2,4206 | 0,04688 | 47 | -0,13331 | 173 | 1,0 |
| | | Faz. São Raimundo | 172 | 0,08201 | 47,53 | 2,0956 | 2,4261 | 0,04688 | 90 | -0,13331 | 153 | 10,9 |
| | Média (E%): | | | | | | | | | | | 19,56 |

(b) Simulação do modelo Potência: Precipitação Média Mensal

Tabela 4.23 – Simulação do melhor modelo para séries de La Niña

| Modelo Linear | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps | E (%) |
|--------------------|--------|------------------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|-----|-----------|-------|-------|
| P=a+b.Lo+c.la+d.H | A | Faz. Cumarú do Norte | 2255 | 2906,83 | 50,83 | -7,3306 | 7,8256 | 7,41512 | 329 | -0,104874 | 2558 | 13,4 |
| | | Faz. Santa Elisa | 1650 | 2906,83 | 49,55 | -7,3306 | 6,7947 | 7,41512 | 210 | -0,104874 | 2572 | 55,9 |
| | | São Felix do Xingú | 2358 | 2906,83 | 50,03 | -7,3306 | 5,37 | 7,41512 | 206 | -0,104874 | 2558 | 8,50 |
| | B | Monte Alegre do Xingu | 1663 | 6093,14 | 52,72 | -60,307 | 4,67398 | -175,81 | 188 | 0 | 2092 | 25,8 |
| | | Barragem conj.04 | 1857 | 2296,98 | 54,298 | -0,0758 | 2,815 | 0,59301 | 47 | -0,308331 | 2280 | 22,8 |
| | C | Apalai | 2128 | 1657,58 | 54,66 | 12,401 | 1,2203 | 0,10553 | 376 | -0,028266 | 2325 | 9,20 |
| | | Vista Alegre | 2776 | 1657,58 | 56,05 | 12,401 | 1,1303 | 0,10553 | 15 | -0,028266 | 2352 | 15,2 |
| | E | Cachoeira do Aruá | 2144 | 1657,58 | 55,72 | 12,401 | 2,6508 | 0,10553 | 47 | -0,028266 | 2348 | 9,50 |
| | | Emborai | 2470 | 1876,14 | 46,58 | -3,6 | 1,2917 | -3,6155 | 47 | 0,1473118 | 1711 | 30,7 |
| | | Faz. São Raimundo | 2352 | 1876,14 | 47,53 | -3,6 | 2,4261 | -3,6155 | 90 | 0,1473118 | 1710 | 27,3 |
| | F | Santa Isabel | 3097 | 556,821 | 48,171 | 25,8076 | 1,2969 | 6,06087 | 15 | -0,075748 | 1807 | 41,7 |
| | | PA-256 Rio Acará Mirim | 2358 | 556,821 | 48,245 | 25,8076 | 2,4206 | 6,06087 | 47 | -0,075748 | 1813 | 23,1 |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 23,60 | |

(a) Simulação do modelo linear: Precipitação Média Anual

| Modelo Linear | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps | E (%) |
|--------------------|--------|------------------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|-----|---------|------|-------|
| P=a+b.Lo+c.la+d.H | A | Faz. Cumarú do Norte | 188 | 118,344 | 50,83 | 1,86064 | 7,8256 | -3,6199 | 329 | -0,1517 | 135 | 28,3 |
| | | São Felix do Xingu | 199 | 118,344 | 50,03 | 1,86064 | 5,37 | -3,6199 | 206 | -0,1517 | 161 | 19,1 |
| | | Faz. Santa Elisa | 138 | 560,013 | 49,55 | -6,3258 | 6,7947 | -11,178 | 210 | 0 | 171 | 24,1 |
| | B | Apalai | 177 | -34,457 | 54,656 | 3,86846 | 1,2203 | -1,3317 | 376 | 0,0805 | 206 | 15,9 |
| | | Vista Alegre | 231 | -34,457 | 56,053 | 3,86846 | 1,1303 | -1,3317 | 15 | 0,0805 | 182 | 21,3 |
| | C | Monte Alegre do Xingu | 139 | -34,457 | 52,72 | 3,86846 | 4,67398 | -1,3317 | 188 | 0,0805 | 178 | 28,7 |
| | | Cachoeira do Aruá | 179 | -99,809 | 55,72 | 5,39463 | 2,6508 | 1,18363 | 47 | -0,0664 | 201 | 12,4 |
| | | Barragem conj.4 | 155 | -99,809 | 54,3 | 5,39463 | 2,815 | 1,18363 | 47 | -0,0664 | 193 | 25,0 |
| | D | Faz. São Raimundo | 196 | -99,809 | 47,53 | 5,39463 | 2,4261 | 1,18363 | 90 | -0,0664 | 153 | 21,7 |
| | | Santa Isabel | 258 | -138,41 | 48,171 | 6,13838 | 1,2969 | 1,82009 | 15 | -0,0652 | 159 | 38,5 |
| | E | Emborai | 206 | -138,41 | 46,58 | 6,13838 | 1,2917 | 1,82009 | 47 | -0,0652 | 147 | 28,7 |
| | | PA-256 Rio Acará Mirim | 199 | -138,41 | 48,245 | 6,13838 | 2,4206 | 1,82009 | 47 | -0,0652 | 159 | 19,9 |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 23,6 | |

(b) Simulação do modelo Linear: Precipitação Média Mensal

Considerando a série apenas com ocorrência de fenômeno El Niño, para médias anuais de precipitação, observou-se que o erro percentual médio foi de 20,9% (Tabela 4.22 (a) e Figura 4.34); o erro máximo foi de 54,8% (Estação Fazenda Santa Elisa – Região A) e o mínimo foi de 1,90% (Estação Vista Alegre – Região F).

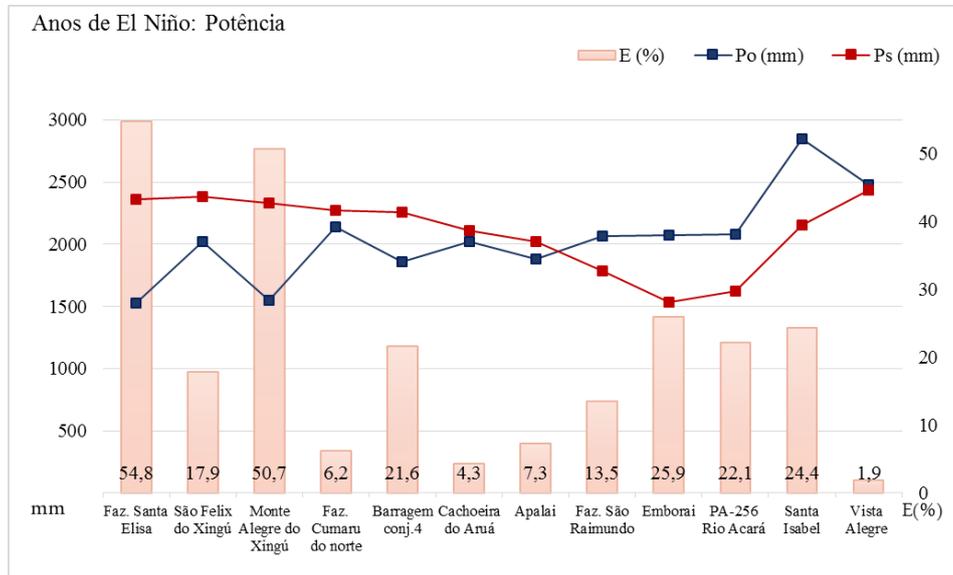


Figura 4.34 - Erros percentuais por estação alvo: anos de El Niño

Para a série contendo apenas anos de La Niña, para médias anuais de precipitação, observou-se que o erro percentual médio foi de 23,6% (Tabela 4.23 (a) e Figura 4.35); o erro máximo foi de 55,9% (Estação Fazenda Santa Elisa – Região A) e o mínimo foi de 8,50% (Estação São Felix do Xingú – Região A).



Figura 4.35 - Erros percentuais por estação alvo: anos de La Niña

A Tabela 4.24 e a Tabela 4.25 apresentam os resultados das estimativas do modelo de Potência para a série contendo todos os anos e série contendo anos com ocorrência do fenômeno El Niño, nelas podem-se observar também, os valores das precipitações mensais para cada mês do ano e os valores dos erros relativos percentuais.

Para a série completa (Tabela 4.24) foi considerada apenas a simulação da Região F, pois para a Região A (com menores índices pluviométricos e com comprimento menor da série histórica), observaram-se erros elevados, neste caso não sendo recomendado o uso deste modelo para estimar alturas de chuvas.

A estação alvo PA-256 Rio Acará, correspondente a Região F apresentou menor erro quadrático percentual (0,52%) para o mês de fevereiro, o maior erro percentual foi constatado no mês de agosto para a estação Fazenda São Raimundo.

Assim como para série histórica completa, não foi considerada a Região A para a série com ocorrência do fenômeno El Niño (Tabela 4.25). A estação alvo PA-256 Rio Acará Mirim, apresentou menor erro quadrático percentual (4,2%) para o mês de fevereiro, o maior erro percentual foi constatado no mês de novembro para estação Emborai.

Os valores observados nas simulações mensais para anos de La Niña não apresentaram resultados satisfatórios e por isso não foram apresentados, sendo descartada a presente metodologia para simulação de alturas de chuvas para o caso supramencionado.

Apesar de algumas estimativas terem erros consideráveis, acima de 50%, os resultados obtidos para erros médios demonstraram que a metodologia pode ser uma boa opção como ferramenta numérica para estimativas de alturas de precipitações médias anuais e mensais em locais desprovidos de estações pluviométricas no estado do Pará, apesar da limitação de poucas estações para validação da metodologia.

Tabela 4.24 - Simulação do melhor modelo para cada mês, aplicado a série histórica de 1960-1990

JANEIRO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--------------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|------------|--------|-----------|----|-----------|--------------|-------|
| | F | Santa Isabel | 362,2 | 3757,2781 | 48,171 | -0,6670475 | 1,2969 | 0,0162447 | 15 | 0,0003705 | 284,9 | 21,34 |
| | | Emborai | 243,9 | 3757,2781 | 46,584 | -0,6670475 | 1,2917 | 0,0162447 | 47 | 0,0003705 | 291,4 | 19,46 |
| | | PA-256 Rio Acará | 273,7 | 3757,2781 | 48,245 | -0,6670475 | 2,4206 | 0,0162447 | 47 | 0,0003705 | 287,6 | 5,07 |
| | | Mirim | 284,1 | 3757,2781 | 47,53 | -0,6670475 | 2,4261 | 0,0162447 | 90 | 0,0003705 | 290,6 | 2,27 |
| | | Faz. São Raimundo | 284,1 | 3757,2781 | 47,53 | -0,6670475 | 2,4261 | 0,0162447 | 90 | 0,0003705 | 290,6 | 2,27 |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 12,03 | |

FEVEREIRO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--------------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|------------|--------|------------|----|-----------|--------------|-------|
| | F | Santa Isabel | 364,5 | 2229,1497 | 48,171 | -0,4821219 | 1,2969 | -0,0011907 | 15 | -0,000231 | 343,9 | 5,66 |
| | | Emborai | 316,8 | 2229,1497 | 46,584 | -0,4821219 | 1,2917 | -0,0011907 | 47 | -0,000231 | 349,4 | 10,29 |
| | | PA-256 Rio Acará | 341,5 | 2229,1497 | 48,245 | -0,4821219 | 2,4206 | -0,0011907 | 47 | -0,000231 | 343,3 | 0,53 |
| | | Mirim | 276,2 | 2229,1497 | 47,53 | -0,4821219 | 2,4261 | -0,0011907 | 90 | -0,000231 | 345,7 | 25,19 |
| | | Faz. São Raimundo | 276,2 | 2229,1497 | 47,53 | -0,4821219 | 2,4261 | -0,0011907 | 90 | -0,000231 | 345,7 | 25,19 |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 10,41 | |

MARÇO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--------------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|------------|--------|------------|----|------------|-------------|-------|
| | F | Santa Isabel | 428,7 | 1960,0935 | 48,171 | -0,3999023 | 1,2969 | -0,0105033 | 15 | -0,0004643 | 414,6 | 3,30 |
| | | Emborai | 433,3 | 1960,0935 | 46,584 | -0,3999023 | 1,2917 | -0,0105033 | 47 | -0,0004643 | 420,0 | 3,08 |
| | | PA-256 Rio Acará | 454,1 | 1960,0935 | 48,245 | -0,3999023 | 2,4206 | -0,0105033 | 47 | -0,0004643 | 411,4 | 9,40 |
| | | Mirim | 392,3 | 1960,0935 | 47,53 | -0,3999023 | 2,4261 | -0,0105033 | 90 | -0,0004643 | 413,7 | 5,46 |
| | | Faz. São Raimundo | 392,3 | 1960,0935 | 47,53 | -0,3999023 | 2,4261 | -0,0105033 | 90 | -0,0004643 | 413,7 | 5,46 |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 5,31 | |

ABRIL

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--------------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|------------|--------|------------|----|-----------|-------------|-------|
| F | | Santa Isabel | 380,7 | 17582,425 | 48,171 | -0,9756309 | 1,2969 | -0,0152779 | 15 | 0,0017366 | 401,4 | 5,45 |
| | | Emborai | 378,8 | 17582,425 | 46,584 | -0,9756309 | 1,2917 | -0,0152779 | 47 | 0,0017366 | 415,6 | 9,73 |
| | | PA-256 Rio Acará | 394,2 | 17582,425 | 48,245 | -0,9756309 | 2,4206 | -0,0152779 | 47 | 0,0017366 | 397,8 | 0,93 |
| | | Mirim | 416,9 | 17582,425 | 47,53 | -0,9756309 | 2,4261 | -0,0152779 | 90 | 0,0017366 | 404,1 | 3,07 |
| | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 4,79 | |

MAIO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--------------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|------------|--------|------------|----|-----------|--------------|-------|
| F | | Santa Isabel | 339,3 | 2605349,5 | 48,171 | -2,2981803 | 1,2969 | -0,0298779 | 15 | 0,0098551 | 360,4 | 6,22 |
| | | Emborai | 302,1 | 2605349,5 | 46,584 | -2,2981803 | 1,2917 | -0,0298779 | 47 | 0,0098551 | 393,7 | 30,32 |
| | | PA-256 Rio Acará | 230,9 | 2605349,5 | 48,245 | -2,2981803 | 2,4206 | -0,0298779 | 47 | 0,0098551 | 356,4 | 54,35 |
| | | Mirim | 259,6 | 2605349,5 | 47,53 | -2,2981803 | 2,4261 | -0,0298779 | 90 | 0,0098551 | 371,2 | 43,01 |
| | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 33,47 | |

JUNHO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--------------------|--------|-------------------|---------|----------|--------|-----------|--------|------------|----|----------|-------------|-------|
| F | | Santa Isabel | 193,7 | 17464691 | 48,171 | -2,920395 | 1,2969 | -0,0352549 | 15 | 0,016327 | 220,3 | 13,7 |
| | | Emborai | 209,8 | 17464691 | 46,584 | -2,920395 | 1,2917 | -0,0352549 | 47 | 0,016327 | 247,5 | 18,0 |
| | | PA-256 Rio Acará | 84,1 | 17464691 | 48,245 | -2,920395 | 2,4206 | -0,0352549 | 47 | 0,016327 | 218,6 | 159,8 |
| | | Mirim | 139,3 | 17464691 | 47,53 | -2,920395 | 2,4261 | -0,0352549 | 90 | 0,016327 | 230,7 | 65,6 |
| | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 64,3 | |

JULHO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--------------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|------------|--------|------------|----|-----------|-------------|-------|
| | F | Santa Isabel | 178,3 | 214465391 | 48,171 | -3,6323449 | 1,2969 | -0,0561141 | 15 | 0,0203384 | 172,4 | 3,3 |
| | | Emborai | 182,6 | 214465391 | 46,584 | -3,6323449 | 1,2917 | -0,0561141 | 47 | 0,0203384 | 199,3 | 9,1 |
| | | PA-256 Rio Acará | 59,9 | 214465391 | 48,245 | -3,6323449 | 2,4206 | -0,0561141 | 47 | 0,0203384 | 169,4 | 182,9 |
| | | Mirim | 86,2 | 214465391 | 47,53 | -3,6323449 | 2,4261 | -0,0561141 | 90 | 0,0203384 | 181,2 | 110,2 |
| | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 76,4 | |

AGOSTO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--------------------|--------|-------------------|---------|----------|--------|------------|--------|------------|----|-----------|--------------|-------|
| | F | Santa Isabel | 138,3 | 51484051 | 48,171 | -3,3795816 | 1,2969 | -0,0801082 | 15 | 0,0248276 | 110,8 | 19,8 |
| | | Emborai | 93,4 | 51484051 | 46,584 | -3,3795816 | 1,2917 | -0,0801082 | 47 | 0,0248276 | 127,7 | 36,8 |
| | | PA-256 Rio Acará | 34,2 | 51484051 | 48,245 | -3,3795816 | 2,4206 | -0,0801082 | 47 | 0,0248276 | 107,9 | 215,4 |
| | | Mirim | 28,2 | 51484051 | 47,53 | -3,3795816 | 2,4261 | -0,0801082 | 90 | 0,0248276 | 115,3 | 309,4 |
| | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 145,4 | |

SETEMBRO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--------------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|------------|--------|------------|----|-----------|--------------|-------|
| | F | Santa Isabel | 131,5 | 7930,8218 | 48,171 | -1,2037922 | 1,2969 | -0,0634444 | 15 | 0,0229475 | 78,2 | 40,5 |
| | | Emborai | 23,9 | 7930,8218 | 46,584 | -1,2037922 | 1,2917 | -0,0634444 | 47 | 0,0229475 | 83,6 | 249,9 |
| | | PA-256 Rio Acará | 43,7 | 7930,8218 | 48,245 | -1,2037922 | 2,4206 | -0,0634444 | 47 | 0,0229475 | 77,1 | 76,3 |
| | | Mirim | 30,2 | 7930,8218 | 47,53 | -1,2037922 | 2,4261 | -0,0634444 | 90 | 0,0229475 | 79,6 | 163,5 |
| | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 132,5 | |

OUTUBRO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--------------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|-----------|--------|------------|----|-----------|-------------|-------|
| | F | Santa Isabel | 113,9 | 0,6829802 | 48,171 | 1,1196491 | 1,2969 | -0,0303332 | 15 | 0,0056715 | 52,7 | 53,7 |
| | | Emborai | 19,5 | 0,6829802 | 46,584 | 1,1196491 | 1,2917 | -0,0303332 | 47 | 0,0056715 | 51,1 | 162,4 |
| | | PA-256 Rio Acará | 54,9 | 0,6829802 | 48,245 | 1,1196491 | 2,4206 | -0,0303332 | 47 | 0,0056715 | 52,1 | 5,0 |
| | | Mirim | 37,4 | 0,6829802 | 47,53 | 1,1196491 | 2,4261 | -0,0303332 | 90 | 0,0056715 | 51,5 | 37,7 |
| | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 64,7 | |

NOVEMBRO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--------------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|----|------------|-------------|-------|
| | F | Santa Isabel | 117,5 | 0,6676786 | 48,171 | 1,1861207 | 1,2969 | 0,0171632 | 15 | -0,0054868 | 65,5 | 44,3 |
| | | Emborai | 17,8 | 0,6676786 | 46,584 | 1,1861207 | 1,2917 | 0,0171632 | 47 | -0,0054868 | 62,5 | 251,2 |
| | | PA-256 Rio Acará | 83,4 | 0,6676786 | 48,245 | 1,1861207 | 2,4206 | 0,0171632 | 47 | -0,0054868 | 65,9 | 21,0 |
| | | Mirim | 40,6 | 0,6676786 | 47,53 | 1,1861207 | 2,4261 | 0,0171632 | 90 | -0,0054868 | 64,5 | 59,0 |
| | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 93,9 | |

DEZEMBRO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--------------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|----|------------|-------------|-------|
| | F | Santa Isabel | 208,9 | 38,864448 | 48,171 | 0,3378957 | 1,2969 | 0,0114045 | 15 | -0,0023863 | 143,4 | 31,3 |
| | | Emborai | 78,2 | 38,864448 | 46,584 | 0,3378957 | 1,2917 | 0,0114045 | 47 | -0,0023863 | 141,4 | 80,8 |
| | | PA-256 Rio Acará | 169,5 | 38,864448 | 48,245 | 0,3378957 | 2,4206 | 0,0114045 | 47 | -0,0023863 | 144,1 | 15,0 |
| | | Mirim | 111,0 | 38,864448 | 47,53 | 0,3378957 | 2,4261 | 0,0114045 | 90 | -0,0023863 | 143,2 | 29,0 |
| | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 39,0 | |

Tabela 4.25 - Simulação do melhor modelo para cada mês, aplicado a série histórica com ocorrência de El Niño

| JANEIRO | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------|-------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|--------------|-------|-------|
| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) | |
| | F | Santa Isabel | 349,9 | 0,6488342 | 48,171 | 1,5162019 | 1,2969 | 0,0641647 | 15 | -0,00243 | 233,3 | 33,32 | |
| | | Emborai | 232,8 | 0,6488342 | 46,584 | 1,5162019 | 1,2917 | 0,0641647 | 47 | -0,00243 | 221,1 | 5,02 | |
| | | PA-256 Rio Acará | Mirim | 260,1 | 0,6488342 | 48,245 | 1,5162019 | 2,4206 | 0,0641647 | 47 | -0,00243 | 242,7 | 6,66 |
| | | Faz. São Raimundo | | 257,8 | 0,6488342 | 47,53 | 1,5162019 | 2,4261 | 0,0641647 | 90 | -0,00243 | 237,0 | 8,09 |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 13,27 | | |
| FEVEREIRO | | | | | | | | | | | | | |
| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) | |
| | F | Santa Isabel | 359,3 | 0,3331715 | 48,171 | 1,7400649 | 1,2969 | 0,0795785 | 15 | -0,00562 | 283,9 | 20,98 | |
| | | Emborai | 314,5 | 0,3331715 | 46,584 | 1,7400649 | 1,2917 | 0,0795785 | 47 | -0,00562 | 266,0 | 15,42 | |
| | | PA-256 Rio Acará | Mirim | 310,4 | 0,3331715 | 48,245 | 1,7400649 | 2,4206 | 0,0795785 | 47 | -0,00562 | 297,3 | 4,23 |
| | | Faz. São Raimundo | | 233,5 | 0,3331715 | 47,53 | 1,7400649 | 2,4261 | 0,0795785 | 90 | -0,00562 | 288,6 | 23,60 |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 16,06 | | |
| MARÇO | | | | | | | | | | | | | |
| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) | |
| | F | Santa Isabel | 420,5 | 2,2359561 | 48,171 | 1,311793 | 1,2969 | 0,0527665 | 15 | -0,00436 | 361,2 | 14,10 | |
| | | Emborai | 420,0 | 2,2359561 | 46,584 | 1,311793 | 1,2917 | 0,0527665 | 47 | -0,00436 | 343,9 | 18,13 | |
| | | PA-256 Rio Acará | Mirim | 426,7 | 2,2359561 | 48,245 | 1,311793 | 2,4206 | 0,0527665 | 47 | -0,00436 | 372,2 | 12,77 |
| | | Faz. São Raimundo | | 389,1 | 2,2359561 | 47,53 | 1,311793 | 2,4261 | 0,0527665 | 90 | -0,00436 | 364,0 | 6,45 |
| Média (E%): | | | | | | | | | | | 12,86 | | |
| ABRIL | | | | | | | | | | | | | |
| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) | |
| | F | Santa Isabel | 371,4 | 1,8548422 | 48,171 | 1,3350822 | 1,2969 | 0,0500992 | 15 | -0,0061 | 326,1 | 12,17 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------------|-------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|----|---------|-------|--------------------------|
| | | Emborai | 373,8 | 1,8548422 | 46,584 | 1,3350822 | 1,2917 | 0,0500992 | 47 | -0,0061 | 309,6 | 17,17 |
| | | PA-256 Rio Acará | 385,7 | 1,8548422 | 48,245 | 1,3350822 | 2,4206 | 0,0500992 | 47 | -0,0061 | 334,8 | 13,19 |
| | | Mirim | 383,5 | 1,8548422 | 47,53 | 1,3350822 | 2,4261 | 0,0500992 | 90 | -0,0061 | 327,0 | 14,75 |
| | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | Média (E%): 14,32 |

MAIO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|-----------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|----|----------|---------|--------------------------|
| | | Santa Isabel | 320,6 | 0,4227814 | 48,171 | 1,6316939 | 1,2969 | 0,0714301 | 15 | -0,00283 | 238,0 | 25,75 |
| | | Emborai | 294,3 | 0,4227814 | 46,584 | 1,6316939 | 1,2917 | 0,0714301 | 47 | -0,00283 | 224,6 | 23,69 |
| | F | PA-256 Rio Acará | 225,5 | 0,4227814 | 48,245 | 1,6316939 | 2,4206 | 0,0714301 | 47 | -0,00283 | 248,7 | 10,29 |
| | | Mirim | 287,2 | 0,4227814 | 47,53 | 1,6316939 | 2,4261 | 0,0714301 | 90 | -0,00283 | 242,3 | 15,63 |
| | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | Média (E%): 18,84 |

JUNHO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|-----------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|----|----------|---------|-------------------------|
| | | Santa Isabel | 184,6 | 0,0146503 | 48,171 | 2,3657681 | 1,2969 | 0,0956517 | 15 | -0,00149 | 143,2 | 22,4 |
| | | Emborai | 207,9 | 0,0146503 | 46,584 | 2,3657681 | 1,2917 | 0,0956517 | 47 | -0,00149 | 132,0 | 36,5 |
| | F | PA-256 Rio Acará | 87,7 | 0,0146503 | 48,245 | 2,3657681 | 2,4206 | 0,0956517 | 47 | -0,00149 | 152,3 | 73,7 |
| | | Mirim | 169,1 | 0,0146503 | 47,53 | 2,3657681 | 2,4261 | 0,0956517 | 90 | -0,00149 | 146,9 | 13,1 |
| | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | Média (E%): 36,4 |

JULHO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|-----------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|----|-----------|---------|-------------------------|
| | | Santa Isabel | 167,4 | 0,2686959 | 48,171 | 1,5394456 | 1,2969 | 0,1327437 | 15 | 0,0011805 | 108,7 | 35,1 |
| | | Emborai | 176,5 | 0,2686959 | 46,584 | 1,5394456 | 1,2917 | 0,1327437 | 47 | 0,0011805 | 103,3 | 41,5 |
| | F | PA-256 Rio Acará | 61,5 | 0,2686959 | 48,245 | 1,5394456 | 2,4206 | 0,1327437 | 47 | 0,0011805 | 118,5 | 92,9 |
| | | Mirim | 51,7 | 0,2686959 | 47,53 | 1,5394456 | 2,4261 | 0,1327437 | 90 | 0,0011805 | 115,9 | 124,4 |
| | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | Média (E%): 73,5 |

AGOSTO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|-------------------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|----|---------|---------|-------|
| F | F | Santa Isabel | 136,7 | 0,0010578 | 48,171 | 2,8421574 | 1,2969 | 0,1335988 | 15 | -0,0026 | 65,9 | 51,8 |
| | | Emborai | 84,1 | 0,0010578 | 46,584 | 2,8421574 | 1,2917 | 0,1335988 | 47 | -0,0026 | 59,7 | 28,9 |
| | | PA-256 Rio Acará | 37,4 | 0,0010578 | 48,245 | 2,8421574 | 2,4206 | 0,1335988 | 47 | -0,0026 | 71,8 | 91,7 |
| | | Mirim | 37,4 | 0,0010578 | 48,245 | 2,8421574 | 2,4206 | 0,1335988 | 47 | -0,0026 | 71,8 | 91,7 |
| | | Faz. São Raimundo | 35,8 | 0,0010578 | 47,53 | 2,8421574 | 2,4261 | 0,1335988 | 90 | -0,0026 | 68,7 | 92,1 |
| Média (E%): 66,1 | | | | | | | | | | | | |

SETEMBRO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|-------------------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|----|-----------|---------|-------|
| F | F | Santa Isabel | 118,6 | 0,0006657 | 48,171 | 2,8787181 | 1,2969 | 0,1277779 | 15 | -0,010388 | 46,7 | 60,6 |
| | | Emborai | 21,4 | 0,0006657 | 46,584 | 2,8787181 | 1,2917 | 0,1277779 | 47 | -0,010388 | 41,9 | 96,2 |
| | | PA-256 Rio Acará | 43,1 | 0,0006657 | 48,245 | 2,8787181 | 2,4206 | 0,1277779 | 47 | -0,010388 | 50,2 | 16,6 |
| | | Mirim | 43,1 | 0,0006657 | 48,245 | 2,8787181 | 2,4206 | 0,1277779 | 47 | -0,010388 | 50,2 | 16,6 |
| | | Faz. São Raimundo | 22,1 | 0,0006657 | 47,53 | 2,8787181 | 2,4261 | 0,1277779 | 90 | -0,010388 | 47,8 | 116,8 |
| Média (E%): 72,5 | | | | | | | | | | | | |

OUTUBRO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|-------------------------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|----|---------|---------|-------|
| F | F | Santa Isabel | 113,7 | 9,988E-05 | 48,171 | 3,3047525 | 1,2969 | 0,1383481 | 15 | -0,0116 | 36,5 | 67,9 |
| | | Emborai | 16,5 | 9,988E-05 | 46,584 | 3,3047525 | 1,2917 | 0,1383481 | 47 | -0,0116 | 32,3 | 95,4 |
| | | PA-256 Rio Acará | 52,3 | 9,988E-05 | 48,245 | 3,3047525 | 2,4206 | 0,1383481 | 47 | -0,0116 | 39,5 | 24,4 |
| | | Mirim | 52,3 | 9,988E-05 | 48,245 | 3,3047525 | 2,4206 | 0,1383481 | 47 | -0,0116 | 39,5 | 24,4 |
| | | Faz. São Raimundo | 28,8 | 9,988E-05 | 47,53 | 3,3047525 | 2,4261 | 0,1383481 | 90 | -0,0116 | 37,3 | 29,8 |
| Média (E%): 54,4 | | | | | | | | | | | | |

NOVEMBRO

| Modelo Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|-----------------|--------|--------------|---------|----------|--------|----------|--------|-----------|----|-----------|---------|-------|
| F | F | Santa Isabel | 117,2 | 0,001562 | 48,171 | 2,709185 | 1,2969 | 0,0982469 | 15 | -0,010566 | 56,4 | 51,9 |
| | | Emborai | 12,9 | 0,001562 | 46,584 | 2,709185 | 1,2917 | 0,0982469 | 47 | -0,010566 | 50,9 | 295,4 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------------|------|----------|--------|----------|--------|-----------|----|-----------|--------------------|--------------|
| | | PA-256 Rio Acará | 82,4 | 0,001562 | 48,245 | 2,709185 | 2,4206 | 0,0982469 | 47 | -0,010566 | 59,5 | 27,8 |
| | | Mirim | 37,6 | 0,001562 | 47,53 | 2,709185 | 2,4261 | 0,0982469 | 90 | -0,010566 | 56,8 | 51,0 |
| | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | Média (E%): | 106,5 |

DEZEMBRO

| Modelo | Potência | Região | Estação Alvo | Po (mm) | a | LO | b | LA | c | H | d | Ps (mm) | E (%) |
|--------|----------|--------|-------------------|---------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|----|----------|--------------------|-------------|
| | | F | Santa Isabel | 201,9 | 0,0750014 | 48,171 | 1,9035667 | 1,2969 | 0,0730949 | 15 | -0,00329 | 121,0 | 40,1 |
| | | | Emborai | 56,5 | 0,0750014 | 46,584 | 1,9035667 | 1,2917 | 0,0730949 | 47 | -0,00329 | 113,1 | 100,3 |
| | | | PA-256 Rio Acará | 164,4 | 0,0750014 | 48,245 | 1,9035667 | 2,4206 | 0,0730949 | 47 | -0,00329 | 126,5 | 23,0 |
| | | | Mirim | 74,9 | 0,0750014 | 47,53 | 1,9035667 | 2,4261 | 0,0730949 | 90 | -0,00329 | 122,7 | 63,8 |
| | | | Faz. São Raimundo | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | Média (E%): | 56,8 |

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento de um modelo de regionalização e estimativa de chuvas para o Estado do Pará, considerando-se valores de precipitação média anual e mensal.

Para Precipitações Médias Anuais, o Pará apresenta seis regiões pluviometricamente homogêneas, para séries históricas contendo todos os anos (1960-1990), assim como para séries onde ocorreram eventos de El Niño e eventos de La Niña. Já para Precipitações Médias Mensais, o estado apresenta seis regiões pluviometricamente homogêneas, para a série completa (1960 a 1990), porém quando ocorrem os fenômenos meteorológicos de El Niño e La Niña, esta região apresenta quatro e cinco regiões homogêneas de precipitação, respectivamente.

Para estimativa da probabilidade de ocorrência de Precipitação Média Anual, tanto para série completa, quanto para séries com ocorrência de El Niño e La Niña, a função de distribuição Normal apresentou melhor aderência aos dados, em comparação com as outras funções estudadas neste trabalho. Porém, constatou-se que para se estimar Precipitações Médias Mensais, a função de distribuição Gumbel é a mais indicada, devido ter apresentado melhores ajustes às funções de excedência, tanto quando se utilizam as séries completas quanto para séries com ocorrências de eventos meteorológicos (El Niño e La Niña).

Observou-se que as alturas de chuva média anual e média mensal para o Estado do Pará são melhores estimadas através do modelo de regressão linear, quando considerada a série histórica completa (1960-1990) e a série com ocorrência de La Niña. Quando se considera a série com ocorrência do fenômeno El Niño, o modelo de potência é que o apresenta melhores resultados.

Para estimar alturas de chuva por meses no estado do Pará, o melhor modelo tanto para série completa quanto para série com ocorrência de El Niño é o modelo de potência; já para série com ocorrência de La Niña, as alturas de chuva são melhores representadas pelo modelo linear.

A utilização dos modelos estatísticos resultou em um desempenho satisfatório tanto para funções de distribuição de probabilidade quanto para regressão múltipla. Porém, para simulação de médias mensais com séries históricas para anos de La Niña os

resultados apresentados não foram satisfatórios, sendo descartada a presente metodologia para simulação de alturas de chuvas para o caso supramencionado.

5.1. SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, deixa-se o seguinte:

- Teste de outro método para definição de regiões homogêneas a título de comparação com o método Ward, por exemplo, lógica Fuzzy;

- Proposição de outro modelo para simulação de alturas de chuva, para os casos em que a presente metodologia falhou, por exemplo, métodos híbridos, integrando métodos de regressão e de interpolação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Inventário das estações e Séries Históricas. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acessado em Dezembro 2010.

ARNOLD and WILLIAM, 1990 J.G. ARNOLD, J.R. WILLIAM, Editors , SWRRB: A Basin Scale Simulation Model for Soil and Water Resource Management, Texas A&M University Press, College Station, TX (1990).

ASSIS, F.N. de; ARRUDA, H.V. de; PEREIRA, A.R. Aplicações de estatística a climatologia: teoria e prática. Pelotas: Universitária, 1996. 161p.

BECKER, C.T., BRAGA, C.C., CEBALLOS, J.C. Regionalização da precipitação e temperatura no Estado do Rio Grande do Sul a partir de análise de agrupamento. 1992.

BEIJO, L.A; MUNIZ, J. A; CASTRO NETO, P. Estudo do Ajuste de Distribuições de Probabilidade na Análise de Precipitações Máximas de Lavras-MG. In: 49a Reunião Anual da RBRAS - Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 2004, Uberlândia. 49a Reunião Anual da RBRAS - Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 2004.

BERNARDES, L. R. M. Determinação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado do Paraná, através de técnicas de análise multivariada. São Paulo, 1998, 136 p. Tese (Doutorado em Engenharia de transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998.

BOBÉE B, RASMUSSEN P. 1995. Recent advances in flood frequency analysis. US National Report of IUGG, 1991–1994.

BRAGA, C.C. Classificação de regiões pluviometricamente homogêneas através da análise multivariada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7, São Paulo. Anais...Sociedade Brasileira de Meteorologia.p.2341-43, 1992.

BRAGA, C.C., de MELO, M.L.D., MELO, E.C.S. Análise de agrupamento aplicada a distribuição da precipitação no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, Brasília-DF. Anais... Sociedade Brasileira de Meteorologia. p.1857-62, 1998.

BRAGA, C.C., SILVA, B.B. Determinação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6, Salvador – BA. Anais...Sociedade Brasileira de Meteorologia. p.200-205,1990.

BRAGA, C.C., TARGINO, A.C. L. Análise objetiva da distribuição pluviométrica no Estado de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8, Congresso Latino Americano,2, Belo Horizonte - MG. Anais...:p.382-384,1994.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E. E. (Ed.). Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura. 2. ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CPAC, pp.3-11, 1998.

CATALUNHA, J. M. *et al.* 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.

CÓRDOVA, R. N.; PINHEIRO, A.; PINHEIRO, I. G. Regionalização da curva de permanência como base para o gerenciamento da Bacia do Itajaí. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

COSTA, J. A. Classificação automática e análise de dados por redes neurais auto-organizáveis. 1999. Tese – Universidade de Campinas, Campinas, São Paulo.

COSTA F.F DA, OVLIVEIRA G.D.DE, CAIXETA P.R.C, SANTOS G. R. DOS,, 2012. Espacialização de Precipitação Máxima Média com Interpolador Geoestatístico:

Krigagem. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 06- 09 de Maio de 2012 p. 001 - 008

CRUZ, CD.,1997. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.UFV Viçosa, 390 p.

CRUZ M.A.S, SOUZA L.A.S, ARAGÃO R.DE, SILVA, R.R.S, MOTA P.V.M. DA., 2013. Aplicação de Regressão Linear Múltipla para estimativa da Precipitação Média Anual considerando a variabilidade espacial no Estado de Sergipe. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRH. Bento Gonçalves/RS

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Informativo: Clima da Amazônia. Gilberto Fish (CTA/IAE-ACA), José A. Marengo e Carlos A. Nobre (CPTEC/INPE). www.cptec.inpe.br/. Acesso em: 29/07/2014.

DAVIES D.L., BOULDIN D.W.. A cluster separation measure. 1979. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 1 (4). 224-227.

DINGMAN, S. L. 1978. Sintesis of flow-duration curves for unregulated streams in New Hampshire. In: Water Resour. Bull., 14 (6), 1481 – 1502.

DINIZ, G. B. et al. Identificação de regiões homogêneas de temperaturas máxima e mínima do Rio Grande do Sul. Rev. Bras. Agro. Santa Maria, v.11, n.2, p. 303 – 312, 2003.

DUAN, J.; SELKER, J.; GRANT, G.E. Evaluation of probability density functions in precipitation models for the Pacific Northwest. Journal of the American Water Resources Association, v.34, p.617-627, 1998.

EVSUKOFF A. G. ; GENTIL S. Recurrent neuro-fuzzy system for fault detection and isolation in nuclear reactors. Advanced Engineering Informatics, v. 19, p. 55-66, 2005

FECHINE, J. A. L.; GALVÍNCIO, J. D. Agrupamento da precipitação mensal da bacia hidrográfica do rio Brigida-PE, através da multivariada. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife-PE. V. 01 n. 01, Mai/Ago, 2008, 39-46.

FERREIRA, D.F. Estatística Multivariada. 1. ed. Lavras: UFLA, 2008.

FILHO, T. K, ASSAD, E.D, LIMA, P.R.S.R. Regiões Pluviometricamente Homogêneas no Brasil. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.40, n.4, p.311-322, abr. 2005

FRANRE, R. Smooth interpolation of scattered path by local thin plate splines. Comp. Math. Appl. (Great Britain), 8 4 (1982), pp. 237–281

FREI, F. Introdução à análise de agrupamento: teoria e prática. São Paulo: UNESP, 2006

GAÁL, L.; SZOLGAY, J.; LAPIN, M.; FASKO, P. Hybrid Approach to delineation of Homogeneous Regions for regional Precipitation Frequency Analysis. J. Hydrol. Hydromech, 57, 2009, 4, 226-249.

Global Climate Resource Pages Center for Climatic Research Department of Geography
University of Delaware Newark Germany
(http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/sa_ts_P.html)

GUIA GEOGRÁFICO. Disponível em: <http://www.mapas-brasil.com/para.htm>.
Acessado em Dezembro 2011.

HAIR Jr, J. F., ANDERSON, R. E., TATHAM, R.L., BLACK, W.C. Análise Multivariada de Dados. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. MARCELINI, S.S.,

HANSON, L., VOGEL R.M. The Probability Distribution of Daily Rainfall in the United States, ASCE-EWRI, World Water & Environmental Resources Congress 2008, Hawaii, 2008.

HASTINGS, N.A.J.; PEACOCK, J.B. Statistical distributions: a handbook for students and practitioners. New York: J. Wiley, 1975. 130p.

HONG WEI, JIAN- LONG LI, TIAN- GANG LIANG. Study on the estimation of precipitation resources for rainwater harvesting agriculture in semi-arid land of China. *Agricultural Water Management* 71 (2005) 33–45.

HOSKING, J. R. M., AND WALLIS, J. R. (1997). *Regional frequency analysis: an approach based on L-moments*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

HUNGERFORD, 1989 HUNGERFORD, Editor, MTCLIM: A Mountain Microclimate Simulation Model INT-414, Department of Agriculture, Forest Service, Washington DC, US (1989), p. 52

HUTCHINSON, 1989 HUTCHINSON, M.F., 1989. A new objective method of spatial interpolation of meteorological variables from irregular networks applied to the estimation of monthly mean solar radiation, temperature, precipitation and windrun. In:

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. 2013. Projeto Levantamento e Classificação do Uso da Terra. Uso da Terra no Estado do Pará. Relatório Técnico, 149 pp IBGE, Rio de Janeiro, Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/usoterra_pa.pdf

ISHIHARA J. H., FERNANDES L.L., DUARTE A.A.A.M., DUARTE A.R.C.L.M., PONTE M.X., LOREIRO G.E., 2014, Quantitative and Spatial Assessment of Precipitation in the Brazilian Amazon (Legal Amazon) - (1978 to 2007). RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.1 —Jan/Mar 2014, pg.29-39

KAVISKY, E., MINE, M.R.M., KRUGER, C.M. Regiões homogêneas de precipitação e vazão para o Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

METEOROLOGIA, 9,Campos do Jordão-SP. Anais.Sociedade Brasileira de Meteorologia p.241-243,1996.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). Brazil in relief (in Portuguese). 2005. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. Available in: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Accessed: May 8, 2013.

KAVISKY, E.; FIOR, M. T. A. B. 1985. Regionalização de curvas de permanência de vazões médias diárias em pequenas bacias hidrográficas do Estado do Paraná. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 6 e Simpósio Internacional de Recursos Hídricos em Regiões Metropolitanas. Anais, ABRH Vol. 3, p.188 – 200.

KELLER FILHO, T. K.; ASSAD, E. D.; LIMA, R. S. R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. Pesq. Agro. Bras. Vol. 40 n. 4 Brasília, Abr. 2005.

LANNA, A. E.; SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M., 1983. Regionalização de vazões mínimas na bacia do rio Jacuí, RS. In: Anais do X Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. Vol.3. Blumenau, SC – p. 109-131.

LIBERATO, J. R. Aplicações de técnicas de análise multivariada em fitopatologia. Viçosa: UFV, 1995. 144p. Dissertação Mestrado

LUCAS, E. W. M.; SOUSA, F. A. S.; MENEZES, R. H. N.; COSTA, R. F.; OLIVEIRA, L. L. Regionalização da precipitação na bacia hidrográfica do Xingu, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, 2006, Florianópolis. Anais.2006. 1 CD-ROM.

LYRA, G.B; GARCIA, B.I.L; PIEDADE, S.M.S; SEDIYAMA, G.C; SENTELHAS, P.C. Regiões homogenias e funções de distribuição de probabilidade de precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. Pesq.agropec.brás, Brasília, v.41, n.2, p.205-215, fev.2006.

MALHOTRA, N (2006). Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada. Trad. Laura Bocco, 4 ed. Porto Alegre: Bookman.

MANLY, B. F. J. Multivariate statistical methods. London: Chapman and Hall, 1994. 215p.

MEKANIK F., IMTEAZ M.A., GATO-TRINIDAD S., ELMAHDI A., 2013. Multiple regression and Artificial Neural Network for long-term rainfall forecasting using large scale climate modes. Journal of Hydrology 503 (2013) 11–21

MIMIKOU, M. and KAEMAKI, S. (1985), Regionalization of flow duration characteristics. Journal of Hydrology 82, 77-91.

MINGOTI, S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MORA R.D, BOUVIER C., NEPEL L. E NIEL H. Approche régionale pour l'estimation des distributions ponctuelles des pluies journalières dans le Languedoc-Roussillon (France). Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, 50(1) Fevereiro de 2005.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. Correlação e regressão. Hidrologia e Estatística. Belo Horizonte: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2007. Capítulos 09 e 10, p. 381 – 468 (2007).

OLIVEIRA, G.S. O El Niño e Você - O fenômeno climático. Editora Transtec - São José dos Campos (SP), março de 2001

PEREIRA, G. C. Mineração de dados para análise e diagnóstico ambiental. Tese, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

PESSOA, F.C.L; BLANCO, C.J.C; MARTINS, J.R. Regionalização de curvas de permanência de vazão da região da Calha Norte no Estado do Pará. Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH. V 16 n2. 2011

QUIMPO, R. G., ALEJANDRINO, A. A. and McNALLY, T. A., 1983. Regionalized flow duration for Philippines. J. Water Resour. Plann. Manage., 109 (4): 320-330.

RAJU K. S., e KUMAR D.N. Classification of Indian meteorological stations using cluster and fuzzy cluster analysis, and Kohonen artificial neural networks. Nordic Hydrology Vol 38 No 3 pp 303–314 q IWA Publishing 2007

REIS, J. A. T.; CRISTO, J. N.; ELESBON, A. A. A.; MENDONÇA, A. S. F. (2006), Regionalização de curvas de permanência de vazão para rios do Estado do Espírito Santo. Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia, Vitória, Nº 01, p. 28-35, 2. sem.2006.

RIGGS, H. C. Regional Analyses of Streamflow. U.S. Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations. Book 4, U.S. Geological Survey, Washington, D.C. 1973.

RODRIGUES, M.F.G.,AZEVEDO, P.V., SILVA, B.B. Uso da classificação hierárquica na identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9,Campos do Jordão-SP. Anais... Sociedade Brasileira de Meteorologia p. 275-276,1996.

ROJANAMON, P.; CHAISOMPHOB, T. e RATTANAPITIKON, W. Monthly flow duration for the Salawin river basin, Thailand. PO Box 22, Thammasat-Rangsit Post Office Pathumthani 12121 (1990).

SILVA, A.A.G., BRAGA, C.C., OLIVEIRA, L.S. Análise de agrupamento aplicada ao regime pluviométrico da costa leste e norte do Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9,Campos do Jordão-SP. Anais... Sociedade Brasileira de Meteorologia p. 231-235,1996.

SILVA, B.; CLARKE, R. Análise estatística de chuvas intensas na bacia do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.19, n.3, p. 265 – 272, 2004.

SILVA, C. J. et al. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB, v.11, n.1, p. 67-72, 2007.

SILVA, F.A.M. da; ASSAD, E.D. Análise temporal do potencial hídrico climático do Estado de Goiás. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. (Org.). *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. 2.ed. Brasília: Embrapa SPI, 1998. p.273-309.

SILVA, J. B. et al. Modelagem das chuvas trimestrais por regiões homogêneas no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.9, n.2, p.317-324, 2001.

SILVA, S.T., BRAGA, C.C., ARAGÃO, M.R.S. Influência do El Nino - Oscilação Sul na distribuição espacial e temporal da precipitação no Estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9, Campos do Jordão-SP. Anais... Sociedade Brasileira de Meteorologia p. 236-239, 1996.

SINGH, K. P., 1971. Model flow duration and stream flow variability. *Water Resour. Res.*, AGU, 7 (4): 1031-1036.

SOUZA, J.L., de AMORIM, R.F.C., CARVALHO, S.M.R., PEREIRA, J.O., Curi, P.R.C. Agrupamento de estações pluviométricas do Estado de Alagoas, utilizando-se análise multivariada. *Rev. Brasileira de Meteorologia*, v. 7, n.2, p.603-12, 1992.

ST-HILAIRE, A., T.B.M.J, OUARDA, M., LACHANCE, B. BOBÉE, M. BARBET & P., BRUNEAU (2003) La régionalisation des précipitations : une revue bibliographique des développements récents. *Rev. Sci Eau*. 16, 27-54

THOM, H.C.S. A note on the gamma distribution. *Monthly Weather Review*, v.86, p.117-122, 1958.

THOM, H. C. S. Same methods of climatological analyses. World Meteorological Organization, Geneva, 53p, 1966. (WMO, 199; TP, 103; Technical Note, 81.)

TUCCI, C. E. M. 1991. Regionalização de vazões no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: IPH/UFRGS. 2v. em 4.

TUCCI, C. E. M. 1997. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre. Editora da Universidade: ABRH/UFRGS. 2 ed. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4).

VALE, M. N. Agrupamentos de dados: Avaliação de Métodos e Desenvolvimento de Aplicativo para Análise de Grupos. Rio de Janeiro, 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

VILLELA S.M. e MATTOS A. (1975) Hidrologia Aplicada, Ed. McGraw-Hill, São Paulo, 245 pgs

VIRGI, H. (1981). A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. *Mon. Weather Rev.*, 109, 549-610.

WARD, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Statist. Assoc.* 58, 236-244

WILKS D., 2005: Statistical methods in the atmospheric sciences, second edition. Academic Press, San Diego, 648 pp.

XU R., WUNSCH D.C., 2008: Clustering IEEE Press Series on Computational Intelligence. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey.

YANG T., SHAO Q., HAO Z., CHEN X., ZHANG Z., XU C., e SUN L. Regional frequency analysis and spatio-temporal pattern characterization of rainfall extremes in the Pearl River Basin, China. *Journal of Hydrology* 380 (2010) 386–405.

YU, P. S.; YANG, T. C.; WANG, Y. C. Uncertainty analysis of regional flow duration curves. *J. Water Resour. Plann. Manage, ASCE*, 128(6), p. 424-30, 2002.

APÊNDICE I

IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS

I.1 PARA SÉRIE HISTÓRICA : 1960-1990

| ID | Longitude | Latitude | Altitude(m) | PMA (mm) | PMM (mm) |
|----|-----------|----------|-------------|----------|----------|
| 1 | -55,75 | 2,25 | 400 | 1976 | 165 |
| 2 | -55,25 | 2,25 | 400 | 2102 | 175 |
| 3 | -57,25 | 1,75 | 200 | 1996 | 166 |
| 4 | -56,75 | 1,75 | 300 | 2000 | 167 |
| 5 | -56,25 | 1,75 | 250 | 1999 | 167 |
| 6 | -55,75 | 1,75 | 250 | 2003 | 167 |
| 7 | -55,25 | 1,75 | 250 | 2075 | 173 |
| 8 | -54,75 | 1,75 | 250 | 2157 | 180 |
| 9 | -58,75 | 1,25 | 600 | 1893 | 158 |
| 10 | -58,25 | 1,25 | 550 | 1972 | 164 |
| 11 | -57,75 | 1,25 | 300 | 2017 | 168 |
| 12 | -57,25 | 1,25 | 150 | 2029 | 169 |
| 13 | -56,75 | 1,25 | 300 | 2029 | 169 |
| 14 | -56,25 | 1,25 | 300 | 2028 | 169 |
| 15 | -55,75 | 1,25 | 250 | 2039 | 170 |
| 16 | -55,25 | 1,25 | 250 | 2081 | 173 |
| 17 | -54,75 | 1,25 | 250 | 2153 | 179 |
| 18 | -54,25 | 1,25 | 300 | 2244 | 187 |
| 19 | -53,75 | 1,25 | 200 | 2314 | 193 |
| 20 | -58,75 | 0,75 | 600 | 1966 | 164 |
| 21 | -58,25 | 0,75 | 300 | 2048 | 171 |
| 22 | -57,75 | 0,75 | 300 | 2105 | 175 |
| 23 | -57,25 | 0,75 | 300 | 2120 | 177 |
| 24 | -56,75 | 0,75 | 150 | 2109 | 176 |
| 25 | -56,25 | 0,75 | 0 | 2094 | 175 |
| 26 | -55,75 | 0,75 | 250 | 2088 | 174 |
| 27 | -55,25 | 0,75 | 300 | 2104 | 175 |
| 28 | -54,75 | 0,75 | 0 | 2152 | 179 |
| 29 | -54,25 | 0,75 | 300 | 2223 | 185 |
| 30 | -53,75 | 0,75 | 200 | 2316 | 193 |
| 31 | -53,25 | 0,75 | 200 | 2362 | 197 |
| 32 | -58,75 | 0,25 | 200 | 2053 | 171 |
| 33 | -58,25 | 0,25 | 150 | 2137 | 178 |
| 34 | -57,75 | 0,25 | 150 | 2222 | 185 |
| 35 | -57,25 | 0,25 | 250 | 2264 | 189 |
| 36 | -56,75 | 0,25 | 200 | 2267 | 189 |
| 37 | -56,25 | 0,25 | 200 | 2239 | 187 |
| 38 | -55,75 | 0,25 | 200 | 2199 | 183 |
| 39 | -55,25 | 0,25 | 200 | 2164 | 180 |
| 40 | -54,75 | 0,25 | 350 | 2170 | 181 |
| 41 | -54,25 | 0,25 | 300 | 2209 | 184 |
| 42 | -53,75 | 0,25 | 200 | 2268 | 189 |
| 43 | -53,25 | 0,25 | 200 | 2371 | 198 |
| 44 | -50,25 | 0,25 | 0 | 2896 | 241 |
| 45 | -49,75 | 0,25 | 0 | 2875 | 240 |
| 46 | -58,75 | -0,25 | 300 | 2117 | 176 |
| 47 | -58,25 | -0,25 | 150 | 2193 | 183 |
| 48 | -57,75 | -0,25 | 200 | 2284 | 190 |
| 49 | -57,25 | -0,25 | 150 | 2352 | 196 |
| 50 | -56,75 | -0,25 | 150 | 2373 | 198 |
| 51 | -56,25 | -0,25 | 250 | 2349 | 196 |
| 52 | -55,75 | -0,25 | 150 | 2283 | 190 |
| 53 | -55,25 | -0,25 | 250 | 2188 | 182 |
| 54 | -54,75 | -0,25 | 250 | 2145 | 179 |
| 55 | -54,25 | -0,25 | 300 | 2178 | 181 |
| 56 | -53,75 | -0,25 | 200 | 2227 | 186 |
| 57 | -53,25 | -0,25 | 200 | 2270 | 189 |
| 58 | -52,75 | -0,25 | 50 | 2343 | 195 |
| 59 | -51,25 | -0,25 | 0 | 2515 | 210 |
| 60 | -50,75 | -0,25 | 0 | 2707 | 226 |
| 61 | -50,25 | -0,25 | 0 | 2933 | 244 |
| 62 | -49,75 | -0,25 | 0 | 2926 | 244 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 63 | -49,25 | -0,25 | 0 | 3111 | 259 |
| 64 | -48,75 | -0,25 | 0 | 3043 | 254 |
| 65 | -58,25 | -0,75 | 200 | 2197 | 183 |
| 66 | -57,75 | -0,75 | 100 | 2286 | 190 |
| 67 | -57,25 | -0,75 | 100 | 2385 | 199 |
| 68 | -56,75 | -0,75 | 200 | 2407 | 201 |
| 69 | -56,25 | -0,75 | 150 | 2384 | 199 |
| 70 | -55,75 | -0,75 | 200 | 2301 | 192 |
| 71 | -55,25 | -0,75 | 400 | 2164 | 180 |
| 72 | -54,75 | -0,75 | 250 | 2082 | 174 |
| 73 | -54,25 | -0,75 | 300 | 2106 | 176 |
| 74 | -53,75 | -0,75 | 300 | 2169 | 181 |
| 75 | -53,25 | -0,75 | 100 | 2200 | 183 |
| 76 | -52,75 | -0,75 | 200 | 2271 | 189 |
| 77 | -51,25 | -0,75 | 0 | 2561 | 213 |
| 78 | -50,75 | -0,75 | 0 | 2689 | 224 |
| 79 | -50,25 | -0,75 | 0 | 2777 | 231 |
| 80 | -49,75 | -0,75 | 0 | 2846 | 237 |
| 81 | -49,25 | -0,75 | 0 | 2807 | 234 |
| 82 | -48,75 | -0,75 | 0 | 3001 | 250 |
| 83 | -48,25 | -0,75 | 0 | 3057 | 255 |
| 84 | -47,75 | -0,75 | 0 | 2899 | 242 |
| 85 | -47,25 | -0,75 | 0 | 2739 | 228 |
| 86 | -57,75 | -1,25 | 100 | 2239 | 187 |
| 87 | -57,25 | -1,25 | 50 | 2376 | 198 |
| 88 | -56,75 | -1,25 | 50 | 2414 | 201 |
| 89 | -56,25 | -1,25 | 50 | 2393 | 199 |
| 90 | -55,75 | -1,25 | 100 | 2306 | 192 |
| 91 | -55,25 | -1,25 | 200 | 2140 | 178 |
| 92 | -54,75 | -1,25 | 400 | 2043 | 170 |
| 93 | -54,25 | -1,25 | 400 | 2004 | 167 |
| 94 | -53,75 | -1,25 | 400 | 2048 | 171 |
| 95 | -53,25 | -1,25 | 100 | 2104 | 175 |
| 96 | -52,75 | -1,25 | 100 | 2175 | 181 |
| 97 | -52,25 | -1,25 | 0 | 2285 | 190 |
| 98 | -51,75 | -1,25 | 0 | 2380 | 198 |
| 99 | -51,25 | -1,25 | 0 | 2577 | 215 |
| 100 | -50,75 | -1,25 | 0 | 2609 | 217 |
| 101 | -50,25 | -1,25 | 0 | 2664 | 222 |
| 102 | -49,75 | -1,25 | 0 | 2711 | 226 |
| 103 | -49,25 | -1,25 | 0 | 2714 | 226 |
| 104 | -48,75 | -1,25 | 0 | 2640 | 220 |
| 105 | -48,25 | -1,25 | 0 | 2833 | 236 |
| 106 | -47,75 | -1,25 | 0 | 2760 | 230 |
| 107 | -47,25 | -1,25 | 0 | 2685 | 224 |
| 108 | -46,75 | -1,25 | 0 | 2605 | 217 |
| 109 | -46,25 | -1,25 | 0 | 2386 | 199 |
| 110 | -57,25 | -1,75 | 100 | 2301 | 192 |
| 111 | -56,75 | -1,75 | 100 | 2351 | 196 |
| 112 | -56,25 | -1,75 | 0 | 2352 | 196 |
| 113 | -55,75 | -1,75 | 100 | 2292 | 191 |
| 114 | -55,25 | -1,75 | 100 | 2114 | 176 |
| 115 | -54,75 | -1,75 | 0 | 2009 | 167 |
| 116 | -54,25 | -1,75 | 100 | 1916 | 160 |
| 117 | -53,75 | -1,75 | 0 | 1979 | 165 |
| 118 | -53,25 | -1,75 | 0 | 2039 | 170 |
| 119 | -52,75 | -1,75 | 0 | 2141 | 178 |
| 120 | -52,25 | -1,75 | 0 | 2248 | 187 |
| 121 | -51,75 | -1,75 | 0 | 2284 | 190 |
| 122 | -51,25 | -1,75 | 0 | 2358 | 197 |
| 123 | -50,75 | -1,75 | 0 | 2417 | 201 |
| 124 | -50,25 | -1,75 | 0 | 2475 | 206 |
| 125 | -49,75 | -1,75 | 0 | 2580 | 215 |
| 126 | -49,25 | -1,75 | 0 | 2687 | 224 |
| 127 | -48,75 | -1,75 | 0 | 2731 | 228 |
| 128 | -48,25 | -1,75 | 0 | 2728 | 227 |
| 129 | -47,75 | -1,75 | 0 | 2684 | 224 |
| 130 | -47,25 | -1,75 | 0 | 2601 | 217 |
| 131 | -46,75 | -1,75 | 0 | 2526 | 210 |
| 132 | -46,25 | -1,75 | 0 | 2417 | 201 |
| 133 | -56,25 | -2,25 | 0 | 2282 | 190 |
| 134 | -55,75 | -2,25 | 0 | 2204 | 184 |
| 135 | -55,25 | -2,25 | 0 | 2093 | 174 |
| 136 | -54,75 | -2,25 | 0 | 2113 | 176 |
| 137 | -54,25 | -2,25 | 0 | 2019 | 168 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 138 | -53,75 | -2,25 | 0 | 2014 | 168 |
| 139 | -53,25 | -2,25 | 0 | 2044 | 170 |
| 140 | -52,75 | -2,25 | 0 | 2121 | 177 |
| 141 | -52,25 | -2,25 | 0 | 2163 | 180 |
| 142 | -51,75 | -2,25 | 0 | 2243 | 187 |
| 143 | -51,25 | -2,25 | 0 | 2370 | 197 |
| 144 | -50,75 | -2,25 | 0 | 2409 | 201 |
| 145 | -50,25 | -2,25 | 0 | 2488 | 207 |
| 146 | -49,75 | -2,25 | 0 | 2561 | 213 |
| 147 | -49,25 | -2,25 | 0 | 2626 | 219 |
| 148 | -48,75 | -2,25 | 0 | 2646 | 220 |
| 149 | -48,25 | -2,25 | 0 | 2637 | 220 |
| 150 | -47,75 | -2,25 | 0 | 2588 | 216 |
| 151 | -47,25 | -2,25 | 0 | 2479 | 207 |
| 152 | -46,75 | -2,25 | 0 | 2390 | 199 |
| 153 | -56,25 | -2,75 | 100 | 2258 | 188 |
| 154 | -55,75 | -2,75 | 100 | 2173 | 181 |
| 155 | -55,25 | -2,75 | 100 | 2065 | 172 |
| 156 | -54,75 | -2,75 | 100 | 2071 | 173 |
| 157 | -54,25 | -2,75 | 100 | 1956 | 163 |
| 158 | -53,75 | -2,75 | 200 | 2058 | 172 |
| 159 | -53,25 | -2,75 | 100 | 2029 | 169 |
| 160 | -52,75 | -2,75 | 100 | 2033 | 169 |
| 161 | -52,25 | -2,75 | 100 | 2059 | 172 |
| 162 | -51,75 | -2,75 | 100 | 2142 | 178 |
| 163 | -51,25 | -2,75 | 0 | 2259 | 188 |
| 164 | -50,75 | -2,75 | 0 | 2361 | 197 |
| 165 | -50,25 | -2,75 | 0 | 2432 | 203 |
| 166 | -49,75 | -2,75 | 0 | 2489 | 207 |
| 167 | -49,25 | -2,75 | 0 | 2543 | 212 |
| 168 | -48,75 | -2,75 | 0 | 2585 | 215 |
| 169 | -48,25 | -2,75 | 0 | 2580 | 215 |
| 170 | -47,75 | -2,75 | 0 | 2437 | 203 |
| 171 | -47,25 | -2,75 | 50 | 2238 | 187 |
| 172 | -46,75 | -2,75 | 50 | 2165 | 180 |
| 173 | -56,75 | -3,25 | 100 | 2263 | 189 |
| 174 | -56,25 | -3,25 | 100 | 2299 | 192 |
| 175 | -55,75 | -3,25 | 100 | 2183 | 182 |
| 176 | -55,25 | -3,25 | 0 | 2089 | 174 |
| 177 | -54,75 | -3,25 | 100 | 2052 | 171 |
| 178 | -54,25 | -3,25 | 100 | 2015 | 168 |
| 179 | -53,75 | -3,25 | 200 | 1988 | 166 |
| 180 | -53,25 | -3,25 | 200 | 1962 | 164 |
| 181 | -52,75 | -3,25 | 100 | 1970 | 164 |
| 182 | -52,25 | -3,25 | 100 | 1991 | 166 |
| 183 | -51,75 | -3,25 | 100 | 2054 | 171 |
| 184 | -51,25 | -3,25 | 100 | 2167 | 181 |
| 185 | -50,75 | -3,25 | 100 | 2237 | 186 |
| 186 | -50,25 | -3,25 | 50 | 2311 | 193 |
| 187 | -49,75 | -3,25 | 0 | 2380 | 198 |
| 188 | -49,25 | -3,25 | 0 | 2422 | 202 |
| 189 | -48,75 | -3,25 | 100 | 2403 | 200 |
| 190 | -48,25 | -3,25 | 100 | 2291 | 191 |
| 191 | -47,75 | -3,25 | 50 | 2090 | 174 |
| 192 | -47,25 | -3,25 | 50 | 1978 | 165 |
| 193 | -56,75 | -3,75 | 100 | 2240 | 187 |
| 194 | -56,25 | -3,75 | 100 | 2200 | 183 |
| 195 | -55,75 | -3,75 | 100 | 2123 | 177 |
| 196 | -55,25 | -3,75 | 100 | 2101 | 175 |
| 197 | -54,75 | -3,75 | 200 | 2035 | 170 |
| 198 | -54,25 | -3,75 | 200 | 2022 | 169 |
| 199 | -53,75 | -3,75 | 100 | 1960 | 163 |
| 200 | -53,25 | -3,75 | 200 | 1916 | 160 |
| 201 | -52,75 | -3,75 | 200 | 1893 | 158 |
| 202 | -52,25 | -3,75 | 200 | 1982 | 165 |
| 203 | -51,75 | -3,75 | 100 | 2022 | 169 |
| 204 | -51,25 | -3,75 | 100 | 2092 | 174 |
| 205 | -50,75 | -3,75 | 200 | 2112 | 176 |
| 206 | -50,25 | -3,75 | 50 | 2152 | 179 |
| 207 | -49,75 | -3,75 | 200 | 2263 | 189 |
| 208 | -49,25 | -3,75 | 50 | 2214 | 185 |
| 209 | -48,75 | -3,75 | 100 | 2117 | 176 |
| 210 | -48,25 | -3,75 | 100 | 1940 | 162 |
| 211 | -47,75 | -3,75 | 200 | 1734 | 144 |
| 212 | -47,25 | -3,75 | 150 | 1696 | 141 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 213 | -56,75 | -4,25 | 100 | 2179 | 182 |
| 214 | -56,25 | -4,25 | 100 | 2105 | 175 |
| 215 | -55,75 | -4,25 | 100 | 2083 | 174 |
| 216 | -55,25 | -4,25 | 200 | 2112 | 176 |
| 217 | -54,75 | -4,25 | 300 | 2014 | 168 |
| 218 | -54,25 | -4,25 | 300 | 2013 | 168 |
| 219 | -53,75 | -4,25 | 200 | 1961 | 163 |
| 220 | -53,25 | -4,25 | 150 | 1906 | 159 |
| 221 | -52,75 | -4,25 | 200 | 1886 | 157 |
| 222 | -52,25 | -4,25 | 150 | 1934 | 161 |
| 223 | -51,75 | -4,25 | 150 | 1986 | 165 |
| 224 | -51,25 | -4,25 | 150 | 2026 | 169 |
| 225 | -50,75 | -4,25 | 150 | 2045 | 170 |
| 226 | -50,25 | -4,25 | 100 | 2054 | 171 |
| 227 | -49,75 | -4,25 | 50 | 2044 | 170 |
| 228 | -49,25 | -4,25 | 100 | 1980 | 165 |
| 229 | -48,75 | -4,25 | 100 | 1887 | 157 |
| 230 | -48,25 | -4,25 | 200 | 1719 | 143 |
| 231 | -47,75 | -4,25 | 300 | 1561 | 130 |
| 232 | -57,25 | -4,75 | 250 | 2185 | 182 |
| 233 | -56,75 | -4,75 | 100 | 2154 | 180 |
| 234 | -56,25 | -4,75 | 100 | 2139 | 178 |
| 235 | -55,75 | -4,75 | 300 | 2128 | 177 |
| 236 | -55,25 | -4,75 | 200 | 2105 | 175 |
| 237 | -54,75 | -4,75 | 200 | 2044 | 170 |
| 238 | -54,25 | -4,75 | 150 | 2035 | 170 |
| 239 | -53,75 | -4,75 | 200 | 1986 | 166 |
| 240 | -53,25 | -4,75 | 300 | 1933 | 161 |
| 241 | -52,75 | -4,75 | 200 | 1898 | 158 |
| 242 | -52,25 | -4,75 | 200 | 1920 | 160 |
| 243 | -51,75 | -4,75 | 200 | 1941 | 162 |
| 244 | -51,25 | -4,75 | 200 | 1953 | 163 |
| 245 | -50,75 | -4,75 | 200 | 1961 | 163 |
| 246 | -50,25 | -4,75 | 200 | 1939 | 162 |
| 247 | -49,75 | -4,75 | 200 | 1894 | 158 |
| 248 | -49,25 | -4,75 | 100 | 1856 | 155 |
| 249 | -48,75 | -4,75 | 200 | 1776 | 148 |
| 250 | -48,25 | -4,75 | 200 | 1662 | 138 |
| 251 | -57,25 | -5,25 | 200 | 2194 | 183 |
| 252 | -56,75 | -5,25 | 100 | 2127 | 177 |
| 253 | -56,25 | -5,25 | 200 | 2205 | 184 |
| 254 | -55,75 | -5,25 | 200 | 2200 | 183 |
| 255 | -55,25 | -5,25 | 200 | 2179 | 182 |
| 256 | -54,75 | -5,25 | 300 | 2111 | 176 |
| 257 | -54,25 | -5,25 | 300 | 2080 | 173 |
| 258 | -53,75 | -5,25 | 200 | 2029 | 169 |
| 259 | -53,25 | -5,25 | 200 | 1987 | 166 |
| 260 | -52,75 | -5,25 | 200 | 1970 | 164 |
| 261 | -52,25 | -5,25 | 200 | 1945 | 162 |
| 262 | -51,75 | -5,25 | 200 | 1927 | 161 |
| 263 | -51,25 | -5,25 | 150 | 1904 | 159 |
| 264 | -50,75 | -5,25 | 150 | 1881 | 157 |
| 265 | -50,25 | -5,25 | 200 | 1836 | 153 |
| 266 | -49,75 | -5,25 | 200 | 1814 | 151 |
| 267 | -49,25 | -5,25 | 50 | 1771 | 148 |
| 268 | -48,75 | -5,25 | 50 | 1716 | 143 |
| 269 | -57,75 | -5,75 | 200 | 2298 | 191 |
| 270 | -57,25 | -5,75 | 100 | 2251 | 188 |
| 271 | -56,75 | -5,75 | 200 | 2240 | 187 |
| 272 | -56,25 | -5,75 | 100 | 2295 | 191 |
| 273 | -55,75 | -5,75 | 200 | 2470 | 206 |
| 274 | -55,25 | -5,75 | 200 | 2250 | 188 |
| 275 | -54,75 | -5,75 | 150 | 2168 | 181 |
| 276 | -54,25 | -5,75 | 150 | 2115 | 176 |
| 277 | -53,75 | -5,75 | 300 | 2061 | 172 |
| 278 | -53,25 | -5,75 | 250 | 2006 | 167 |
| 279 | -52,75 | -5,75 | 200 | 1980 | 165 |
| 280 | -52,25 | -5,75 | 300 | 1957 | 163 |
| 281 | -51,75 | -5,75 | 150 | 1929 | 161 |
| 282 | -51,25 | -5,75 | 200 | 1881 | 157 |
| 283 | -50,75 | -5,75 | 150 | 1828 | 152 |
| 284 | -50,25 | -5,75 | 150 | 1773 | 148 |
| 285 | -49,75 | -5,75 | 150 | 1752 | 146 |
| 286 | -49,25 | -5,75 | 100 | 1696 | 141 |
| 287 | -48,75 | -5,75 | 200 | 1601 | 133 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 288 | -48,25 | -5,75 | 100 | 1554 | 130 |
| 289 | -57,75 | -6,25 | 50 | 2370 | 197 |
| 290 | -57,25 | -6,25 | 200 | 2326 | 194 |
| 291 | -56,75 | -6,25 | 200 | 2298 | 191 |
| 292 | -56,25 | -6,25 | 150 | 2296 | 191 |
| 293 | -55,75 | -6,25 | 200 | 2256 | 188 |
| 294 | -55,25 | -6,25 | 300 | 2240 | 187 |
| 295 | -54,75 | -6,25 | 250 | 2210 | 184 |
| 296 | -54,25 | -6,25 | 250 | 2169 | 181 |
| 297 | -53,75 | -6,25 | 300 | 2099 | 175 |
| 298 | -53,25 | -6,25 | 250 | 2022 | 168 |
| 299 | -52,75 | -6,25 | 250 | 1968 | 164 |
| 300 | -52,25 | -6,25 | 300 | 1938 | 162 |
| 301 | -51,75 | -6,25 | 250 | 1904 | 159 |
| 302 | -51,25 | -6,25 | 400 | 1854 | 154 |
| 303 | -50,75 | -6,25 | 250 | 1806 | 150 |
| 304 | -50,25 | -6,25 | 400 | 1762 | 147 |
| 305 | -49,75 | -6,25 | 200 | 1716 | 143 |
| 306 | -49,25 | -6,25 | 200 | 1667 | 139 |
| 307 | -48,75 | -6,25 | 200 | 1612 | 134 |
| 308 | -58,25 | -6,75 | 200 | 2445 | 204 |
| 309 | -57,75 | -6,75 | 200 | 2406 | 200 |
| 310 | -57,25 | -6,75 | 200 | 2381 | 198 |
| 311 | -56,75 | -6,75 | 200 | 2341 | 195 |
| 312 | -56,25 | -6,75 | 200 | 2283 | 190 |
| 313 | -55,75 | -6,75 | 300 | 2244 | 187 |
| 314 | -55,25 | -6,75 | 400 | 2239 | 187 |
| 315 | -54,75 | -6,75 | 300 | 2257 | 188 |
| 316 | -54,25 | -6,75 | 300 | 2227 | 186 |
| 317 | -53,75 | -6,75 | 250 | 2148 | 179 |
| 318 | -53,25 | -6,75 | 300 | 2039 | 170 |
| 319 | -52,75 | -6,75 | 300 | 1956 | 163 |
| 320 | -52,25 | -6,75 | 400 | 1914 | 160 |
| 321 | -51,75 | -6,75 | 200 | 1828 | 152 |
| 322 | -51,25 | -6,75 | 300 | 1849 | 154 |
| 323 | -50,75 | -6,75 | 400 | 1811 | 151 |
| 324 | -50,25 | -6,75 | 250 | 1770 | 148 |
| 325 | -49,75 | -6,75 | 250 | 1721 | 143 |
| 326 | -49,25 | -6,75 | 200 | 1710 | 143 |
| 327 | -57,75 | -7,25 | 300 | 2451 | 204 |
| 328 | -57,25 | -7,25 | 200 | 2442 | 203 |
| 329 | -56,75 | -7,25 | 250 | 2388 | 199 |
| 330 | -56,25 | -7,25 | 200 | 2321 | 193 |
| 331 | -55,75 | -7,25 | 300 | 2288 | 191 |
| 332 | -55,25 | -7,25 | 300 | 2299 | 192 |
| 333 | -54,75 | -7,25 | 250 | 2315 | 193 |
| 334 | -54,25 | -7,25 | 250 | 2255 | 188 |
| 335 | -53,75 | -7,25 | 300 | 2173 | 181 |
| 336 | -53,25 | -7,25 | 400 | 2049 | 171 |
| 337 | -52,75 | -7,25 | 300 | 1946 | 162 |
| 338 | -52,25 | -7,25 | 400 | 1883 | 157 |
| 339 | -51,75 | -7,25 | 250 | 1839 | 153 |
| 340 | -51,25 | -7,25 | 250 | 1815 | 151 |
| 341 | -50,75 | -7,25 | 300 | 1799 | 150 |
| 342 | -50,25 | -7,25 | 300 | 1776 | 148 |
| 343 | -49,75 | -7,25 | 200 | 1740 | 145 |
| 344 | -49,25 | -7,25 | 150 | 1745 | 145 |
| 345 | -57,75 | -7,75 | 100 | 2481 | 207 |
| 346 | -57,25 | -7,75 | 300 | 2476 | 206 |
| 347 | -56,75 | -7,75 | 300 | 2418 | 202 |
| 348 | -56,25 | -7,75 | 300 | 2350 | 196 |
| 349 | -55,75 | -7,75 | 250 | 2314 | 193 |
| 350 | -55,25 | -7,75 | 250 | 2307 | 192 |
| 351 | -54,75 | -7,75 | 250 | 2300 | 192 |
| 352 | -54,25 | -7,75 | 350 | 2255 | 188 |
| 353 | -53,75 | -7,75 | 350 | 2176 | 181 |
| 354 | -53,25 | -7,75 | 350 | 2051 | 171 |
| 355 | -52,75 | -7,75 | 350 | 1941 | 162 |
| 356 | -52,25 | -7,75 | 400 | 1888 | 157 |
| 357 | -51,75 | -7,75 | 400 | 1844 | 154 |
| 358 | -51,25 | -7,75 | 300 | 1780 | 148 |
| 359 | -50,75 | -7,75 | 400 | 1781 | 148 |
| 360 | -50,25 | -7,75 | 300 | 1777 | 148 |
| 361 | -49,75 | -7,75 | 150 | 1752 | 146 |
| 362 | -49,25 | -7,75 | 150 | 1771 | 148 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 363 | -57,25 | -8,25 | 300 | 2434 | 203 |
| 364 | -56,75 | -8,25 | 400 | 2407 | 201 |
| 365 | -56,25 | -8,25 | 500 | 2359 | 197 |
| 366 | -55,75 | -8,25 | 350 | 2324 | 194 |
| 367 | -55,25 | -8,25 | 350 | 2299 | 192 |
| 368 | -54,75 | -8,25 | 300 | 2279 | 190 |
| 369 | -54,25 | -8,25 | 500 | 2235 | 186 |
| 370 | -53,75 | -8,25 | 300 | 2158 | 180 |
| 371 | -53,25 | -8,25 | 300 | 2038 | 170 |
| 372 | -52,75 | -8,25 | 300 | 1928 | 161 |
| 373 | -52,25 | -8,25 | 400 | 1888 | 157 |
| 374 | -51,75 | -8,25 | 500 | 1853 | 154 |
| 375 | -51,25 | -8,25 | 300 | 1808 | 151 |
| 376 | -50,75 | -8,25 | 400 | 1795 | 150 |
| 377 | -50,25 | -8,25 | 200 | 1787 | 149 |
| 378 | -49,75 | -8,25 | 200 | 1762 | 147 |
| 379 | -49,25 | -8,25 | 150 | 1772 | 148 |
| 380 | -57,25 | -8,75 | 200 | 2379 | 198 |
| 381 | -56,75 | -8,75 | 250 | 2371 | 198 |
| 382 | -56,25 | -8,75 | 350 | 2354 | 196 |
| 383 | -55,75 | -8,75 | 500 | 2327 | 194 |
| 384 | -55,25 | -8,75 | 500 | 2301 | 192 |
| 385 | -54,75 | -8,75 | 500 | 2265 | 189 |
| 386 | -54,25 | -8,75 | 500 | 2203 | 184 |
| 387 | -53,75 | -8,75 | 500 | 2136 | 178 |
| 388 | -53,25 | -8,75 | 300 | 2031 | 169 |
| 389 | -52,75 | -8,75 | 250 | 1926 | 161 |
| 390 | -52,25 | -8,75 | 300 | 1875 | 156 |
| 391 | -51,75 | -8,75 | 400 | 1850 | 154 |
| 392 | -51,25 | -8,75 | 350 | 1826 | 152 |
| 393 | -50,75 | -8,75 | 300 | 1813 | 151 |
| 394 | -50,25 | -8,75 | 150 | 1803 | 150 |
| 395 | -49,75 | -8,75 | 150 | 1825 | 152 |
| 396 | -56,75 | -9,25 | 200 | 2326 | 194 |
| 397 | -56,25 | -9,25 | 200 | 2334 | 195 |
| 398 | -55,75 | -9,25 | 250 | 2310 | 192 |
| 399 | -55,25 | -9,25 | 500 | 2283 | 190 |
| 400 | -54,75 | -9,25 | 600 | 2255 | 188 |
| 401 | -54,25 | -9,25 | 350 | 2197 | 183 |
| 402 | -53,75 | -9,25 | 350 | 2120 | 177 |
| 403 | -53,25 | -9,25 | 350 | 2031 | 169 |
| 404 | -52,75 | -9,25 | 350 | 1943 | 162 |
| 405 | -52,25 | -9,25 | 300 | 1887 | 157 |
| 406 | -51,75 | -9,25 | 300 | 1854 | 155 |
| 407 | -51,25 | -9,25 | 400 | 1833 | 153 |
| 408 | -50,75 | -9,25 | 400 | 1823 | 152 |
| 409 | -50,25 | -9,25 | 200 | 1818 | 152 |
| 410 | -51,75 | -9,75 | 400 | 1847 | 154 |
| 411 | -51,25 | -9,75 | 300 | 1818 | 152 |
| 412 | -50,75 | -9,75 | 200 | 1813 | 151 |
| 413 | -50,25 | -9,75 | 150 | 1828 | 152 |

I.2 PARA SÉRIE HISTÓRICA: ANOS DE OCORRÊNCIA DO FENÔMENO EL NIÑO

| ID | Longitude | Latitude | Altitude(m) | PMA (mm) | PMM (mm) |
|----|-----------|----------|-------------|----------|----------|
| 1 | -55,75 | 2,25 | 400 | 1920 | 160 |
| 2 | -55,25 | 2,25 | 400 | 2063 | 171 |
| 3 | -57,25 | 1,75 | 200 | 1968 | 164 |
| 4 | -56,75 | 1,75 | 300 | 1960 | 163 |
| 5 | -56,25 | 1,75 | 250 | 1950 | 162 |
| 6 | -55,75 | 1,75 | 250 | 1952 | 162 |
| 7 | -55,25 | 1,75 | 250 | 2027 | 168 |
| 8 | -54,75 | 1,75 | 250 | 2134 | 177 |
| 9 | -58,75 | 1,25 | 600 | 1871 | 155 |
| 10 | -58,25 | 1,25 | 550 | 1966 | 163 |
| 11 | -57,75 | 1,25 | 300 | 2009 | 167 |
| 12 | -57,25 | 1,25 | 150 | 2009 | 167 |
| 13 | -56,75 | 1,25 | 300 | 1994 | 166 |
| 14 | -56,25 | 1,25 | 300 | 1985 | 165 |
| 15 | -55,75 | 1,25 | 250 | 1992 | 166 |
| 16 | -55,25 | 1,25 | 250 | 2037 | 169 |
| 17 | -54,75 | 1,25 | 250 | 2121 | 176 |
| 18 | -54,25 | 1,25 | 300 | 2229 | 185 |
| 19 | -53,75 | 1,25 | 200 | 2336 | 194 |
| 20 | -58,75 | 0,75 | 600 | 1943 | 162 |
| 21 | -58,25 | 0,75 | 300 | 2044 | 170 |
| 22 | -57,75 | 0,75 | 300 | 2109 | 175 |
| 23 | -57,25 | 0,75 | 300 | 2113 | 176 |
| 24 | -56,75 | 0,75 | 150 | 2089 | 174 |
| 25 | -56,25 | 0,75 | 0 | 2067 | 172 |
| 26 | -55,75 | 0,75 | 250 | 2061 | 171 |
| 27 | -55,25 | 0,75 | 300 | 2078 | 173 |
| 28 | -54,75 | 0,75 | 0 | 2130 | 177 |
| 29 | -54,25 | 0,75 | 300 | 2213 | 184 |
| 30 | -53,75 | 0,75 | 200 | 2300 | 191 |
| 31 | -53,25 | 0,75 | 200 | 2361 | 197 |
| 32 | -58,75 | 0,25 | 200 | 2026 | 169 |
| 33 | -58,25 | 0,25 | 150 | 2123 | 177 |
| 34 | -57,75 | 0,25 | 150 | 2216 | 184 |
| 35 | -57,25 | 0,25 | 250 | 2257 | 188 |
| 36 | -56,75 | 0,25 | 200 | 2251 | 187 |
| 37 | -56,25 | 0,25 | 200 | 2216 | 184 |
| 38 | -55,75 | 0,25 | 200 | 2170 | 181 |
| 39 | -55,25 | 0,25 | 200 | 2136 | 178 |
| 40 | -54,75 | 0,25 | 350 | 2144 | 178 |
| 41 | -54,25 | 0,25 | 300 | 2177 | 181 |
| 42 | -53,75 | 0,25 | 200 | 2229 | 185 |
| 43 | -53,25 | 0,25 | 200 | 2304 | 192 |
| 44 | -50,25 | 0,25 | 0 | 2828 | 236 |
| 45 | -49,75 | 0,25 | 0 | 2825 | 236 |
| 46 | -58,75 | -0,25 | 300 | 2084 | 174 |
| 47 | -58,25 | -0,25 | 150 | 2162 | 180 |
| 48 | -57,75 | -0,25 | 200 | 2259 | 188 |
| 49 | -57,25 | -0,25 | 150 | 2329 | 194 |
| 50 | -56,75 | -0,25 | 150 | 2346 | 196 |
| 51 | -56,25 | -0,25 | 250 | 2311 | 193 |
| 52 | -55,75 | -0,25 | 150 | 2238 | 187 |
| 53 | -55,25 | -0,25 | 250 | 2143 | 179 |
| 54 | -54,75 | -0,25 | 250 | 2100 | 175 |
| 55 | -54,25 | -0,25 | 300 | 2129 | 177 |
| 56 | -53,75 | -0,25 | 200 | 2180 | 181 |
| 57 | -53,25 | -0,25 | 200 | 2242 | 186 |
| 58 | -52,75 | -0,25 | 50 | 2298 | 191 |
| 59 | -51,25 | -0,25 | 0 | 2486 | 208 |
| 60 | -50,75 | -0,25 | 0 | 2665 | 223 |
| 61 | -50,25 | -0,25 | 0 | 2897 | 242 |
| 62 | -49,75 | -0,25 | 0 | 2826 | 236 |
| 63 | -49,25 | -0,25 | 0 | 2970 | 247 |
| 64 | -48,75 | -0,25 | 0 | 2889 | 241 |
| 65 | -58,25 | -0,75 | 200 | 2154 | 180 |
| 66 | -57,75 | -0,75 | 100 | 2247 | 188 |
| 67 | -57,25 | -0,75 | 100 | 2351 | 196 |
| 68 | -56,75 | -0,75 | 200 | 2367 | 197 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 69 | -56,25 | -0,75 | 150 | 2331 | 195 |
| 70 | -55,75 | -0,75 | 200 | 2243 | 187 |
| 71 | -55,25 | -0,75 | 400 | 2107 | 176 |
| 72 | -54,75 | -0,75 | 250 | 2031 | 169 |
| 73 | -54,25 | -0,75 | 300 | 2054 | 171 |
| 74 | -53,75 | -0,75 | 300 | 2121 | 176 |
| 75 | -53,25 | -0,75 | 100 | 2162 | 180 |
| 76 | -52,75 | -0,75 | 200 | 2213 | 184 |
| 77 | -51,25 | -0,75 | 0 | 2529 | 211 |
| 78 | -50,75 | -0,75 | 0 | 2640 | 221 |
| 79 | -50,25 | -0,75 | 0 | 2727 | 228 |
| 80 | -49,75 | -0,75 | 0 | 2793 | 233 |
| 81 | -49,25 | -0,75 | 0 | 2655 | 221 |
| 82 | -48,75 | -0,75 | 0 | 2772 | 232 |
| 83 | -48,25 | -0,75 | 0 | 2834 | 237 |
| 84 | -47,75 | -0,75 | 0 | 2709 | 227 |
| 85 | -47,25 | -0,75 | 0 | 2564 | 215 |
| 86 | -57,75 | -1,25 | 100 | 2197 | 183 |
| 87 | -57,25 | -1,25 | 50 | 2337 | 195 |
| 88 | -56,75 | -1,25 | 50 | 2367 | 198 |
| 89 | -56,25 | -1,25 | 50 | 2333 | 195 |
| 90 | -55,75 | -1,25 | 100 | 2245 | 188 |
| 91 | -55,25 | -1,25 | 200 | 2079 | 174 |
| 92 | -54,75 | -1,25 | 400 | 1986 | 166 |
| 93 | -54,25 | -1,25 | 400 | 1935 | 161 |
| 94 | -53,75 | -1,25 | 400 | 1982 | 165 |
| 95 | -53,25 | -1,25 | 100 | 2056 | 171 |
| 96 | -52,75 | -1,25 | 100 | 2140 | 178 |
| 97 | -52,25 | -1,25 | 0 | 2249 | 187 |
| 98 | -51,75 | -1,25 | 0 | 2341 | 195 |
| 99 | -51,25 | -1,25 | 0 | 2518 | 210 |
| 100 | -50,75 | -1,25 | 0 | 2538 | 212 |
| 101 | -50,25 | -1,25 | 0 | 2579 | 215 |
| 102 | -49,75 | -1,25 | 0 | 2636 | 220 |
| 103 | -49,25 | -1,25 | 0 | 2618 | 219 |
| 104 | -48,75 | -1,25 | 0 | 2528 | 211 |
| 105 | -48,25 | -1,25 | 0 | 2707 | 227 |
| 106 | -47,75 | -1,25 | 0 | 2591 | 217 |
| 107 | -47,25 | -1,25 | 0 | 2475 | 208 |
| 108 | -46,75 | -1,25 | 0 | 2372 | 200 |
| 109 | -46,25 | -1,25 | 0 | 2140 | 181 |
| 110 | -57,25 | -1,75 | 100 | 2242 | 187 |
| 111 | -56,75 | -1,75 | 100 | 2283 | 191 |
| 112 | -56,25 | -1,75 | 0 | 2271 | 190 |
| 113 | -55,75 | -1,75 | 100 | 2233 | 187 |
| 114 | -55,25 | -1,75 | 100 | 2041 | 171 |
| 115 | -54,75 | -1,75 | 0 | 1941 | 162 |
| 116 | -54,25 | -1,75 | 100 | 1816 | 152 |
| 117 | -53,75 | -1,75 | 0 | 1888 | 158 |
| 118 | -53,25 | -1,75 | 0 | 1971 | 164 |
| 119 | -52,75 | -1,75 | 0 | 2101 | 175 |
| 120 | -52,25 | -1,75 | 0 | 2207 | 183 |
| 121 | -51,75 | -1,75 | 0 | 2247 | 187 |
| 122 | -51,25 | -1,75 | 0 | 2309 | 192 |
| 123 | -50,75 | -1,75 | 0 | 2339 | 195 |
| 124 | -50,25 | -1,75 | 0 | 2388 | 199 |
| 125 | -49,75 | -1,75 | 0 | 2499 | 208 |
| 126 | -49,25 | -1,75 | 0 | 2594 | 217 |
| 127 | -48,75 | -1,75 | 0 | 2631 | 220 |
| 128 | -48,25 | -1,75 | 0 | 2620 | 220 |
| 129 | -47,75 | -1,75 | 0 | 2532 | 212 |
| 130 | -47,25 | -1,75 | 0 | 2391 | 201 |
| 131 | -46,75 | -1,75 | 0 | 2293 | 193 |
| 132 | -46,25 | -1,75 | 0 | 2181 | 183 |
| 133 | -56,25 | -2,25 | 0 | 2162 | 181 |
| 134 | -55,75 | -2,25 | 0 | 2099 | 176 |
| 135 | -55,25 | -2,25 | 0 | 1991 | 167 |
| 136 | -54,75 | -2,25 | 0 | 2019 | 169 |
| 137 | -54,25 | -2,25 | 0 | 1919 | 160 |
| 138 | -53,75 | -2,25 | 0 | 1919 | 160 |
| 139 | -53,25 | -2,25 | 0 | 1968 | 164 |
| 140 | -52,75 | -2,25 | 0 | 2068 | 172 |
| 141 | -52,25 | -2,25 | 0 | 2119 | 176 |
| 142 | -51,75 | -2,25 | 0 | 2204 | 183 |
| 143 | -51,25 | -2,25 | 0 | 2326 | 194 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 144 | -50,75 | -2,25 | 0 | 2335 | 195 |
| 145 | -50,25 | -2,25 | 0 | 2418 | 201 |
| 146 | -49,75 | -2,25 | 0 | 2489 | 207 |
| 147 | -49,25 | -2,25 | 0 | 2556 | 213 |
| 148 | -48,75 | -2,25 | 0 | 2552 | 214 |
| 149 | -48,25 | -2,25 | 0 | 2516 | 211 |
| 150 | -47,75 | -2,25 | 0 | 2416 | 203 |
| 151 | -47,25 | -2,25 | 0 | 2255 | 190 |
| 152 | -46,75 | -2,25 | 0 | 2189 | 184 |
| 153 | -56,25 | -2,75 | 100 | 2107 | 177 |
| 154 | -55,75 | -2,75 | 100 | 2034 | 170 |
| 155 | -55,25 | -2,75 | 100 | 1944 | 163 |
| 156 | -54,75 | -2,75 | 100 | 1960 | 165 |
| 157 | -54,25 | -2,75 | 100 | 1855 | 155 |
| 158 | -53,75 | -2,75 | 200 | 1972 | 165 |
| 159 | -53,25 | -2,75 | 100 | 1957 | 164 |
| 160 | -52,75 | -2,75 | 100 | 1975 | 165 |
| 161 | -52,25 | -2,75 | 100 | 2008 | 168 |
| 162 | -51,75 | -2,75 | 100 | 2092 | 174 |
| 163 | -51,25 | -2,75 | 0 | 2208 | 184 |
| 164 | -50,75 | -2,75 | 0 | 2297 | 191 |
| 165 | -50,25 | -2,75 | 0 | 2361 | 197 |
| 166 | -49,75 | -2,75 | 0 | 2423 | 202 |
| 167 | -49,25 | -2,75 | 0 | 2486 | 208 |
| 168 | -48,75 | -2,75 | 0 | 2501 | 209 |
| 169 | -48,25 | -2,75 | 0 | 2458 | 206 |
| 170 | -47,75 | -2,75 | 0 | 2251 | 189 |
| 171 | -47,25 | -2,75 | 50 | 2029 | 170 |
| 172 | -46,75 | -2,75 | 50 | 1997 | 167 |
| 173 | -56,75 | -3,25 | 100 | 2094 | 175 |
| 174 | -56,25 | -3,25 | 100 | 2039 | 171 |
| 175 | -55,75 | -3,25 | 100 | 2013 | 169 |
| 176 | -55,25 | -3,25 | 0 | 1969 | 165 |
| 177 | -54,75 | -3,25 | 100 | 1941 | 163 |
| 178 | -54,25 | -3,25 | 100 | 1917 | 161 |
| 179 | -53,75 | -3,25 | 200 | 1911 | 160 |
| 180 | -53,25 | -3,25 | 200 | 1898 | 159 |
| 181 | -52,75 | -3,25 | 100 | 1907 | 160 |
| 182 | -52,25 | -3,25 | 100 | 1933 | 162 |
| 183 | -51,75 | -3,25 | 100 | 2002 | 167 |
| 184 | -51,25 | -3,25 | 100 | 2110 | 176 |
| 185 | -50,75 | -3,25 | 100 | 2164 | 180 |
| 186 | -50,25 | -3,25 | 50 | 2231 | 186 |
| 187 | -49,75 | -3,25 | 0 | 2307 | 192 |
| 188 | -49,25 | -3,25 | 0 | 2347 | 196 |
| 189 | -48,75 | -3,25 | 100 | 2305 | 193 |
| 190 | -48,25 | -3,25 | 100 | 2152 | 180 |
| 191 | -47,75 | -3,25 | 50 | 1920 | 161 |
| 192 | -47,25 | -3,25 | 50 | 1841 | 154 |
| 193 | -56,75 | -3,75 | 100 | 2106 | 176 |
| 194 | -56,25 | -3,75 | 100 | 2034 | 170 |
| 195 | -55,75 | -3,75 | 100 | 2017 | 169 |
| 196 | -55,25 | -3,75 | 100 | 1993 | 167 |
| 197 | -54,75 | -3,75 | 200 | 1922 | 161 |
| 198 | -54,25 | -3,75 | 200 | 1921 | 161 |
| 199 | -53,75 | -3,75 | 100 | 1887 | 158 |
| 200 | -53,25 | -3,75 | 200 | 1849 | 155 |
| 201 | -52,75 | -3,75 | 200 | 1819 | 153 |
| 202 | -52,25 | -3,75 | 200 | 1914 | 160 |
| 203 | -51,75 | -3,75 | 100 | 1974 | 165 |
| 204 | -51,25 | -3,75 | 100 | 2041 | 170 |
| 205 | -50,75 | -3,75 | 200 | 2016 | 168 |
| 206 | -50,25 | -3,75 | 50 | 2045 | 171 |
| 207 | -49,75 | -3,75 | 200 | 2188 | 183 |
| 208 | -49,25 | -3,75 | 50 | 2129 | 178 |
| 209 | -48,75 | -3,75 | 100 | 2009 | 168 |
| 210 | -48,25 | -3,75 | 100 | 1834 | 154 |
| 211 | -47,75 | -3,75 | 200 | 1651 | 139 |
| 212 | -47,25 | -3,75 | 150 | 1607 | 135 |
| 213 | -56,75 | -4,25 | 100 | 2097 | 175 |
| 214 | -56,25 | -4,25 | 100 | 2046 | 171 |
| 215 | -55,75 | -4,25 | 100 | 2032 | 169 |
| 216 | -55,25 | -4,25 | 200 | 2022 | 169 |
| 217 | -54,75 | -4,25 | 300 | 1901 | 159 |
| 218 | -54,25 | -4,25 | 300 | 1911 | 160 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 219 | -53,75 | -4,25 | 200 | 1876 | 157 |
| 220 | -53,25 | -4,25 | 150 | 1831 | 154 |
| 221 | -52,75 | -4,25 | 200 | 1813 | 152 |
| 222 | -52,25 | -4,25 | 150 | 1868 | 157 |
| 223 | -51,75 | -4,25 | 150 | 1925 | 161 |
| 224 | -51,25 | -4,25 | 150 | 1955 | 163 |
| 225 | -50,75 | -4,25 | 150 | 1951 | 163 |
| 226 | -50,25 | -4,25 | 100 | 1952 | 163 |
| 227 | -49,75 | -4,25 | 50 | 1956 | 164 |
| 228 | -49,25 | -4,25 | 100 | 1868 | 156 |
| 229 | -48,75 | -4,25 | 100 | 1755 | 147 |
| 230 | -48,25 | -4,25 | 200 | 1601 | 134 |
| 231 | -47,75 | -4,25 | 300 | 1445 | 122 |
| 232 | -57,25 | -4,75 | 250 | 2112 | 176 |
| 233 | -56,75 | -4,75 | 100 | 2107 | 176 |
| 234 | -56,25 | -4,75 | 100 | 2081 | 174 |
| 235 | -55,75 | -4,75 | 300 | 2075 | 173 |
| 236 | -55,25 | -4,75 | 200 | 2029 | 169 |
| 237 | -54,75 | -4,75 | 200 | 1952 | 163 |
| 238 | -54,25 | -4,75 | 150 | 1947 | 163 |
| 239 | -53,75 | -4,75 | 200 | 1908 | 160 |
| 240 | -53,25 | -4,75 | 300 | 1861 | 156 |
| 241 | -52,75 | -4,75 | 200 | 1832 | 154 |
| 242 | -52,25 | -4,75 | 200 | 1853 | 155 |
| 243 | -51,75 | -4,75 | 200 | 1873 | 157 |
| 244 | -51,25 | -4,75 | 200 | 1880 | 157 |
| 245 | -50,75 | -4,75 | 200 | 1880 | 157 |
| 246 | -50,25 | -4,75 | 200 | 1857 | 155 |
| 247 | -49,75 | -4,75 | 200 | 1799 | 150 |
| 248 | -49,25 | -4,75 | 100 | 1734 | 145 |
| 249 | -48,75 | -4,75 | 200 | 1640 | 137 |
| 250 | -48,25 | -4,75 | 200 | 1516 | 127 |
| 251 | -57,25 | -5,25 | 200 | 2113 | 176 |
| 252 | -56,75 | -5,25 | 100 | 2066 | 173 |
| 253 | -56,25 | -5,25 | 200 | 2141 | 179 |
| 254 | -55,75 | -5,25 | 200 | 2140 | 179 |
| 255 | -55,25 | -5,25 | 200 | 2108 | 176 |
| 256 | -54,75 | -5,25 | 300 | 2035 | 170 |
| 257 | -54,25 | -5,25 | 300 | 2011 | 168 |
| 258 | -53,75 | -5,25 | 200 | 1962 | 164 |
| 259 | -53,25 | -5,25 | 200 | 1918 | 161 |
| 260 | -52,75 | -5,25 | 200 | 1901 | 159 |
| 261 | -52,25 | -5,25 | 200 | 1881 | 158 |
| 262 | -51,75 | -5,25 | 200 | 1869 | 157 |
| 263 | -51,25 | -5,25 | 150 | 1846 | 155 |
| 264 | -50,75 | -5,25 | 150 | 1823 | 152 |
| 265 | -50,25 | -5,25 | 200 | 1768 | 148 |
| 266 | -49,75 | -5,25 | 200 | 1719 | 144 |
| 267 | -49,25 | -5,25 | 50 | 1657 | 139 |
| 268 | -48,75 | -5,25 | 50 | 1569 | 131 |
| 269 | -57,75 | -5,75 | 200 | 2261 | 189 |
| 270 | -57,25 | -5,75 | 100 | 2181 | 182 |
| 271 | -56,75 | -5,75 | 200 | 2163 | 181 |
| 272 | -56,25 | -5,75 | 100 | 2219 | 185 |
| 273 | -55,75 | -5,75 | 200 | 2394 | 200 |
| 274 | -55,25 | -5,75 | 200 | 2179 | 182 |
| 275 | -54,75 | -5,75 | 150 | 2103 | 176 |
| 276 | -54,25 | -5,75 | 150 | 2054 | 172 |
| 277 | -53,75 | -5,75 | 300 | 2001 | 168 |
| 278 | -53,25 | -5,75 | 250 | 1944 | 163 |
| 279 | -52,75 | -5,75 | 200 | 1916 | 161 |
| 280 | -52,25 | -5,75 | 300 | 1903 | 160 |
| 281 | -51,75 | -5,75 | 150 | 1885 | 158 |
| 282 | -51,25 | -5,75 | 200 | 1845 | 154 |
| 283 | -50,75 | -5,75 | 150 | 1794 | 150 |
| 284 | -50,25 | -5,75 | 150 | 1725 | 144 |
| 285 | -49,75 | -5,75 | 150 | 1671 | 140 |
| 286 | -49,25 | -5,75 | 100 | 1600 | 134 |
| 287 | -48,75 | -5,75 | 200 | 1528 | 128 |
| 288 | -48,25 | -5,75 | 100 | 1450 | 122 |
| 289 | -57,75 | -6,25 | 50 | 2342 | 196 |
| 290 | -57,25 | -6,25 | 200 | 2272 | 190 |
| 291 | -56,75 | -6,25 | 200 | 2229 | 186 |
| 292 | -56,25 | -6,25 | 150 | 2225 | 186 |
| 293 | -55,75 | -6,25 | 200 | 2195 | 183 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 294 | -55,25 | -6,25 | 300 | 2186 | 183 |
| 295 | -54,75 | -6,25 | 250 | 2156 | 180 |
| 296 | -54,25 | -6,25 | 250 | 2120 | 177 |
| 297 | -53,75 | -6,25 | 300 | 2054 | 172 |
| 298 | -53,25 | -6,25 | 250 | 1970 | 165 |
| 299 | -52,75 | -6,25 | 250 | 1912 | 160 |
| 300 | -52,25 | -6,25 | 300 | 1899 | 159 |
| 301 | -51,75 | -6,25 | 250 | 1882 | 158 |
| 302 | -51,25 | -6,25 | 400 | 1830 | 153 |
| 303 | -50,75 | -6,25 | 250 | 1783 | 149 |
| 304 | -50,25 | -6,25 | 400 | 1734 | 145 |
| 305 | -49,75 | -6,25 | 200 | 1660 | 139 |
| 306 | -49,25 | -6,25 | 200 | 1596 | 133 |
| 307 | -48,75 | -6,25 | 200 | 1522 | 127 |
| 308 | -58,25 | -6,75 | 200 | 2395 | 200 |
| 309 | -57,75 | -6,75 | 200 | 2347 | 196 |
| 310 | -57,25 | -6,75 | 200 | 2317 | 194 |
| 311 | -56,75 | -6,75 | 200 | 2278 | 190 |
| 312 | -56,25 | -6,75 | 200 | 2219 | 185 |
| 313 | -55,75 | -6,75 | 300 | 2198 | 184 |
| 314 | -55,25 | -6,75 | 400 | 2205 | 184 |
| 315 | -54,75 | -6,75 | 300 | 2205 | 184 |
| 316 | -54,25 | -6,75 | 300 | 2183 | 182 |
| 317 | -53,75 | -6,75 | 250 | 2110 | 176 |
| 318 | -53,25 | -6,75 | 300 | 1997 | 167 |
| 319 | -52,75 | -6,75 | 300 | 1917 | 161 |
| 320 | -52,25 | -6,75 | 400 | 1898 | 159 |
| 321 | -51,75 | -6,75 | 200 | 1811 | 152 |
| 322 | -51,25 | -6,75 | 300 | 1821 | 152 |
| 323 | -50,75 | -6,75 | 400 | 1789 | 150 |
| 324 | -50,25 | -6,75 | 250 | 1746 | 146 |
| 325 | -49,75 | -6,75 | 250 | 1678 | 141 |
| 326 | -49,25 | -6,75 | 200 | 1617 | 135 |
| 327 | -57,75 | -7,25 | 300 | 2371 | 198 |
| 328 | -57,25 | -7,25 | 200 | 2357 | 197 |
| 329 | -56,75 | -7,25 | 250 | 2315 | 193 |
| 330 | -56,25 | -7,25 | 200 | 2255 | 188 |
| 331 | -55,75 | -7,25 | 300 | 2230 | 186 |
| 332 | -55,25 | -7,25 | 300 | 2238 | 187 |
| 333 | -54,75 | -7,25 | 250 | 2236 | 187 |
| 334 | -54,25 | -7,25 | 250 | 2204 | 184 |
| 335 | -53,75 | -7,25 | 300 | 2132 | 178 |
| 336 | -53,25 | -7,25 | 400 | 2010 | 168 |
| 337 | -52,75 | -7,25 | 300 | 1908 | 160 |
| 338 | -52,25 | -7,25 | 400 | 1860 | 156 |
| 339 | -51,75 | -7,25 | 250 | 1824 | 153 |
| 340 | -51,25 | -7,25 | 250 | 1799 | 151 |
| 341 | -50,75 | -7,25 | 300 | 1782 | 149 |
| 342 | -50,25 | -7,25 | 300 | 1748 | 147 |
| 343 | -49,75 | -7,25 | 200 | 1695 | 142 |
| 344 | -49,25 | -7,25 | 150 | 1649 | 139 |
| 345 | -57,75 | -7,75 | 100 | 2387 | 199 |
| 346 | -57,25 | -7,75 | 300 | 2376 | 198 |
| 347 | -56,75 | -7,75 | 300 | 2330 | 195 |
| 348 | -56,25 | -7,75 | 300 | 2274 | 190 |
| 349 | -55,75 | -7,75 | 250 | 2249 | 188 |
| 350 | -55,25 | -7,75 | 250 | 2250 | 188 |
| 351 | -54,75 | -7,75 | 250 | 2241 | 187 |
| 352 | -54,25 | -7,75 | 350 | 2212 | 185 |
| 353 | -53,75 | -7,75 | 350 | 2142 | 179 |
| 354 | -53,25 | -7,75 | 350 | 2017 | 169 |
| 355 | -52,75 | -7,75 | 350 | 1909 | 160 |
| 356 | -52,25 | -7,75 | 400 | 1867 | 157 |
| 357 | -51,75 | -7,75 | 400 | 1832 | 154 |
| 358 | -51,25 | -7,75 | 300 | 1776 | 149 |
| 359 | -50,75 | -7,75 | 400 | 1771 | 149 |
| 360 | -50,25 | -7,75 | 300 | 1749 | 147 |
| 361 | -49,75 | -7,75 | 150 | 1704 | 143 |
| 362 | -49,25 | -7,75 | 150 | 1670 | 140 |
| 363 | -57,25 | -8,25 | 300 | 2327 | 194 |
| 364 | -56,75 | -8,25 | 400 | 2308 | 193 |
| 365 | -56,25 | -8,25 | 500 | 2275 | 190 |
| 366 | -55,75 | -8,25 | 350 | 2258 | 189 |
| 367 | -55,25 | -8,25 | 350 | 2254 | 188 |
| 368 | -54,75 | -8,25 | 300 | 2239 | 187 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 369 | -54,25 | -8,25 | 500 | 2207 | 184 |
| 370 | -53,75 | -8,25 | 300 | 2138 | 179 |
| 371 | -53,25 | -8,25 | 300 | 2018 | 169 |
| 372 | -52,75 | -8,25 | 300 | 1908 | 160 |
| 373 | -52,25 | -8,25 | 400 | 1873 | 157 |
| 374 | -51,75 | -8,25 | 500 | 1842 | 154 |
| 375 | -51,25 | -8,25 | 300 | 1798 | 151 |
| 376 | -50,75 | -8,25 | 400 | 1779 | 149 |
| 377 | -50,25 | -8,25 | 200 | 1757 | 148 |
| 378 | -49,75 | -8,25 | 200 | 1714 | 144 |
| 379 | -49,25 | -8,25 | 150 | 1672 | 141 |
| 380 | -57,25 | -8,75 | 200 | 2263 | 189 |
| 381 | -56,75 | -8,75 | 250 | 2274 | 190 |
| 382 | -56,25 | -8,75 | 350 | 2265 | 189 |
| 383 | -55,75 | -8,75 | 500 | 2256 | 188 |
| 384 | -55,25 | -8,75 | 500 | 2249 | 188 |
| 385 | -54,75 | -8,75 | 500 | 2229 | 186 |
| 386 | -54,25 | -8,75 | 500 | 2182 | 182 |
| 387 | -53,75 | -8,75 | 500 | 2127 | 177 |
| 388 | -53,25 | -8,75 | 300 | 2029 | 169 |
| 389 | -52,75 | -8,75 | 250 | 1924 | 161 |
| 390 | -52,25 | -8,75 | 300 | 1872 | 157 |
| 391 | -51,75 | -8,75 | 400 | 1842 | 154 |
| 392 | -51,25 | -8,75 | 350 | 1814 | 152 |
| 393 | -50,75 | -8,75 | 300 | 1795 | 151 |
| 394 | -50,25 | -8,75 | 150 | 1777 | 149 |
| 395 | -49,75 | -8,75 | 150 | 1752 | 147 |
| 396 | -56,75 | -9,25 | 200 | 2242 | 187 |
| 397 | -56,25 | -9,25 | 200 | 2244 | 187 |
| 398 | -55,75 | -9,25 | 250 | 2239 | 187 |
| 399 | -55,25 | -9,25 | 500 | 2231 | 186 |
| 400 | -54,75 | -9,25 | 600 | 2217 | 185 |
| 401 | -54,25 | -9,25 | 350 | 2180 | 181 |
| 402 | -53,75 | -9,25 | 350 | 2129 | 177 |
| 403 | -53,25 | -9,25 | 350 | 2056 | 171 |
| 404 | -52,75 | -9,25 | 350 | 1967 | 164 |
| 405 | -52,25 | -9,25 | 300 | 1904 | 159 |
| 406 | -51,75 | -9,25 | 300 | 1858 | 156 |
| 407 | -51,25 | -9,25 | 400 | 1830 | 153 |
| 408 | -50,75 | -9,25 | 400 | 1816 | 152 |
| 409 | -50,25 | -9,25 | 200 | 1804 | 152 |
| 410 | -51,75 | -9,75 | 400 | 1867 | 156 |
| 411 | -51,25 | -9,75 | 300 | 1832 | 154 |
| 412 | -50,75 | -9,75 | 200 | 1823 | 153 |
| 413 | -50,25 | -9,75 | 150 | 1810 | 152 |

I.3. PARA SÉRIE HISTÓRICA: ANOS COM OCORRÊNCIA DO FENÔMENO LA NIÑA

| ID | Longitude | Latitude | Altitude(m) | PMA (mm) | PMM (mm) |
|----|-----------|----------|-------------|----------|----------|
| 1 | -55,75 | 2,25 | 400 | 2029 | 168 |
| 2 | -55,25 | 2,25 | 400 | 2152 | 179 |
| 3 | -57,25 | 1,75 | 200 | 1996 | 166 |
| 4 | -56,75 | 1,75 | 300 | 2008 | 167 |
| 5 | -56,25 | 1,75 | 250 | 2013 | 167 |
| 6 | -55,75 | 1,75 | 250 | 2036 | 169 |
| 7 | -55,25 | 1,75 | 250 | 2136 | 177 |
| 8 | -54,75 | 1,75 | 250 | 2264 | 188 |
| 9 | -58,75 | 1,25 | 600 | 1909 | 158 |
| 10 | -58,25 | 1,25 | 550 | 1974 | 164 |
| 11 | -57,75 | 1,25 | 300 | 2015 | 167 |
| 12 | -57,25 | 1,25 | 150 | 2031 | 169 |
| 13 | -56,75 | 1,25 | 300 | 2042 | 169 |
| 14 | -56,25 | 1,25 | 300 | 2053 | 170 |
| 15 | -55,75 | 1,25 | 250 | 2081 | 173 |
| 16 | -55,25 | 1,25 | 250 | 2157 | 179 |
| 17 | -54,75 | 1,25 | 250 | 2263 | 188 |
| 18 | -54,25 | 1,25 | 300 | 2341 | 195 |
| 19 | -53,75 | 1,25 | 200 | 2421 | 201 |
| 20 | -58,75 | 0,75 | 600 | 1991 | 165 |
| 21 | -58,25 | 0,75 | 300 | 2072 | 172 |
| 22 | -57,75 | 0,75 | 300 | 2116 | 176 |
| 23 | -57,25 | 0,75 | 300 | 2131 | 177 |
| 24 | -56,75 | 0,75 | 150 | 2135 | 177 |
| 25 | -56,25 | 0,75 | 0 | 2135 | 177 |
| 26 | -55,75 | 0,75 | 250 | 2151 | 179 |
| 27 | -55,25 | 0,75 | 300 | 2189 | 182 |
| 28 | -54,75 | 0,75 | 0 | 2240 | 186 |
| 29 | -54,25 | 0,75 | 300 | 2293 | 191 |
| 30 | -53,75 | 0,75 | 200 | 2381 | 198 |
| 31 | -53,25 | 0,75 | 200 | 2460 | 205 |
| 32 | -58,75 | 0,25 | 200 | 2071 | 172 |
| 33 | -58,25 | 0,25 | 150 | 2168 | 180 |
| 34 | -57,75 | 0,25 | 150 | 2264 | 189 |
| 35 | -57,25 | 0,25 | 250 | 2313 | 192 |
| 36 | -56,75 | 0,25 | 200 | 2333 | 194 |
| 37 | -56,25 | 0,25 | 200 | 2325 | 193 |
| 38 | -55,75 | 0,25 | 200 | 2310 | 192 |
| 39 | -55,25 | 0,25 | 200 | 2288 | 190 |
| 40 | -54,75 | 0,25 | 350 | 2283 | 190 |
| 41 | -54,25 | 0,25 | 300 | 2304 | 192 |
| 42 | -53,75 | 0,25 | 200 | 2353 | 196 |
| 43 | -53,25 | 0,25 | 200 | 2420 | 202 |
| 44 | -50,25 | 0,25 | 0 | 2834 | 236 |
| 45 | -49,75 | 0,25 | 0 | 2994 | 249 |
| 46 | -58,75 | -0,25 | 300 | 2139 | 178 |
| 47 | -58,25 | -0,25 | 150 | 2239 | 187 |
| 48 | -57,75 | -0,25 | 200 | 2359 | 197 |
| 49 | -57,25 | -0,25 | 150 | 2440 | 203 |
| 50 | -56,75 | -0,25 | 150 | 2478 | 206 |
| 51 | -56,25 | -0,25 | 250 | 2480 | 207 |
| 52 | -55,75 | -0,25 | 150 | 2443 | 203 |
| 53 | -55,25 | -0,25 | 250 | 2361 | 197 |
| 54 | -54,75 | -0,25 | 250 | 2304 | 192 |
| 55 | -54,25 | -0,25 | 300 | 2301 | 192 |
| 56 | -53,75 | -0,25 | 200 | 2316 | 193 |
| 57 | -53,25 | -0,25 | 200 | 2373 | 198 |
| 58 | -52,75 | -0,25 | 50 | 2446 | 204 |
| 59 | -51,25 | -0,25 | 0 | 2498 | 209 |
| 60 | -50,75 | -0,25 | 0 | 2660 | 222 |
| 61 | -50,25 | -0,25 | 0 | 2858 | 238 |
| 62 | -49,75 | -0,25 | 0 | 3056 | 254 |
| 63 | -49,25 | -0,25 | 0 | 3404 | 283 |
| 64 | -48,75 | -0,25 | 0 | 3360 | 280 |
| 65 | -58,25 | -0,75 | 200 | 2251 | 188 |
| 66 | -57,75 | -0,75 | 100 | 2361 | 197 |
| 67 | -57,25 | -0,75 | 100 | 2491 | 207 |
| 68 | -56,75 | -0,75 | 200 | 2545 | 212 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 69 | -56,25 | -0,75 | 150 | 2544 | 212 |
| 70 | -55,75 | -0,75 | 200 | 2484 | 207 |
| 71 | -55,25 | -0,75 | 400 | 2367 | 197 |
| 72 | -54,75 | -0,75 | 250 | 2268 | 189 |
| 73 | -54,25 | -0,75 | 300 | 2257 | 188 |
| 74 | -53,75 | -0,75 | 300 | 2286 | 191 |
| 75 | -53,25 | -0,75 | 100 | 2328 | 194 |
| 76 | -52,75 | -0,75 | 200 | 2417 | 202 |
| 77 | -51,25 | -0,75 | 0 | 2605 | 217 |
| 78 | -50,75 | -0,75 | 0 | 2720 | 227 |
| 79 | -50,25 | -0,75 | 0 | 2817 | 234 |
| 80 | -49,75 | -0,75 | 0 | 2949 | 245 |
| 81 | -49,25 | -0,75 | 0 | 3050 | 254 |
| 82 | -48,75 | -0,75 | 0 | 3296 | 274 |
| 83 | -48,25 | -0,75 | 0 | 3346 | 278 |
| 84 | -47,75 | -0,75 | 0 | 3156 | 262 |
| 85 | -47,25 | -0,75 | 0 | 3043 | 251 |
| 86 | -57,75 | -1,25 | 100 | 2289 | 191 |
| 87 | -57,25 | -1,25 | 50 | 2477 | 206 |
| 88 | -56,75 | -1,25 | 50 | 2564 | 213 |
| 89 | -56,25 | -1,25 | 50 | 2579 | 215 |
| 90 | -55,75 | -1,25 | 100 | 2512 | 209 |
| 91 | -55,25 | -1,25 | 200 | 2348 | 196 |
| 92 | -54,75 | -1,25 | 400 | 2220 | 185 |
| 93 | -54,25 | -1,25 | 400 | 2163 | 180 |
| 94 | -53,75 | -1,25 | 400 | 2204 | 184 |
| 95 | -53,25 | -1,25 | 100 | 2254 | 188 |
| 96 | -52,75 | -1,25 | 100 | 2297 | 192 |
| 97 | -52,25 | -1,25 | 0 | 2383 | 199 |
| 98 | -51,75 | -1,25 | 0 | 2466 | 205 |
| 99 | -51,25 | -1,25 | 0 | 2711 | 225 |
| 100 | -50,75 | -1,25 | 0 | 2708 | 225 |
| 101 | -50,25 | -1,25 | 0 | 2767 | 230 |
| 102 | -49,75 | -1,25 | 0 | 2848 | 237 |
| 103 | -49,25 | -1,25 | 0 | 2916 | 242 |
| 104 | -48,75 | -1,25 | 0 | 2834 | 235 |
| 105 | -48,25 | -1,25 | 0 | 3053 | 253 |
| 106 | -47,75 | -1,25 | 0 | 3020 | 250 |
| 107 | -47,25 | -1,25 | 0 | 2957 | 244 |
| 108 | -46,75 | -1,25 | 0 | 2880 | 237 |
| 109 | -46,25 | -1,25 | 0 | 2664 | 218 |
| 110 | -57,25 | -1,75 | 100 | 2390 | 199 |
| 111 | -56,75 | -1,75 | 100 | 2497 | 208 |
| 112 | -56,25 | -1,75 | 0 | 2562 | 213 |
| 113 | -55,75 | -1,75 | 100 | 2530 | 211 |
| 114 | -55,25 | -1,75 | 100 | 2338 | 195 |
| 115 | -54,75 | -1,75 | 0 | 2195 | 183 |
| 116 | -54,25 | -1,75 | 100 | 2064 | 172 |
| 117 | -53,75 | -1,75 | 0 | 2162 | 181 |
| 118 | -53,25 | -1,75 | 0 | 2211 | 185 |
| 119 | -52,75 | -1,75 | 0 | 2264 | 189 |
| 120 | -52,25 | -1,75 | 0 | 2356 | 196 |
| 121 | -51,75 | -1,75 | 0 | 2376 | 198 |
| 122 | -51,25 | -1,75 | 0 | 2450 | 203 |
| 123 | -50,75 | -1,75 | 0 | 2499 | 207 |
| 124 | -50,25 | -1,75 | 0 | 2558 | 213 |
| 125 | -49,75 | -1,75 | 0 | 2723 | 226 |
| 126 | -49,25 | -1,75 | 0 | 2861 | 237 |
| 127 | -48,75 | -1,75 | 0 | 2906 | 241 |
| 128 | -48,25 | -1,75 | 0 | 2913 | 241 |
| 129 | -47,75 | -1,75 | 0 | 2917 | 242 |
| 130 | -47,25 | -1,75 | 0 | 2868 | 237 |
| 131 | -46,75 | -1,75 | 0 | 2767 | 227 |
| 132 | -46,25 | -1,75 | 0 | 2732 | 224 |
| 133 | -56,25 | -2,25 | 0 | 2494 | 208 |
| 134 | -55,75 | -2,25 | 0 | 2448 | 204 |
| 135 | -55,25 | -2,25 | 0 | 2357 | 196 |
| 136 | -54,75 | -2,25 | 0 | 2441 | 203 |
| 137 | -54,25 | -2,25 | 0 | 2236 | 186 |
| 138 | -53,75 | -2,25 | 0 | 2232 | 186 |
| 139 | -53,25 | -2,25 | 0 | 2264 | 189 |
| 140 | -52,75 | -2,25 | 0 | 2312 | 193 |
| 141 | -52,25 | -2,25 | 0 | 2301 | 192 |
| 142 | -51,75 | -2,25 | 0 | 2363 | 196 |
| 143 | -51,25 | -2,25 | 0 | 2502 | 208 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 144 | -50,75 | -2,25 | 0 | 2551 | 211 |
| 145 | -50,25 | -2,25 | 0 | 2620 | 217 |
| 146 | -49,75 | -2,25 | 0 | 2711 | 225 |
| 147 | -49,25 | -2,25 | 0 | 2782 | 231 |
| 148 | -48,75 | -2,25 | 0 | 2812 | 233 |
| 149 | -48,25 | -2,25 | 0 | 2846 | 236 |
| 150 | -47,75 | -2,25 | 0 | 2856 | 236 |
| 151 | -47,25 | -2,25 | 0 | 2758 | 228 |
| 152 | -46,75 | -2,25 | 0 | 2636 | 217 |
| 153 | -56,25 | -2,75 | 100 | 2503 | 208 |
| 154 | -55,75 | -2,75 | 100 | 2443 | 203 |
| 155 | -55,25 | -2,75 | 100 | 2335 | 194 |
| 156 | -54,75 | -2,75 | 100 | 2373 | 197 |
| 157 | -54,25 | -2,75 | 100 | 2156 | 178 |
| 158 | -53,75 | -2,75 | 200 | 2300 | 192 |
| 159 | -53,25 | -2,75 | 100 | 2267 | 190 |
| 160 | -52,75 | -2,75 | 100 | 2251 | 188 |
| 161 | -52,25 | -2,75 | 100 | 2247 | 187 |
| 162 | -51,75 | -2,75 | 100 | 2301 | 191 |
| 163 | -51,25 | -2,75 | 0 | 2414 | 200 |
| 164 | -50,75 | -2,75 | 0 | 2546 | 211 |
| 165 | -50,25 | -2,75 | 0 | 2638 | 219 |
| 166 | -49,75 | -2,75 | 0 | 2664 | 221 |
| 167 | -49,25 | -2,75 | 0 | 2702 | 224 |
| 168 | -48,75 | -2,75 | 0 | 2783 | 231 |
| 169 | -48,25 | -2,75 | 0 | 2829 | 235 |
| 170 | -47,75 | -2,75 | 0 | 2716 | 225 |
| 171 | -47,25 | -2,75 | 50 | 2476 | 205 |
| 172 | -46,75 | -2,75 | 50 | 2358 | 195 |
| 173 | -56,75 | -3,25 | 100 | 2494 | 208 |
| 174 | -56,25 | -3,25 | 100 | 2701 | 225 |
| 175 | -55,75 | -3,25 | 100 | 2489 | 207 |
| 176 | -55,25 | -3,25 | 0 | 2342 | 195 |
| 177 | -54,75 | -3,25 | 100 | 2304 | 191 |
| 178 | -54,25 | -3,25 | 100 | 2243 | 186 |
| 179 | -53,75 | -3,25 | 200 | 2190 | 183 |
| 180 | -53,25 | -3,25 | 200 | 2173 | 182 |
| 181 | -52,75 | -3,25 | 100 | 2206 | 185 |
| 182 | -52,25 | -3,25 | 100 | 2207 | 184 |
| 183 | -51,75 | -3,25 | 100 | 2235 | 186 |
| 184 | -51,25 | -3,25 | 100 | 2337 | 194 |
| 185 | -50,75 | -3,25 | 100 | 2428 | 201 |
| 186 | -50,25 | -3,25 | 50 | 2519 | 209 |
| 187 | -49,75 | -3,25 | 0 | 2581 | 214 |
| 188 | -49,25 | -3,25 | 0 | 2619 | 217 |
| 189 | -48,75 | -3,25 | 100 | 2622 | 218 |
| 190 | -48,25 | -3,25 | 100 | 2542 | 211 |
| 191 | -47,75 | -3,25 | 50 | 2327 | 193 |
| 192 | -47,25 | -3,25 | 50 | 2145 | 178 |
| 193 | -56,75 | -3,75 | 100 | 2426 | 202 |
| 194 | -56,25 | -3,75 | 100 | 2447 | 204 |
| 195 | -55,75 | -3,75 | 100 | 2308 | 192 |
| 196 | -55,25 | -3,75 | 100 | 2319 | 193 |
| 197 | -54,75 | -3,75 | 200 | 2253 | 187 |
| 198 | -54,25 | -3,75 | 200 | 2253 | 187 |
| 199 | -53,75 | -3,75 | 100 | 2141 | 179 |
| 200 | -53,25 | -3,75 | 200 | 2102 | 176 |
| 201 | -52,75 | -3,75 | 200 | 2117 | 178 |
| 202 | -52,25 | -3,75 | 200 | 2239 | 187 |
| 203 | -51,75 | -3,75 | 100 | 2226 | 185 |
| 204 | -51,25 | -3,75 | 100 | 2265 | 188 |
| 205 | -50,75 | -3,75 | 200 | 2324 | 193 |
| 206 | -50,25 | -3,75 | 50 | 2380 | 198 |
| 207 | -49,75 | -3,75 | 200 | 2492 | 207 |
| 208 | -49,25 | -3,75 | 50 | 2418 | 201 |
| 209 | -48,75 | -3,75 | 100 | 2314 | 192 |
| 210 | -48,25 | -3,75 | 100 | 2099 | 174 |
| 211 | -47,75 | -3,75 | 200 | 1822 | 152 |
| 212 | -47,25 | -3,75 | 150 | 1784 | 148 |
| 213 | -56,75 | -4,25 | 100 | 2282 | 189 |
| 214 | -56,25 | -4,25 | 100 | 2171 | 180 |
| 215 | -55,75 | -4,25 | 100 | 2160 | 179 |
| 216 | -55,25 | -4,25 | 200 | 2288 | 190 |
| 217 | -54,75 | -4,25 | 300 | 2197 | 182 |
| 218 | -54,25 | -4,25 | 300 | 2226 | 185 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 219 | -53,75 | -4,25 | 200 | 2155 | 179 |
| 220 | -53,25 | -4,25 | 150 | 2091 | 174 |
| 221 | -52,75 | -4,25 | 200 | 2089 | 174 |
| 222 | -52,25 | -4,25 | 150 | 2162 | 180 |
| 223 | -51,75 | -4,25 | 150 | 2219 | 184 |
| 224 | -51,25 | -4,25 | 150 | 2257 | 187 |
| 225 | -50,75 | -4,25 | 150 | 2280 | 189 |
| 226 | -50,25 | -4,25 | 100 | 2291 | 190 |
| 227 | -49,75 | -4,25 | 50 | 2238 | 186 |
| 228 | -49,25 | -4,25 | 100 | 2156 | 179 |
| 229 | -48,75 | -4,25 | 100 | 2063 | 171 |
| 230 | -48,25 | -4,25 | 200 | 1854 | 154 |
| 231 | -47,75 | -4,25 | 300 | 1616 | 134 |
| 232 | -57,25 | -4,75 | 250 | 2273 | 189 |
| 233 | -56,75 | -4,75 | 100 | 2224 | 184 |
| 234 | -56,25 | -4,75 | 100 | 2196 | 182 |
| 235 | -55,75 | -4,75 | 300 | 2137 | 178 |
| 236 | -55,25 | -4,75 | 200 | 2226 | 185 |
| 237 | -54,75 | -4,75 | 200 | 2225 | 185 |
| 238 | -54,25 | -4,75 | 150 | 2229 | 185 |
| 239 | -53,75 | -4,75 | 200 | 2169 | 180 |
| 240 | -53,25 | -4,75 | 300 | 2111 | 175 |
| 241 | -52,75 | -4,75 | 200 | 2092 | 174 |
| 242 | -52,25 | -4,75 | 200 | 2130 | 177 |
| 243 | -51,75 | -4,75 | 200 | 2182 | 181 |
| 244 | -51,25 | -4,75 | 200 | 2213 | 184 |
| 245 | -50,75 | -4,75 | 200 | 2193 | 182 |
| 246 | -50,25 | -4,75 | 200 | 2138 | 177 |
| 247 | -49,75 | -4,75 | 200 | 2058 | 171 |
| 248 | -49,25 | -4,75 | 100 | 2035 | 169 |
| 249 | -48,75 | -4,75 | 200 | 1960 | 163 |
| 250 | -48,25 | -4,75 | 200 | 1773 | 148 |
| 251 | -57,25 | -5,25 | 200 | 2292 | 190 |
| 252 | -56,75 | -5,25 | 100 | 2185 | 181 |
| 253 | -56,25 | -5,25 | 200 | 2285 | 190 |
| 254 | -55,75 | -5,25 | 200 | 2263 | 188 |
| 255 | -55,25 | -5,25 | 200 | 2307 | 192 |
| 256 | -54,75 | -5,25 | 300 | 2276 | 189 |
| 257 | -54,25 | -5,25 | 300 | 2254 | 187 |
| 258 | -53,75 | -5,25 | 200 | 2198 | 183 |
| 259 | -53,25 | -5,25 | 200 | 2153 | 179 |
| 260 | -52,75 | -5,25 | 200 | 2152 | 179 |
| 261 | -52,25 | -5,25 | 200 | 2143 | 178 |
| 262 | -51,75 | -5,25 | 200 | 2138 | 178 |
| 263 | -51,25 | -5,25 | 150 | 2120 | 176 |
| 264 | -50,75 | -5,25 | 150 | 2080 | 173 |
| 265 | -50,25 | -5,25 | 200 | 2006 | 166 |
| 266 | -49,75 | -5,25 | 200 | 1991 | 165 |
| 267 | -49,25 | -5,25 | 50 | 1968 | 163 |
| 268 | -48,75 | -5,25 | 50 | 1860 | 155 |
| 269 | -57,75 | -5,75 | 200 | 2314 | 192 |
| 270 | -57,25 | -5,75 | 100 | 2320 | 192 |
| 271 | -56,75 | -5,75 | 200 | 2328 | 193 |
| 272 | -56,25 | -5,75 | 100 | 2406 | 200 |
| 273 | -55,75 | -5,75 | 200 | 2678 | 223 |
| 274 | -55,25 | -5,75 | 200 | 2399 | 200 |
| 275 | -54,75 | -5,75 | 150 | 2322 | 193 |
| 276 | -54,25 | -5,75 | 150 | 2269 | 189 |
| 277 | -53,75 | -5,75 | 300 | 2215 | 184 |
| 278 | -53,25 | -5,75 | 250 | 2162 | 180 |
| 279 | -52,75 | -5,75 | 200 | 2152 | 179 |
| 280 | -52,25 | -5,75 | 300 | 2139 | 178 |
| 281 | -51,75 | -5,75 | 150 | 2110 | 175 |
| 282 | -51,25 | -5,75 | 200 | 2048 | 170 |
| 283 | -50,75 | -5,75 | 150 | 1979 | 164 |
| 284 | -50,25 | -5,75 | 150 | 1916 | 159 |
| 285 | -49,75 | -5,75 | 150 | 1935 | 161 |
| 286 | -49,25 | -5,75 | 100 | 1900 | 158 |
| 287 | -48,75 | -5,75 | 200 | 1762 | 147 |
| 288 | -48,25 | -5,75 | 100 | 1645 | 137 |
| 289 | -57,75 | -6,25 | 50 | 2368 | 197 |
| 290 | -57,25 | -6,25 | 200 | 2354 | 195 |
| 291 | -56,75 | -6,25 | 200 | 2351 | 195 |
| 292 | -56,25 | -6,25 | 150 | 2363 | 197 |
| 293 | -55,75 | -6,25 | 200 | 2328 | 194 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 294 | -55,25 | -6,25 | 300 | 2330 | 194 |
| 295 | -54,75 | -6,25 | 250 | 2324 | 194 |
| 296 | -54,25 | -6,25 | 250 | 2296 | 191 |
| 297 | -53,75 | -6,25 | 300 | 2229 | 185 |
| 298 | -53,25 | -6,25 | 250 | 2163 | 180 |
| 299 | -52,75 | -6,25 | 250 | 2123 | 176 |
| 300 | -52,25 | -6,25 | 300 | 2086 | 173 |
| 301 | -51,75 | -6,25 | 250 | 2040 | 170 |
| 302 | -51,25 | -6,25 | 400 | 1991 | 165 |
| 303 | -50,75 | -6,25 | 250 | 1921 | 159 |
| 304 | -50,25 | -6,25 | 400 | 1872 | 155 |
| 305 | -49,75 | -6,25 | 200 | 1869 | 155 |
| 306 | -49,25 | -6,25 | 200 | 1845 | 154 |
| 307 | -48,75 | -6,25 | 200 | 1726 | 144 |
| 308 | -58,25 | -6,75 | 200 | 2450 | 204 |
| 309 | -57,75 | -6,75 | 200 | 2423 | 201 |
| 310 | -57,25 | -6,75 | 200 | 2403 | 200 |
| 311 | -56,75 | -6,75 | 200 | 2352 | 195 |
| 312 | -56,25 | -6,75 | 200 | 2289 | 190 |
| 313 | -55,75 | -6,75 | 300 | 2236 | 186 |
| 314 | -55,25 | -6,75 | 400 | 2255 | 188 |
| 315 | -54,75 | -6,75 | 300 | 2343 | 195 |
| 316 | -54,25 | -6,75 | 300 | 2330 | 194 |
| 317 | -53,75 | -6,75 | 250 | 2261 | 188 |
| 318 | -53,25 | -6,75 | 300 | 2167 | 180 |
| 319 | -52,75 | -6,75 | 300 | 2086 | 173 |
| 320 | -52,25 | -6,75 | 400 | 2022 | 168 |
| 321 | -51,75 | -6,75 | 200 | 1944 | 162 |
| 322 | -51,25 | -6,75 | 300 | 1985 | 165 |
| 323 | -50,75 | -6,75 | 400 | 1914 | 159 |
| 324 | -50,25 | -6,75 | 250 | 1862 | 155 |
| 325 | -49,75 | -6,75 | 250 | 1831 | 152 |
| 326 | -49,25 | -6,75 | 200 | 1798 | 150 |
| 327 | -57,75 | -7,25 | 300 | 2482 | 206 |
| 328 | -57,25 | -7,25 | 200 | 2473 | 206 |
| 329 | -56,75 | -7,25 | 250 | 2404 | 200 |
| 330 | -56,25 | -7,25 | 200 | 2324 | 193 |
| 331 | -55,75 | -7,25 | 300 | 2299 | 191 |
| 332 | -55,25 | -7,25 | 300 | 2349 | 195 |
| 333 | -54,75 | -7,25 | 250 | 2426 | 202 |
| 334 | -54,25 | -7,25 | 250 | 2359 | 196 |
| 335 | -53,75 | -7,25 | 300 | 2287 | 190 |
| 336 | -53,25 | -7,25 | 400 | 2171 | 181 |
| 337 | -52,75 | -7,25 | 300 | 2064 | 172 |
| 338 | -52,25 | -7,25 | 400 | 1993 | 166 |
| 339 | -51,75 | -7,25 | 250 | 1943 | 162 |
| 340 | -51,25 | -7,25 | 250 | 1903 | 158 |
| 341 | -50,75 | -7,25 | 300 | 1876 | 156 |
| 342 | -50,25 | -7,25 | 300 | 1855 | 154 |
| 343 | -49,75 | -7,25 | 200 | 1832 | 152 |
| 344 | -49,25 | -7,25 | 150 | 1813 | 151 |
| 345 | -57,75 | -7,75 | 100 | 2518 | 209 |
| 346 | -57,25 | -7,75 | 300 | 2514 | 209 |
| 347 | -56,75 | -7,75 | 300 | 2449 | 204 |
| 348 | -56,25 | -7,75 | 300 | 2366 | 197 |
| 349 | -55,75 | -7,75 | 250 | 2334 | 194 |
| 350 | -55,25 | -7,75 | 250 | 2338 | 194 |
| 351 | -54,75 | -7,75 | 250 | 2372 | 197 |
| 352 | -54,25 | -7,75 | 350 | 2351 | 196 |
| 353 | -53,75 | -7,75 | 350 | 2289 | 190 |
| 354 | -53,25 | -7,75 | 350 | 2167 | 180 |
| 355 | -52,75 | -7,75 | 350 | 2053 | 171 |
| 356 | -52,25 | -7,75 | 400 | 2020 | 168 |
| 357 | -51,75 | -7,75 | 400 | 1953 | 162 |
| 358 | -51,25 | -7,75 | 300 | 1817 | 151 |
| 359 | -50,75 | -7,75 | 400 | 1823 | 152 |
| 360 | -50,25 | -7,75 | 300 | 1851 | 154 |
| 361 | -49,75 | -7,75 | 150 | 1842 | 153 |
| 362 | -49,25 | -7,75 | 150 | 1843 | 154 |
| 363 | -57,25 | -8,25 | 300 | 2473 | 206 |
| 364 | -56,75 | -8,25 | 400 | 2441 | 203 |
| 365 | -56,25 | -8,25 | 500 | 2377 | 198 |
| 366 | -55,75 | -8,25 | 350 | 2338 | 194 |
| 367 | -55,25 | -8,25 | 350 | 2309 | 192 |
| 368 | -54,75 | -8,25 | 300 | 2328 | 194 |

| | | | | | |
|-----|--------|-------|-----|------|-----|
| 369 | -54,25 | -8,25 | 500 | 2330 | 194 |
| 370 | -53,75 | -8,25 | 300 | 2270 | 189 |
| 371 | -53,25 | -8,25 | 300 | 2148 | 179 |
| 372 | -52,75 | -8,25 | 300 | 2043 | 170 |
| 373 | -52,25 | -8,25 | 400 | 2032 | 169 |
| 374 | -51,75 | -8,25 | 500 | 1974 | 164 |
| 375 | -51,25 | -8,25 | 300 | 1878 | 156 |
| 376 | -50,75 | -8,25 | 400 | 1856 | 154 |
| 377 | -50,25 | -8,25 | 200 | 1862 | 155 |
| 378 | -49,75 | -8,25 | 200 | 1854 | 155 |
| 379 | -49,25 | -8,25 | 150 | 1848 | 154 |
| 380 | -57,25 | -8,75 | 200 | 2426 | 202 |
| 381 | -56,75 | -8,75 | 250 | 2398 | 200 |
| 382 | -56,25 | -8,75 | 350 | 2363 | 197 |
| 383 | -55,75 | -8,75 | 500 | 2334 | 194 |
| 384 | -55,25 | -8,75 | 500 | 2320 | 193 |
| 385 | -54,75 | -8,75 | 500 | 2319 | 193 |
| 386 | -54,25 | -8,75 | 500 | 2299 | 191 |
| 387 | -53,75 | -8,75 | 500 | 2229 | 186 |
| 388 | -53,25 | -8,75 | 300 | 2118 | 176 |
| 389 | -52,75 | -8,75 | 250 | 2017 | 168 |
| 390 | -52,25 | -8,75 | 300 | 1978 | 164 |
| 391 | -51,75 | -8,75 | 400 | 1955 | 163 |
| 392 | -51,25 | -8,75 | 350 | 1913 | 159 |
| 393 | -50,75 | -8,75 | 300 | 1884 | 157 |
| 394 | -50,25 | -8,75 | 150 | 1872 | 156 |
| 395 | -49,75 | -8,75 | 150 | 1872 | 156 |
| 396 | -56,75 | -9,25 | 200 | 2341 | 195 |
| 397 | -56,25 | -9,25 | 200 | 2323 | 193 |
| 398 | -55,75 | -9,25 | 250 | 2301 | 192 |
| 399 | -55,25 | -9,25 | 500 | 2294 | 191 |
| 400 | -54,75 | -9,25 | 600 | 2286 | 190 |
| 401 | -54,25 | -9,25 | 350 | 2240 | 186 |
| 402 | -53,75 | -9,25 | 350 | 2156 | 179 |
| 403 | -53,25 | -9,25 | 350 | 2064 | 172 |
| 404 | -52,75 | -9,25 | 350 | 1986 | 165 |
| 405 | -52,25 | -9,25 | 300 | 1947 | 162 |
| 406 | -51,75 | -9,25 | 300 | 1924 | 160 |
| 407 | -51,25 | -9,25 | 400 | 1899 | 158 |
| 408 | -50,75 | -9,25 | 400 | 1880 | 157 |
| 409 | -50,25 | -9,25 | 200 | 1871 | 156 |
| 410 | -51,75 | -9,75 | 400 | 1875 | 156 |
| 411 | -51,25 | -9,75 | 300 | 1857 | 155 |
| 412 | -50,75 | -9,75 | 200 | 1851 | 154 |
| 413 | -50,25 | -9,75 | 150 | 1848 | 154 |

APÊNDICE II

FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE

II.1 FUNÇÃO NORMAL

```
PROGRAM DistribuicaoNormal
-----
DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS
-----
implicit none
integer nmax, i, n, j, k
parameter (nmax=10000)
real*8 Q(1:nmax), M, S, y(1:nmax), F(1:nmax), h(1:nmax), W(1:nmax), soma
character *30 Nome, Nome1
-----
DADOS DE ENTRADA
-----
write(*,*)'Nome do arquivo de entrada'
read(*,*)Nome
write(*,*)'Nome do arquivo de saida'
read(*,*)Nome1
write(*,*)'Numero total de vazoes ou precipitacoes n='
read(*,*)n
-----
ABERTURA DO ARQUIVO
-----
open(unit=1,file=Nome)
do i=1,n
  read(1,*)Q(i)
end do
close(1)
-----
FUNÇÃO NORMAL
-----
do i=1,n
!Passo 1: Cálculo da média
  M=sum(Q)/n
!Print*,m
!stop
!Passo 2: Cálculo do desvio padrão
  soma=0.0d0
  do k=1,n
    soma=soma+((Q(k)-M)*(Q(k)-M))
!Print*,soma
!Stop
  end do
  S=SQRT(soma/(n-1))
!Print*,s
!Stop
!Passo 3: Cálculo do valor de y
  y(i)=(Q(i)-M)/S
!Print*,y
!stop
!Passo 4: Cálculo do valor de F

```

```

        F(i)=(1/SQRT(2*3.141592))*exp(-0.5*(y(i)**2))
!Passo 5: Cálculo do valor de h
        h(i)=1/(1+(0.33267*y(i)))
!Passo 6: Cálculo do valor de W
        W(i)=1-(F(i)*((0.43618*h(i))-(0.12017*(h(i)**2))+(0.93730*(h(i)**3))))
!Passo 7: Cálculo dos valores de Qs
        Qs(i)=1-W(i)
    end do

-----
    IMPRESSÃO DOS RESULTADOS
-----
    open(unit=2,file=None1)
    do j=1,n
        write(2,15)Qs(j)
15    format(1F19.4)
    end do
    close(2)
end

```

II.2 FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO GUMBEL

```
PROGRAM DistribuicaoGumbel
-----
DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS
-----
implicit none
integer nmax, i, n, j, k
parameter (nmax=10000)
real*8 Q(1:nmax), M, S, A, mi, x(1:nmax), y(1:nmax), F(1:nmax), Qs(1:nmax), soma
character *30 Nome, Nome1
-----
DADOS DE ENTRADA
-----
write(*,*)'Nome do arquivo de entrada'
read(*,*)Nome
write(*,*)'Nome do arquivo de saida'
read(*,*)Nome1
write(*,*)'Numero total de vazoes ou precipitacoes n='
read(*,*)n
-----
ABERTURA DO ARQUIVO
-----
open(unit=1,file=Nome)
do i=1,n
  read(1,*)Q(i)
end do
close(1)
-----
FUNÇÃO GUMBEL
-----
```

```

do i=1,n
!Passo 1: Cálculo da média (M)
M=sum(Q)/n
!print*,m
!stop
!Passo 2: Cálculo do desvio padrão (S)
soma=0.0d0
do k=1,n
soma=soma+((Q(k)-M)*(Q(k)-M))
!Print*,soma
!Stop
end do
S=SQRT(soma/(n-1))
!Print*,s
!Stop

!Passo 3: Cálculo do valor de alfa (A)
A=1.2826d0/(S)
!Passo 4: Cálculo do valor de mi (mi)
mi=M-(0.451*S)
!Passo 5: Cálculo do valor de x
x(i)=A*(Q(i)-mi)
!Passo 6: Cálculo do valor de y
y(i)=-exp(-(x(i)))
!Passo 7: Cálculo do valor de F(i)
F(i)=exp(y(i))
!Passo 8: Cálculo dos valores da distribuição assintótica (Qs)
Qs(i)=1-(F(i))
end do

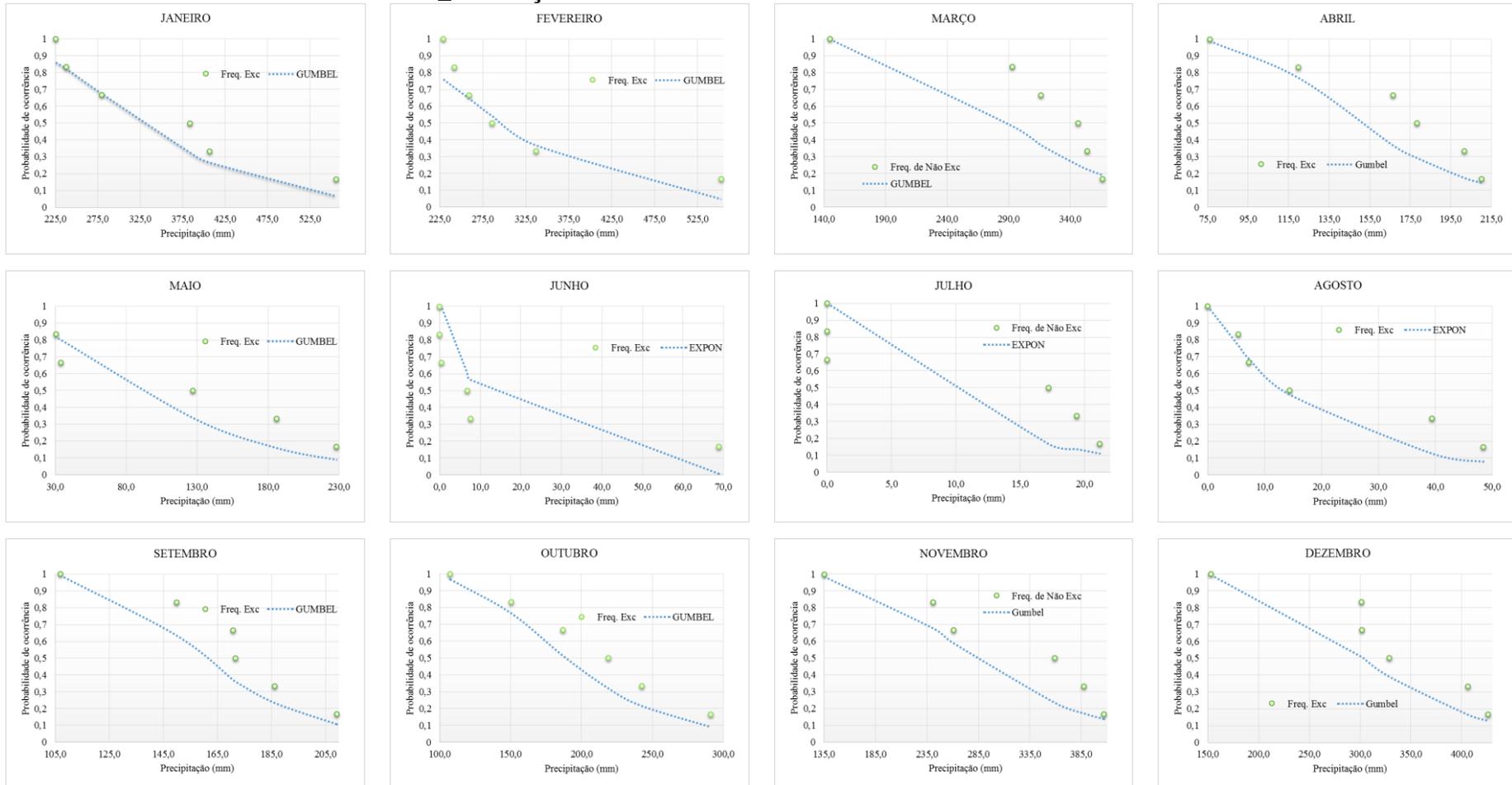
-----
IMPRESSÃO DOS RESULTADOS
-----
open(unit=2,file=Nome1)
do j=1,n
write(2,15)Qs(j)
format(F19.4)
end do
close(2)
end

```

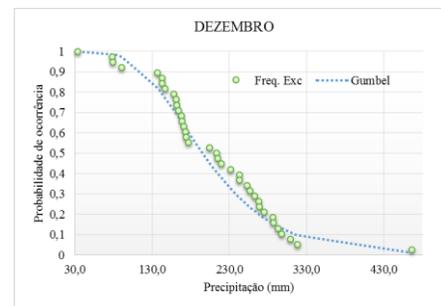
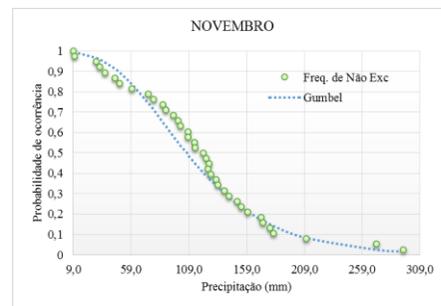
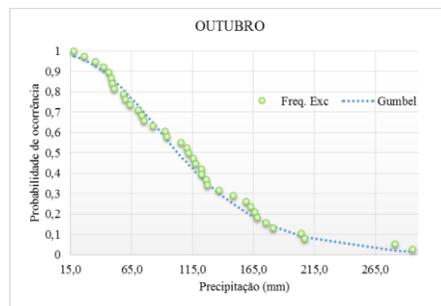
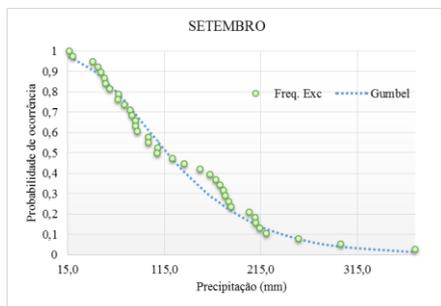
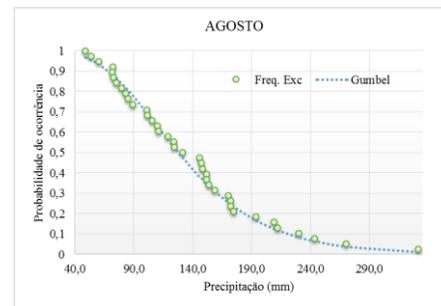
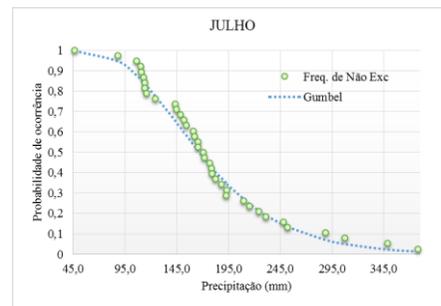
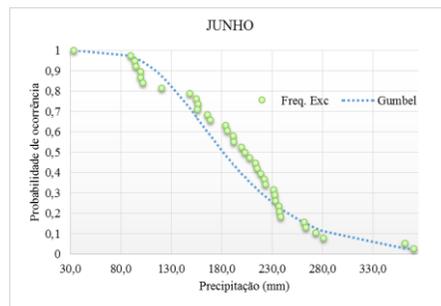
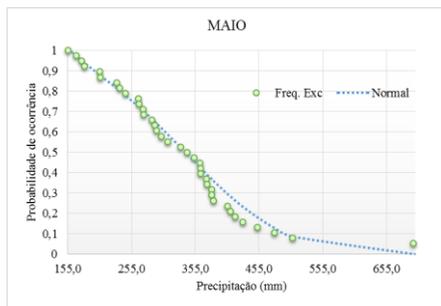
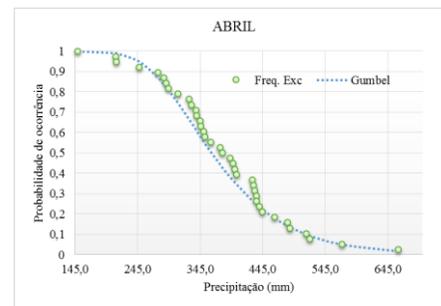
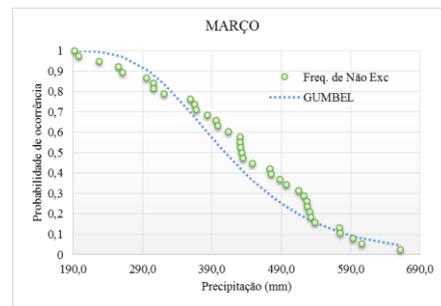
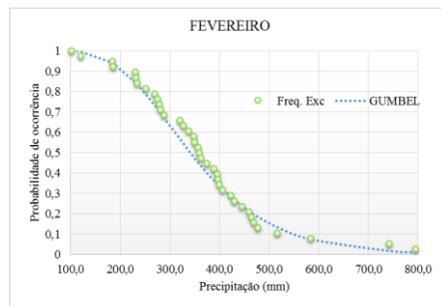
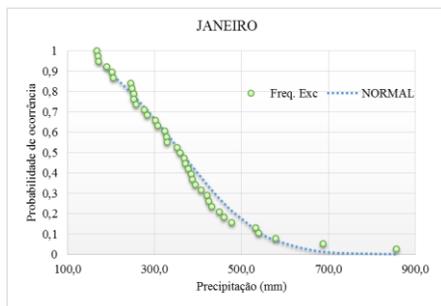
APÊNDICE III

GRÁFICOS DA VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE.

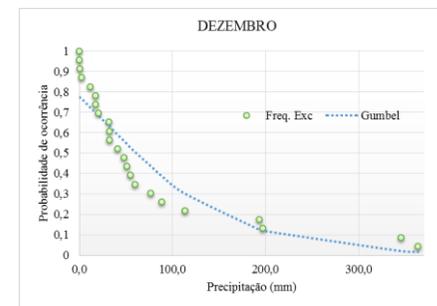
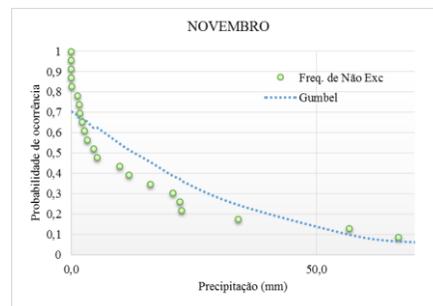
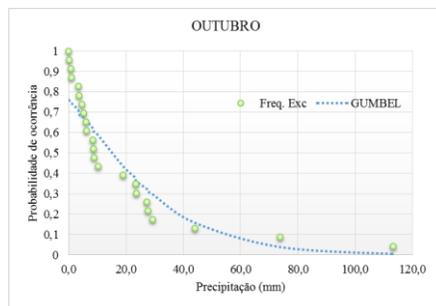
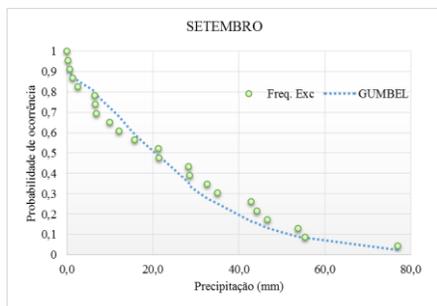
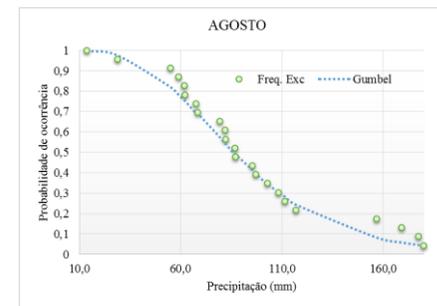
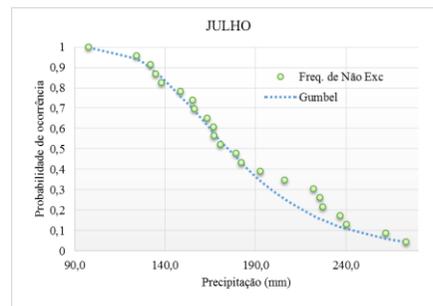
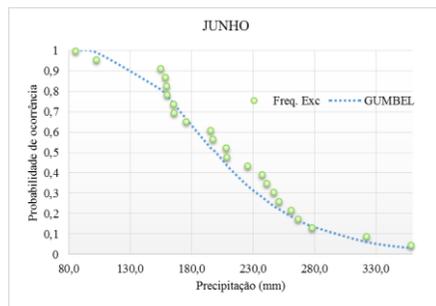
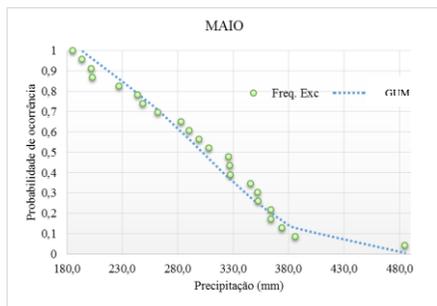
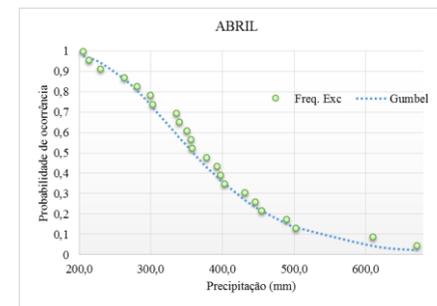
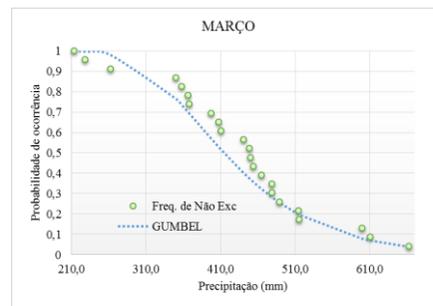
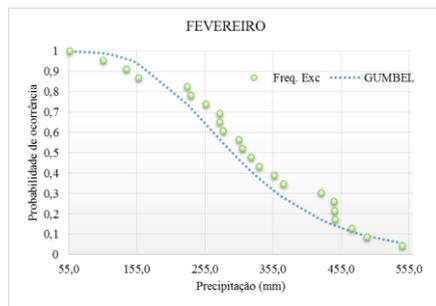
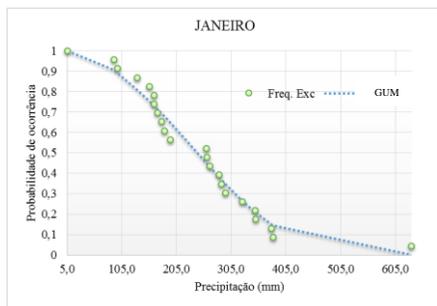
III.1. TODOS OS ANOS: REGIÃO A _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA FAZENDA CUMARÚ DO NORTE



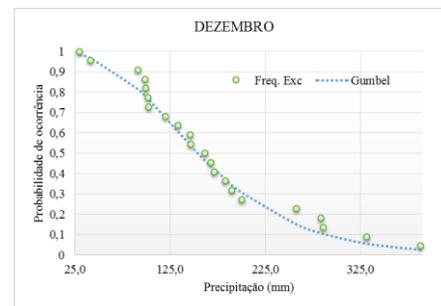
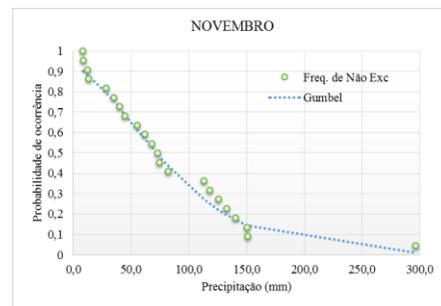
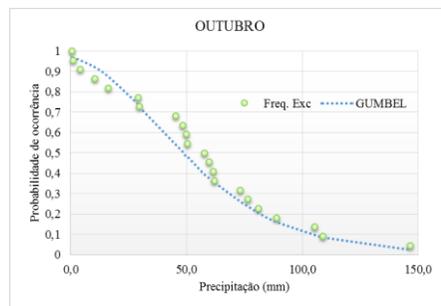
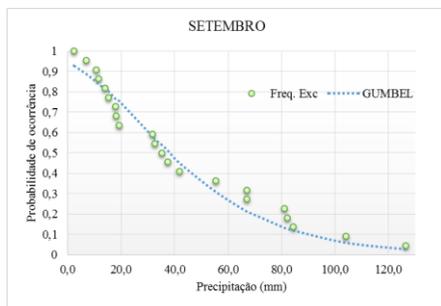
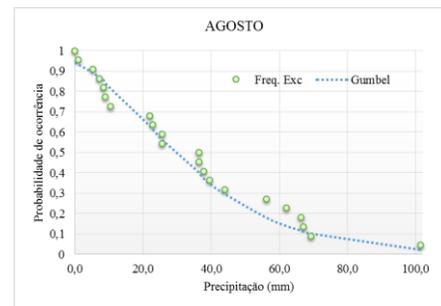
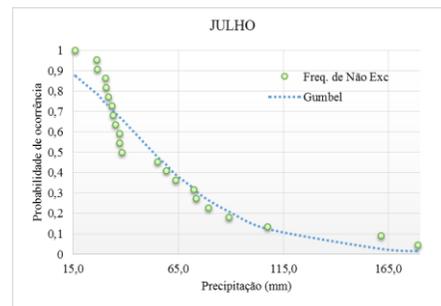
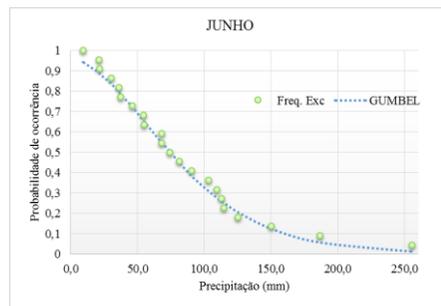
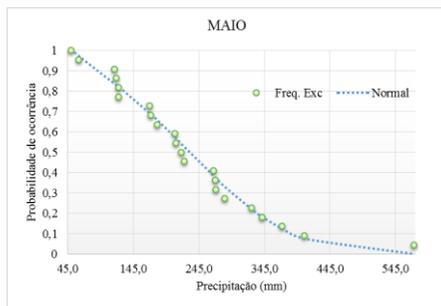
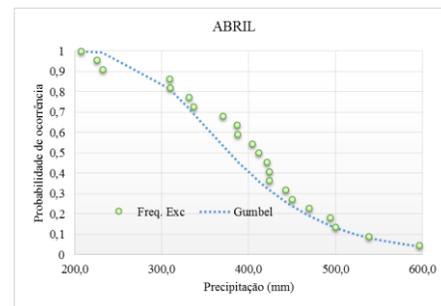
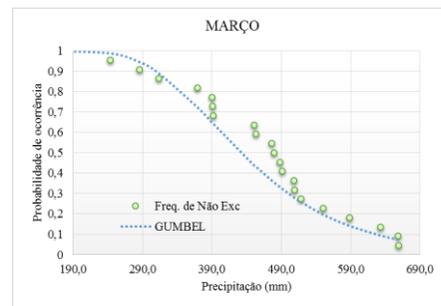
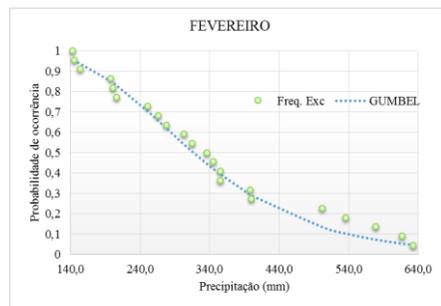
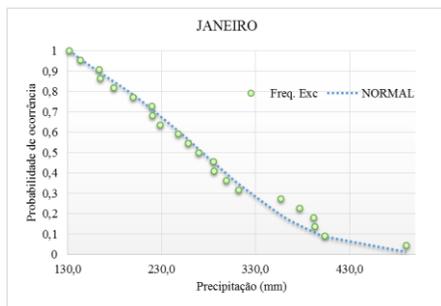
III.2. TODOS OS ANOS: REGIÃO F_ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SANTA ISABEL



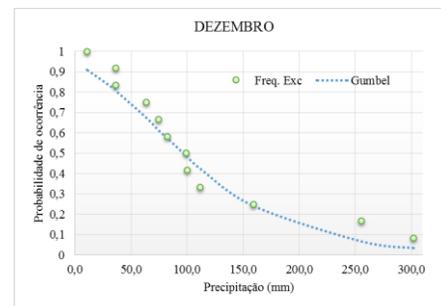
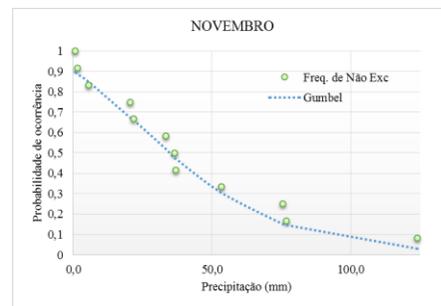
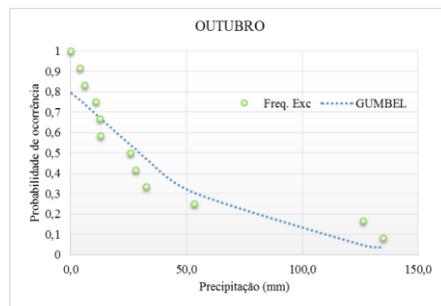
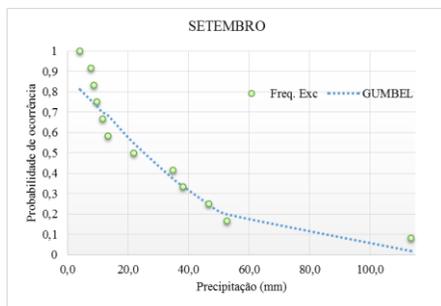
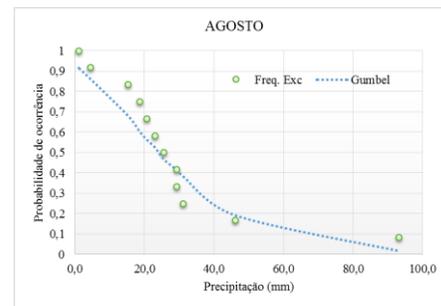
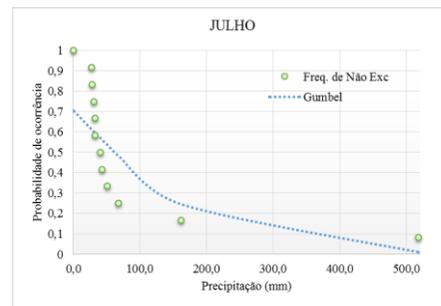
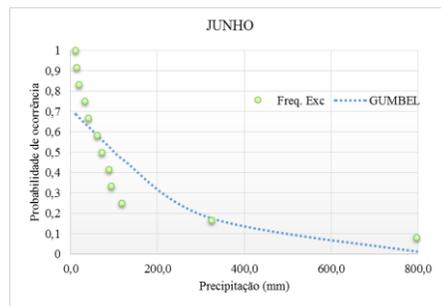
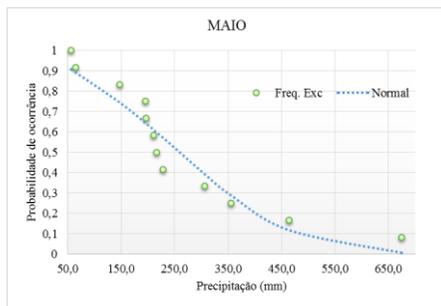
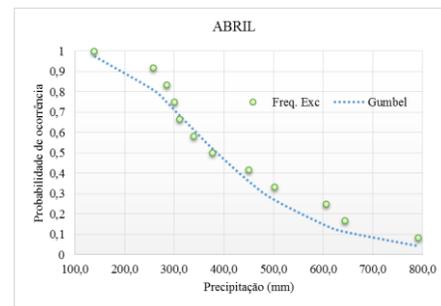
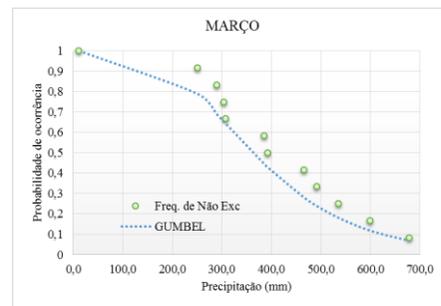
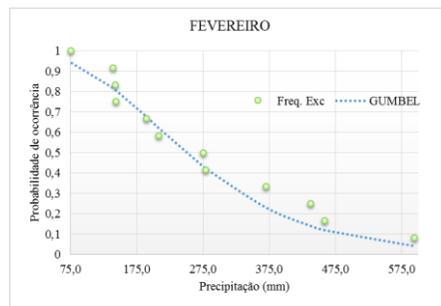
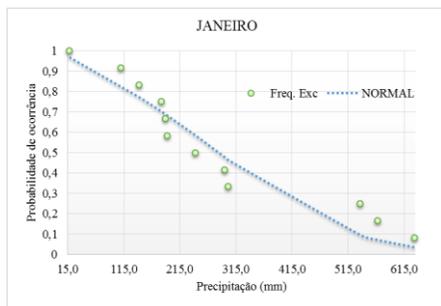
III.3. TODOS OS ANOS: REGIÃO F_ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EMBORAI



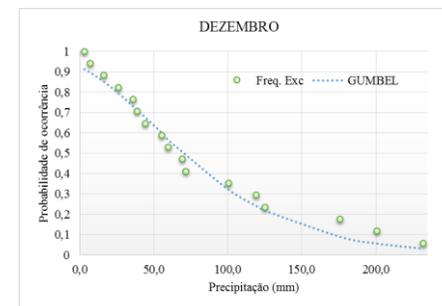
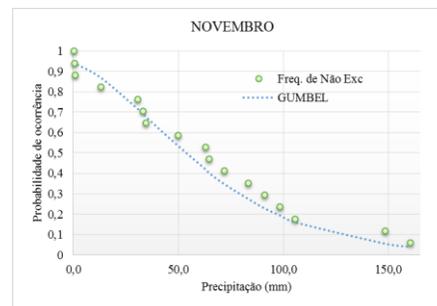
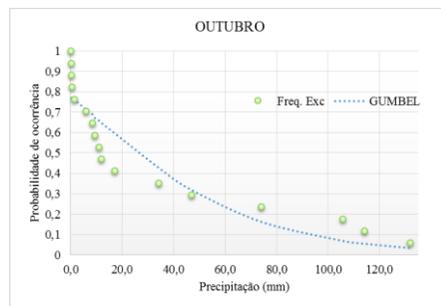
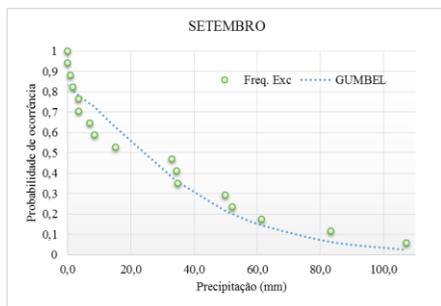
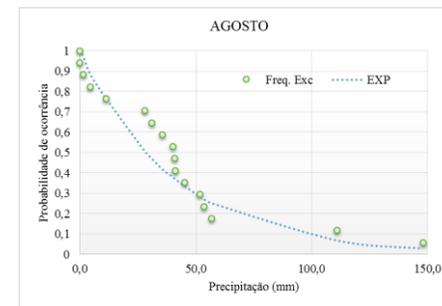
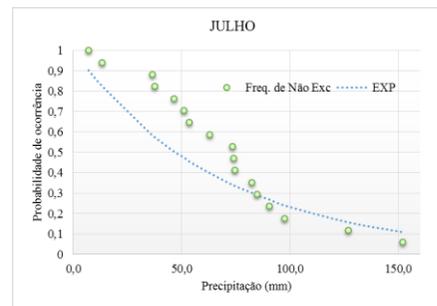
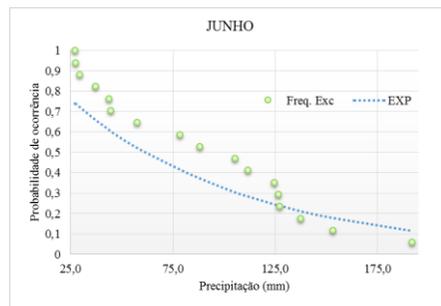
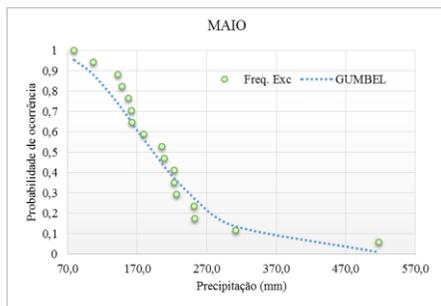
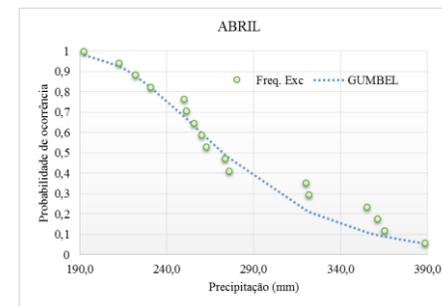
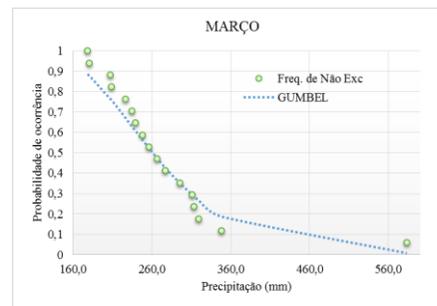
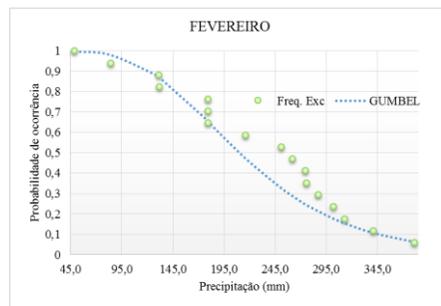
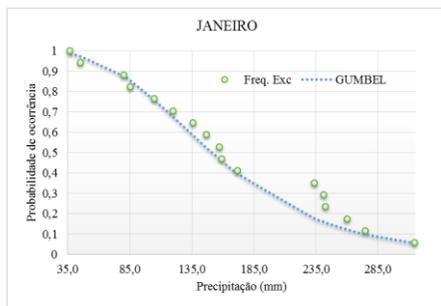
III.4. TODOS OS ANOS: REGIÃO F_ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PA-256



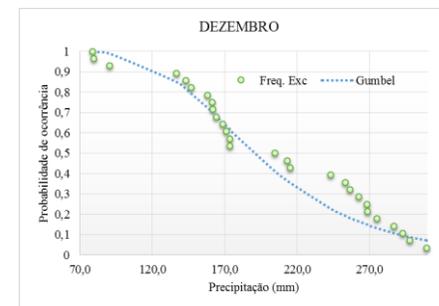
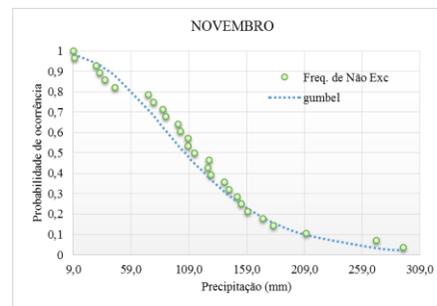
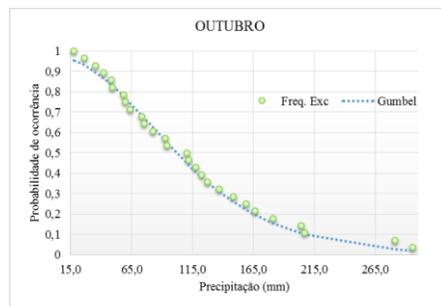
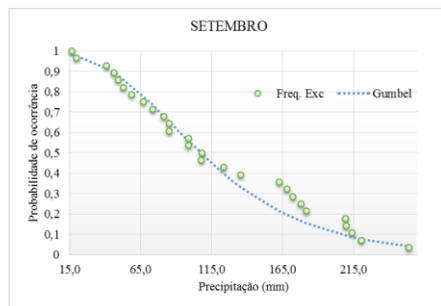
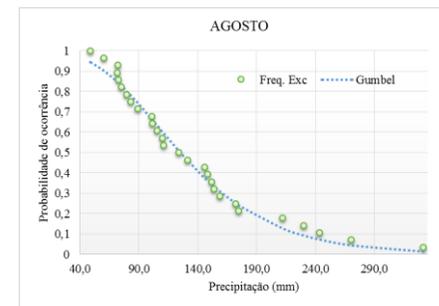
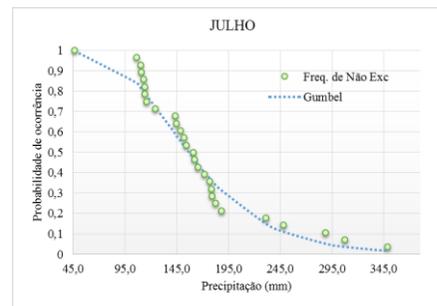
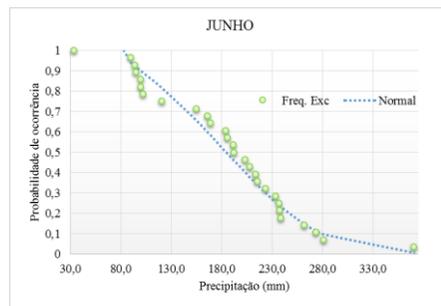
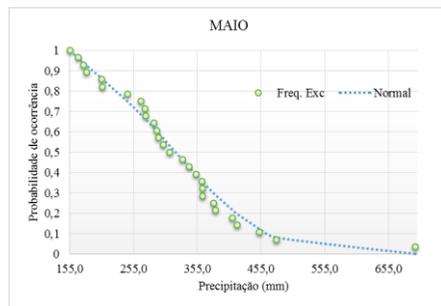
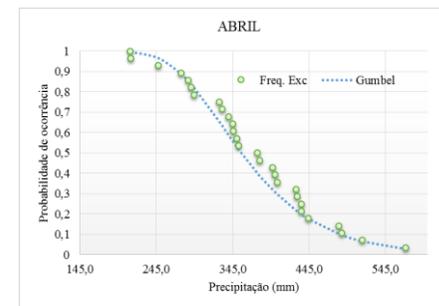
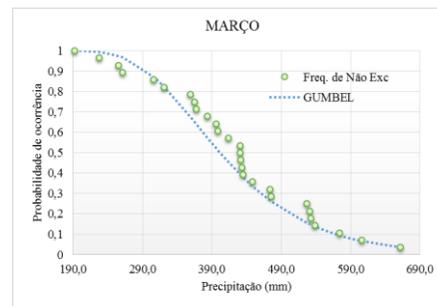
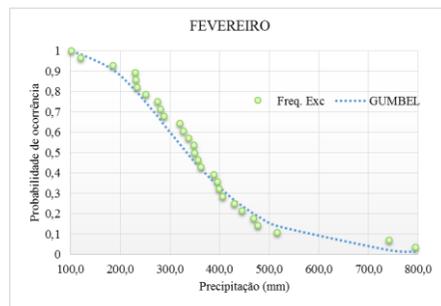
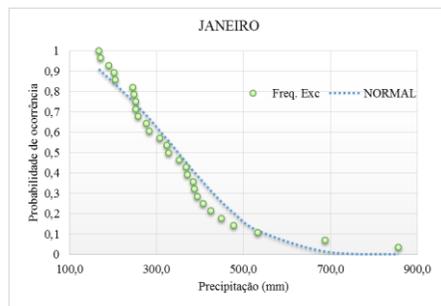
III.5. TODOS OS ANOS: REGIÃO F_ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA FAZENDA SÃO RAIMUNDO



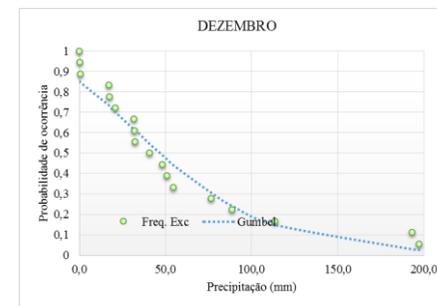
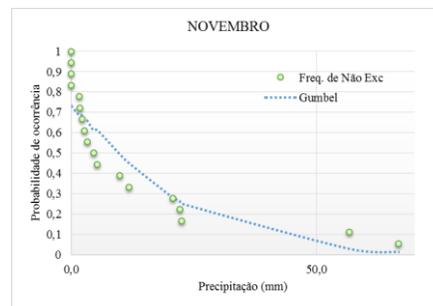
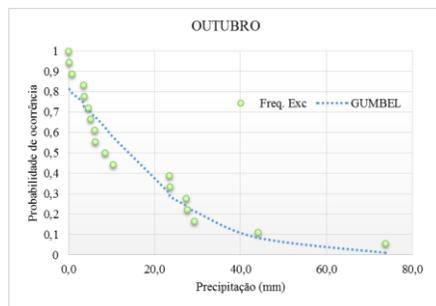
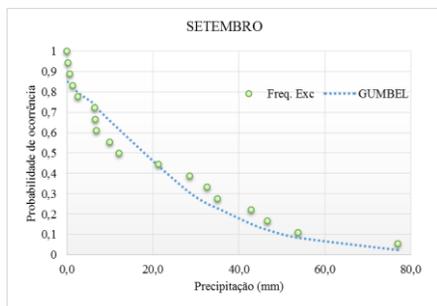
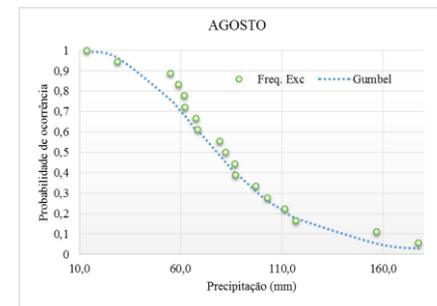
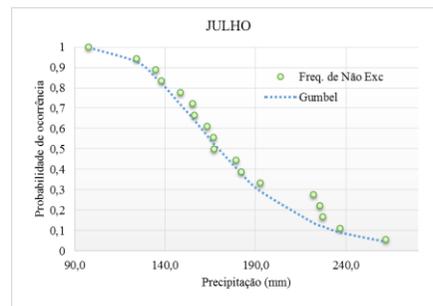
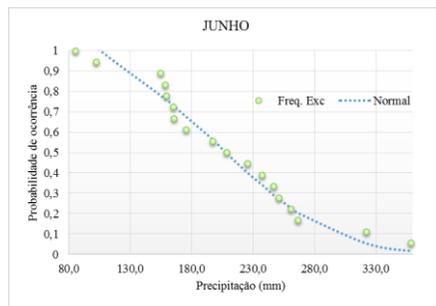
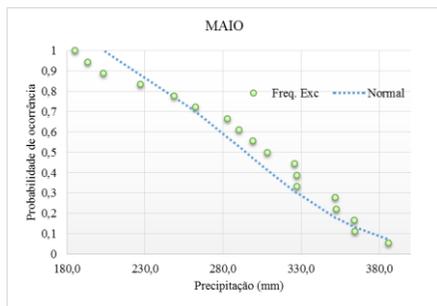
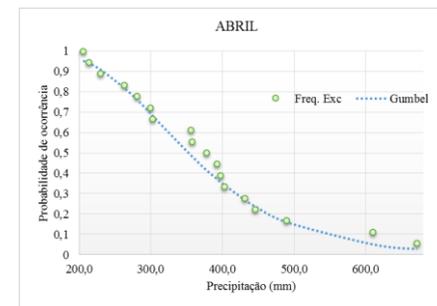
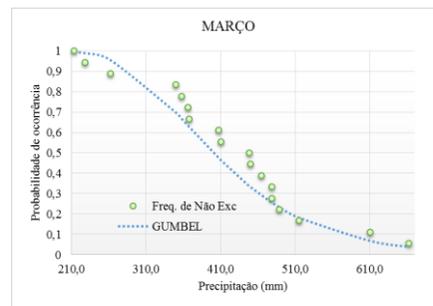
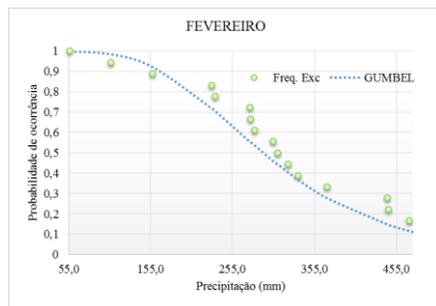
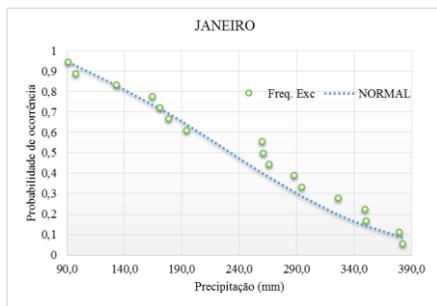
III.6. ANOS DE EL NIÑO: REGIÃO A _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA BARRAGEM CONJ.4



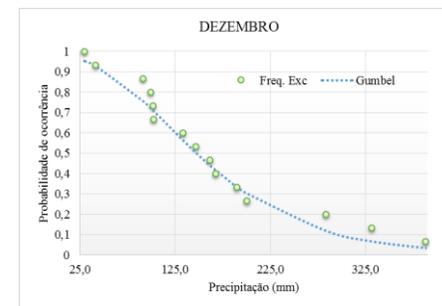
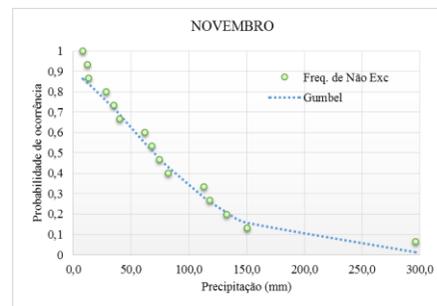
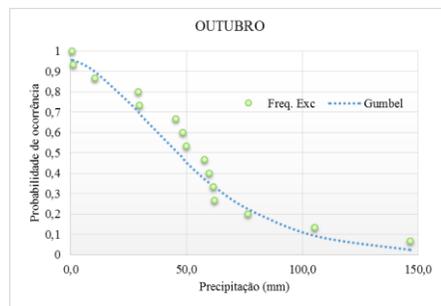
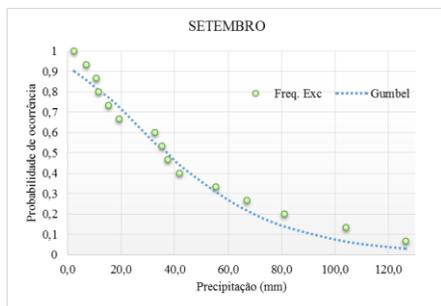
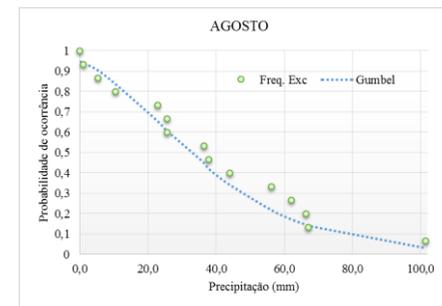
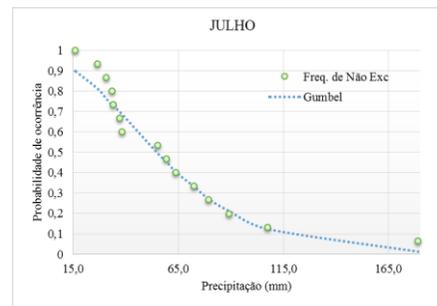
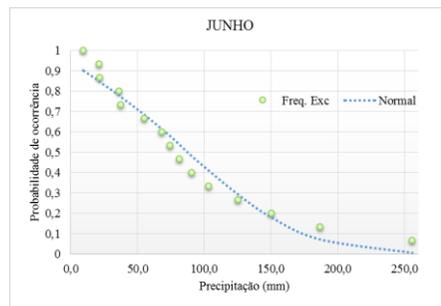
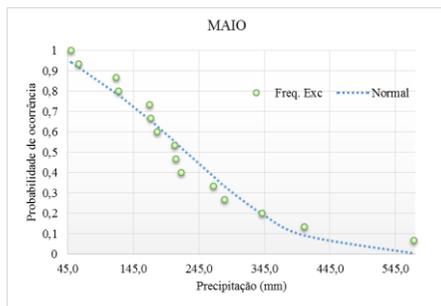
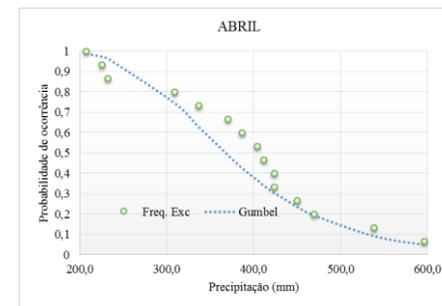
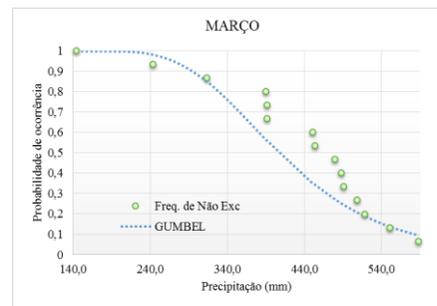
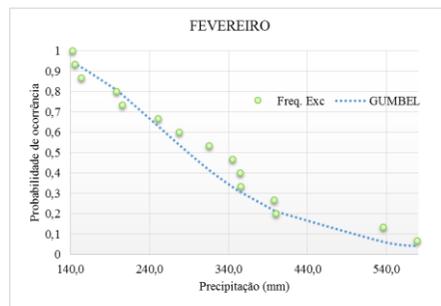
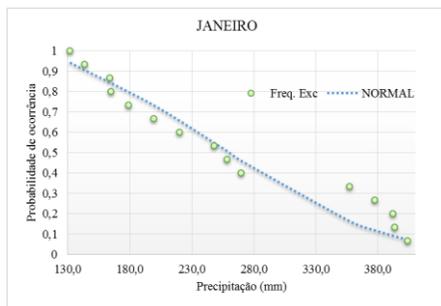
III.7. ANOS DE EL NIÑO: REGIÃO E _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SANTA ISABEL



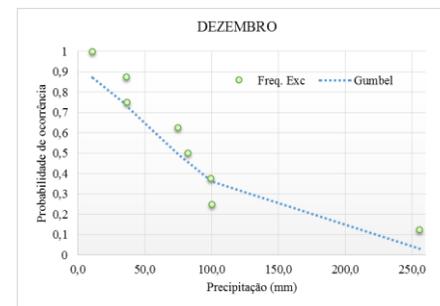
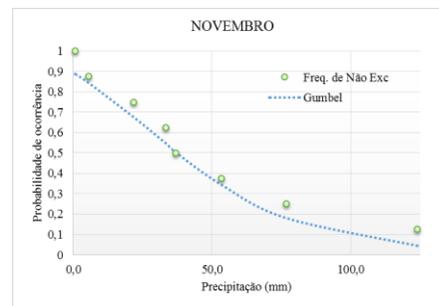
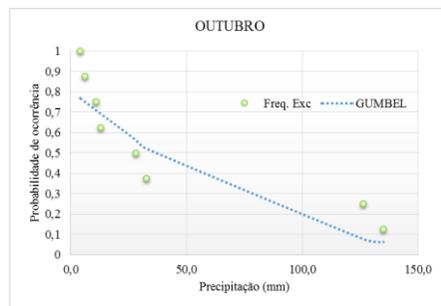
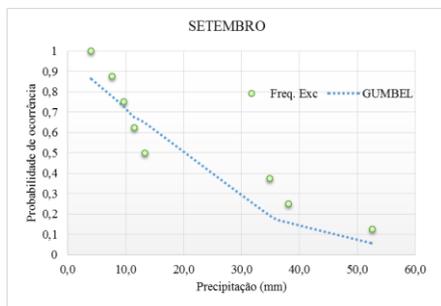
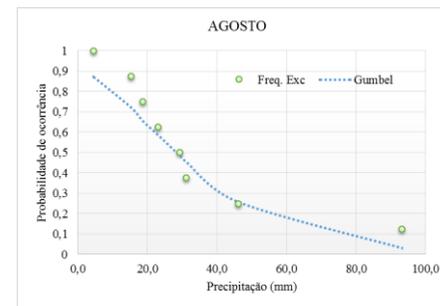
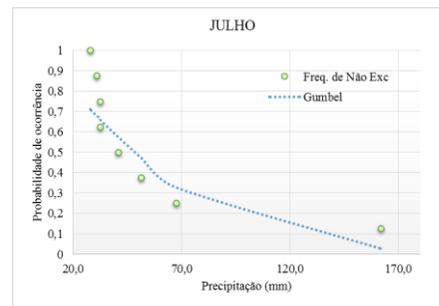
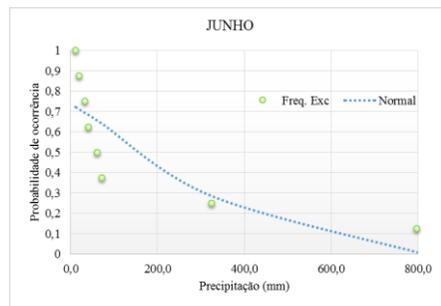
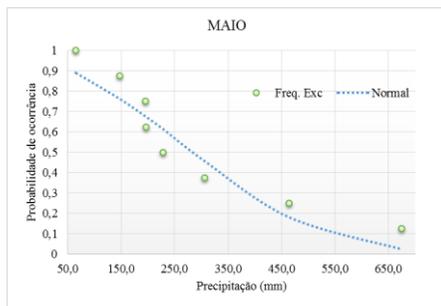
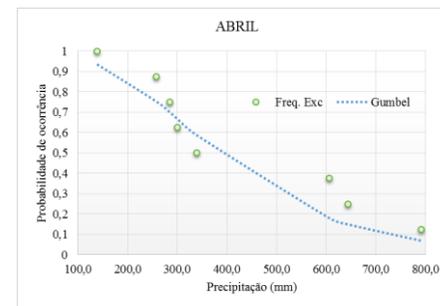
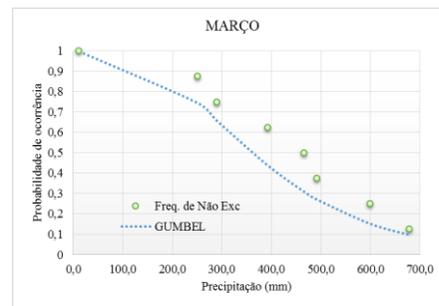
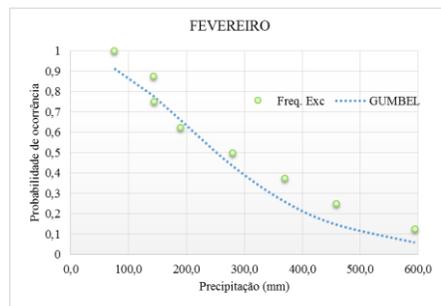
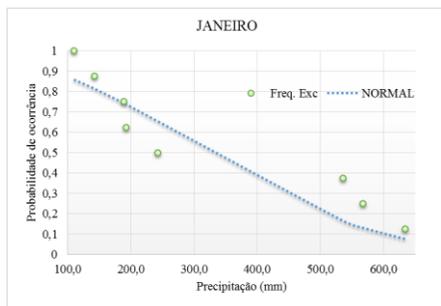
III.8. ANOS DE EL NIÑO: REGIÃO E _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EMBORAI



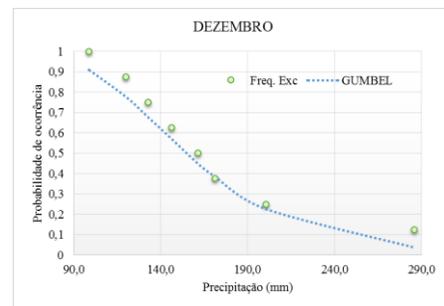
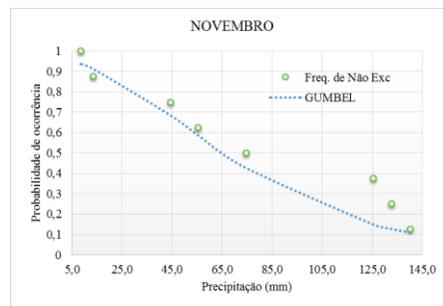
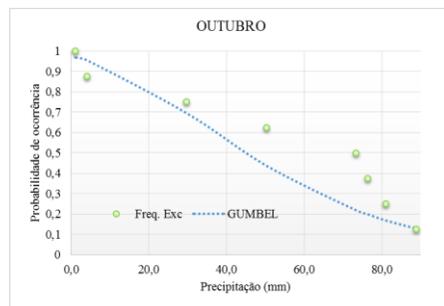
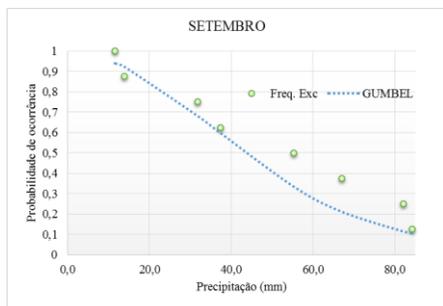
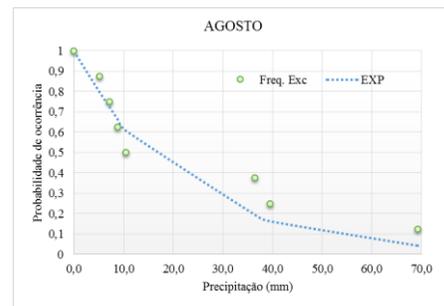
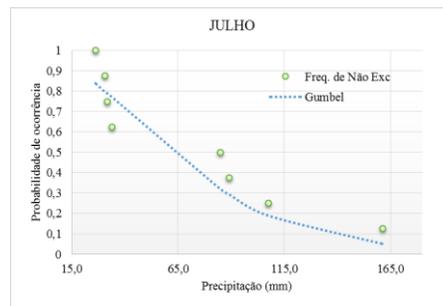
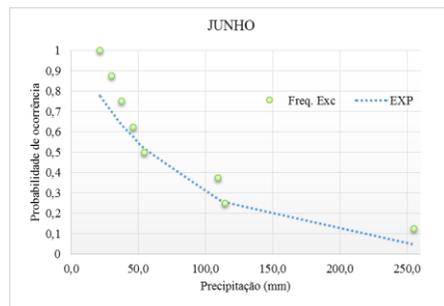
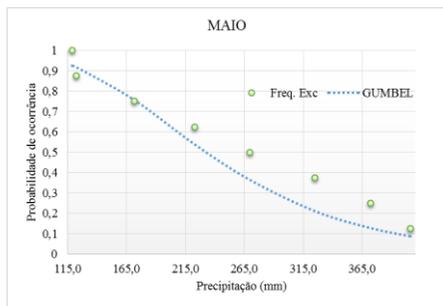
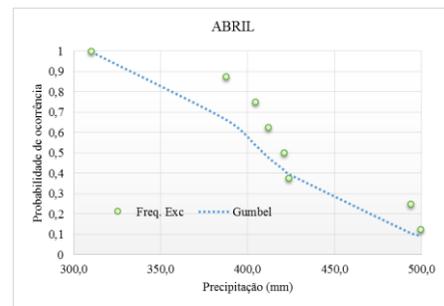
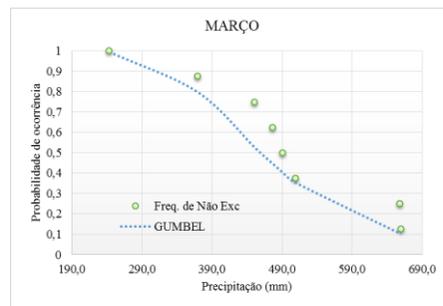
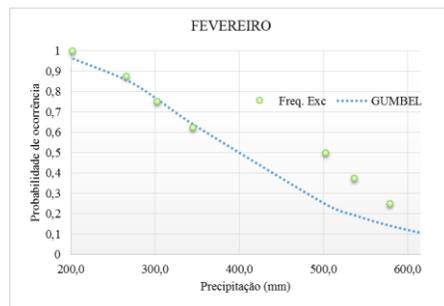
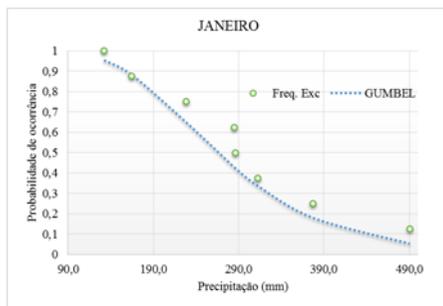
III.9. ANOS DE EL NIÑO: REGIÃO E _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PA-256



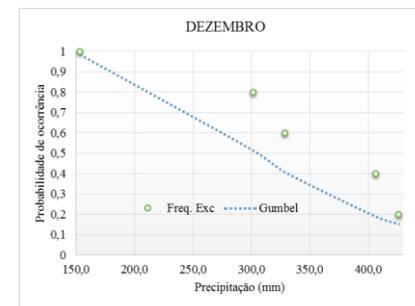
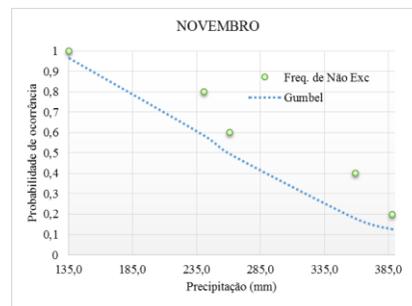
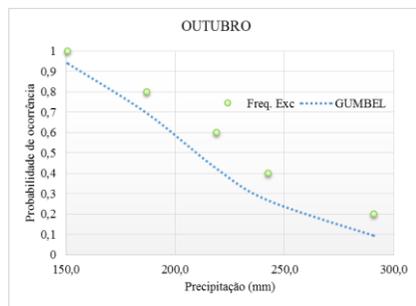
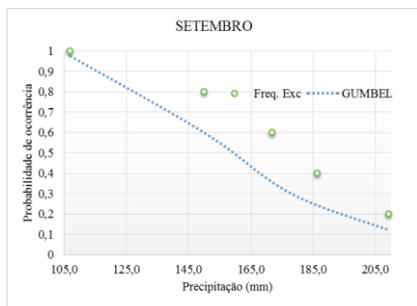
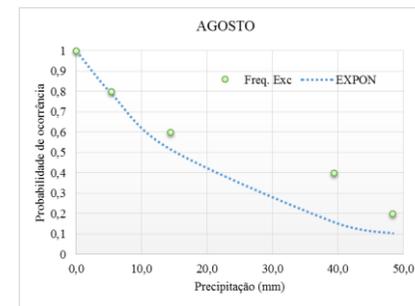
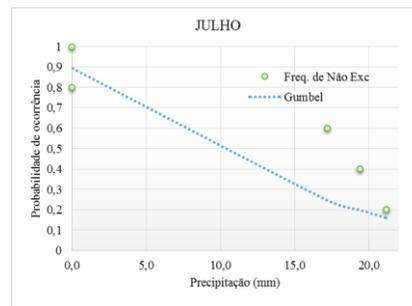
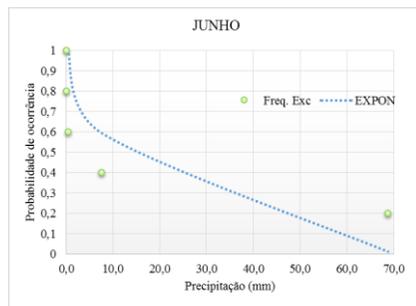
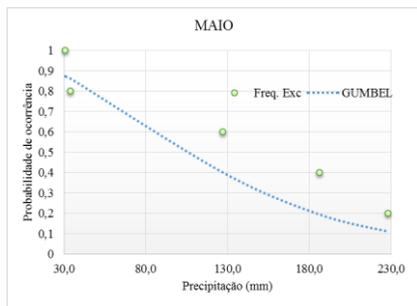
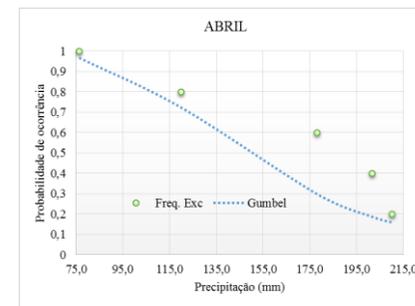
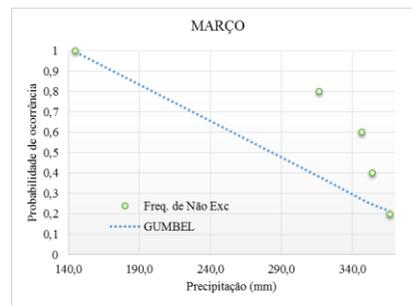
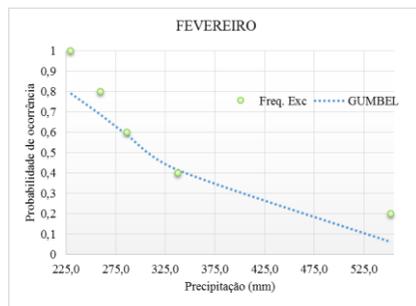
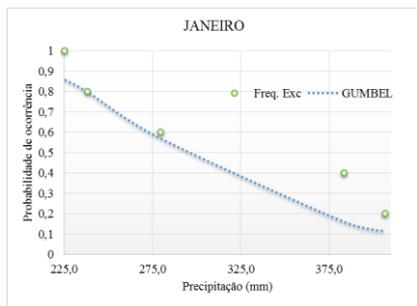
III.10. ANOS DE EL NIÑO: REGIÃO E _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA FAZENDA SÃO RAIMUNDO



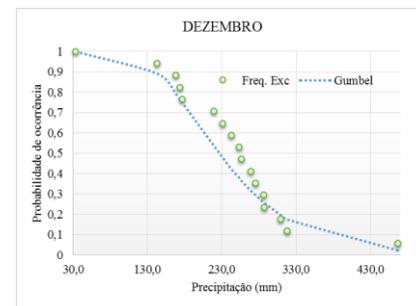
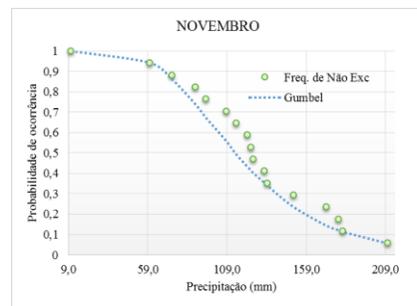
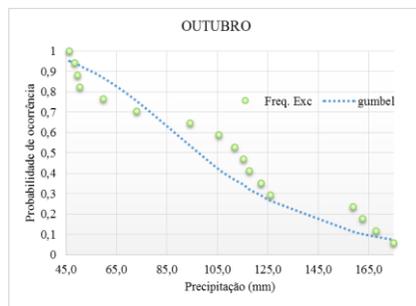
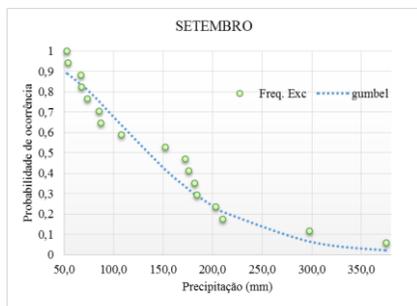
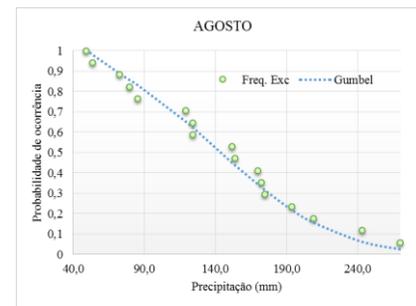
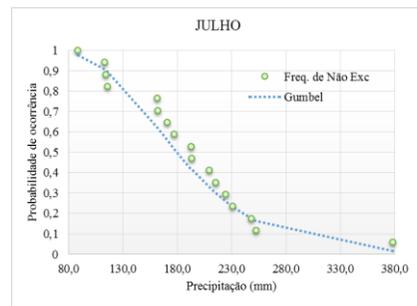
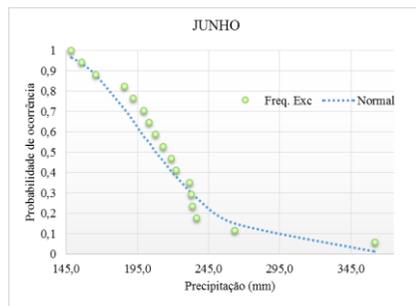
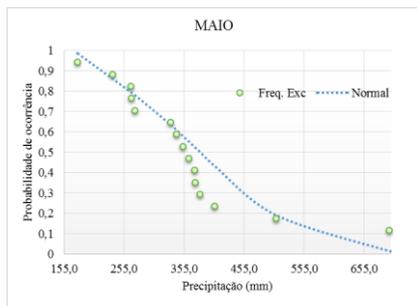
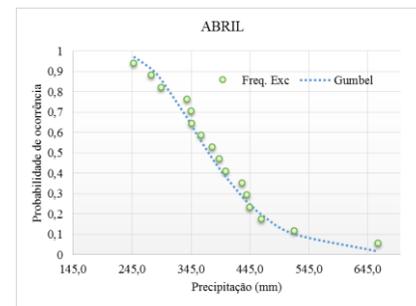
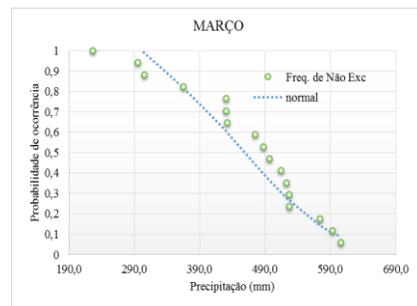
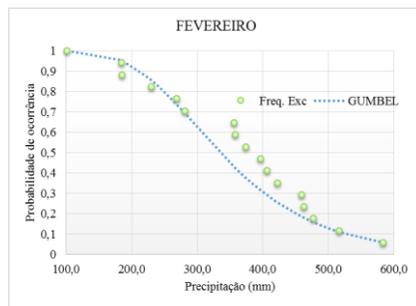
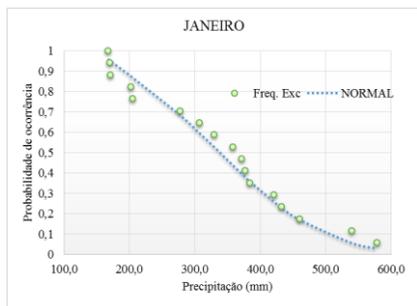
III.11. ANOS DE LA NIÑA: REGIÃO A _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SÃO FELIX DO XINGÚ



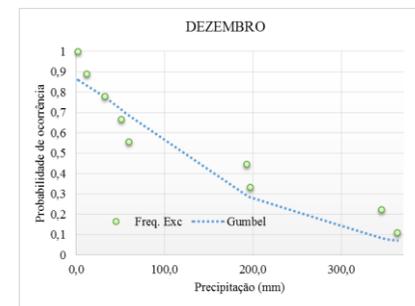
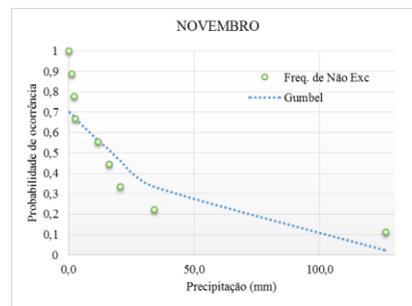
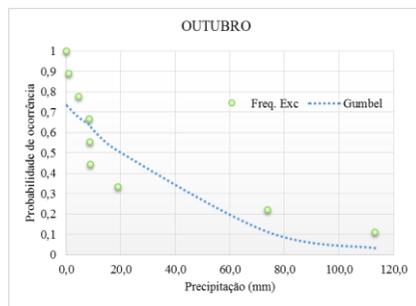
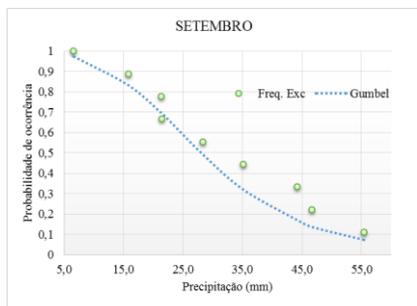
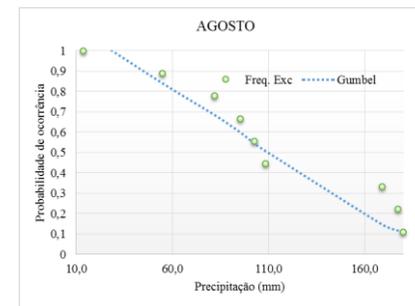
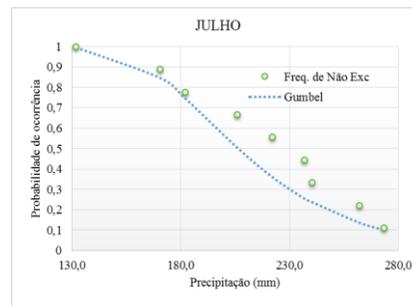
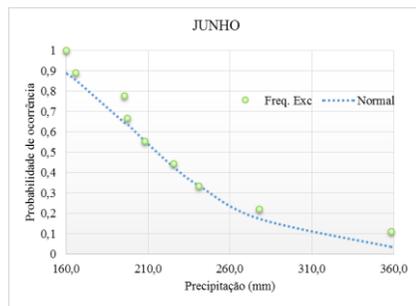
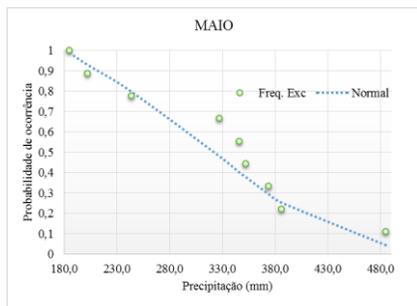
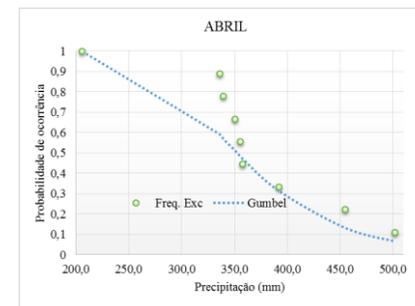
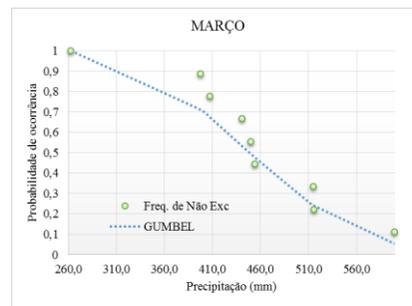
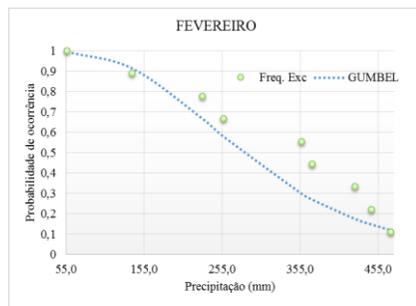
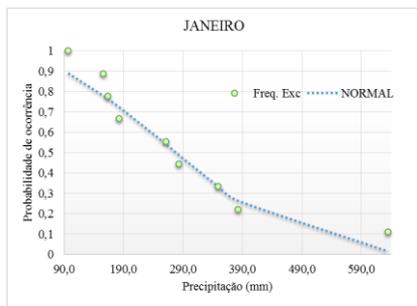
III.12. ANOS DE LA NIÑA: REGIÃO A _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA FAZENDA CUMARÚ DO NORTE



III.13. ANOS DE LA NIÑA: REGIÃO E _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SANTA ISABEL



III.14. ANOS DE LA NIÑA: REGIÃO E _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EMBORAI



III.15. ANOS DE LA NIÑA: REGIÃO E _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PA-256

