



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).

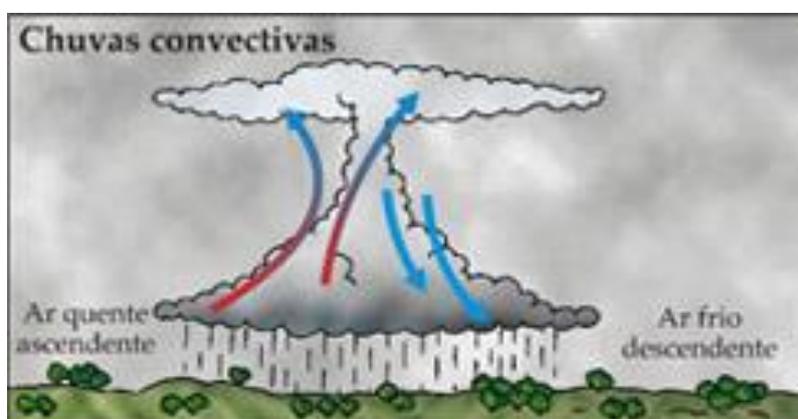


Figura 2.1– Formação de Chuva Convectiva: Esquema Representativo do Deslocamento do Ar Úmido Aquecido

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).

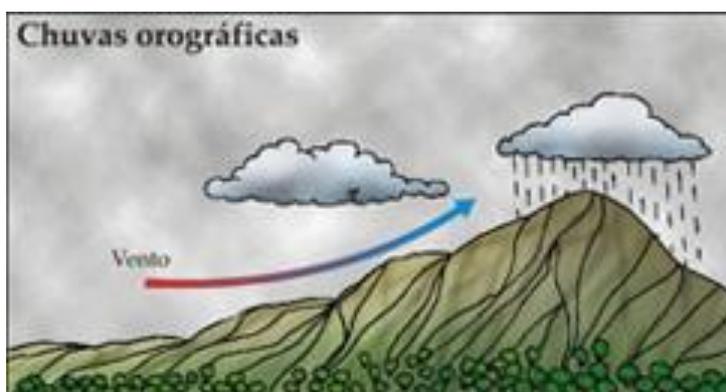


Figura 2.2 – Esquema de ocorrências de Chuvas Orográficas

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.

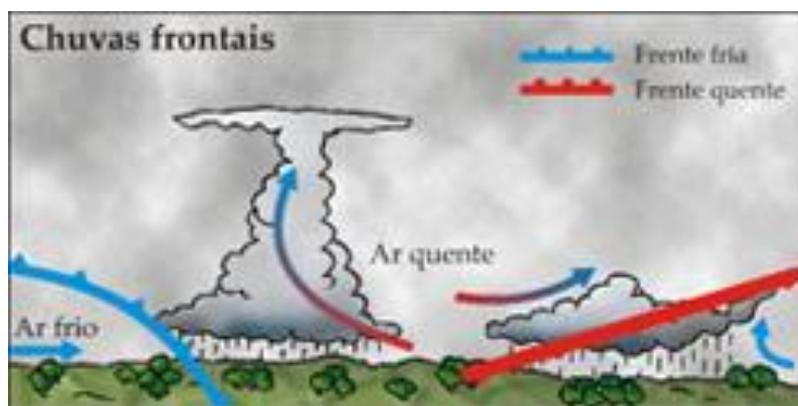


Figura 2.3 – Chuvas Frontais

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.

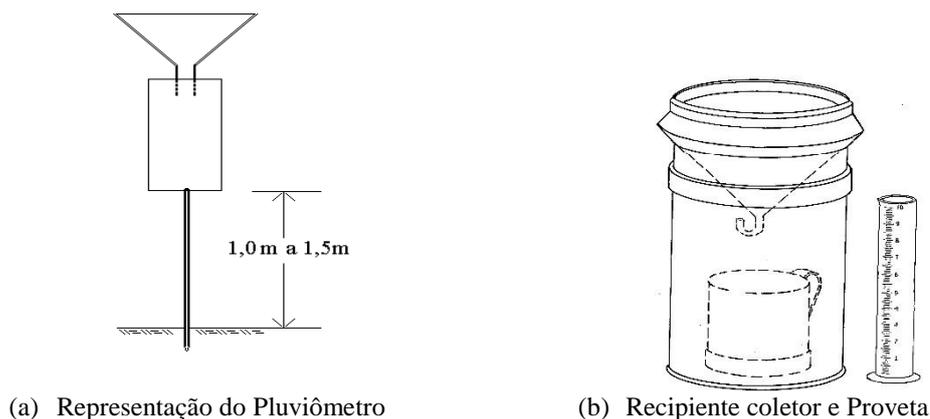


Figura 2.4 – Esquema de Pluviômetro

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.

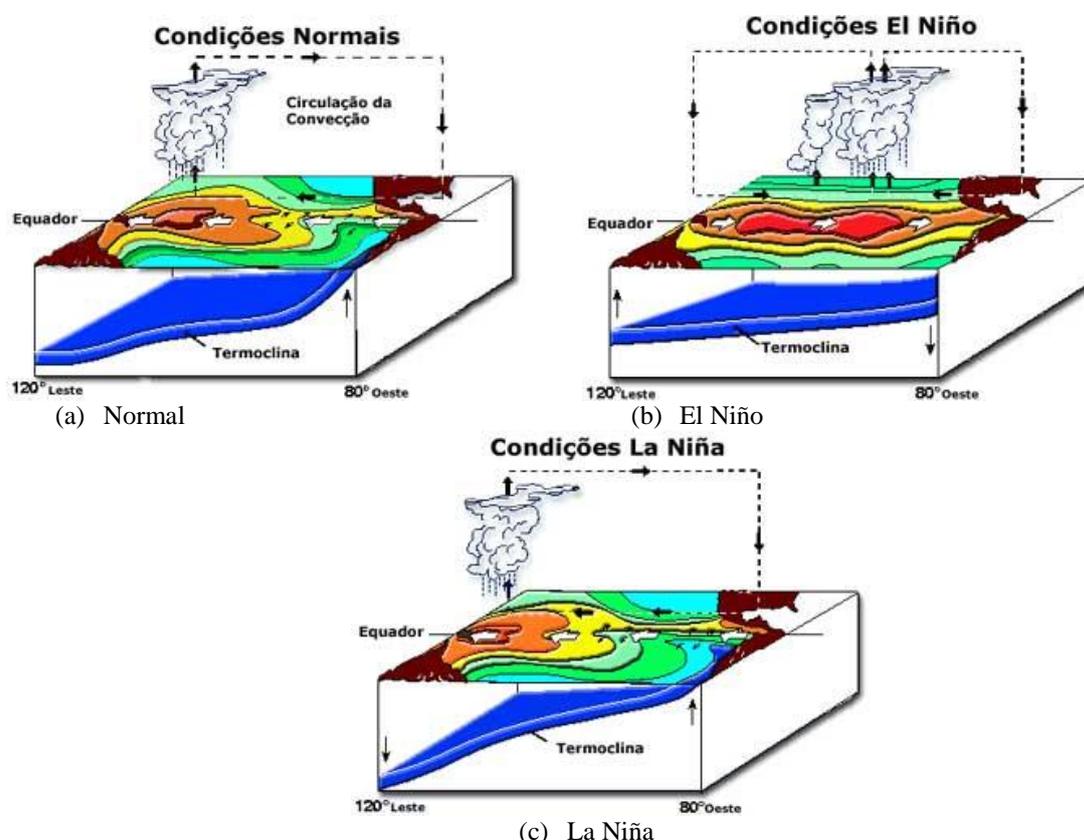


Figura 2.6 – Padrão de circulação observada em anos de El Niño, La Niña e normais na região equatorial do Oceano Pacífico.

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).

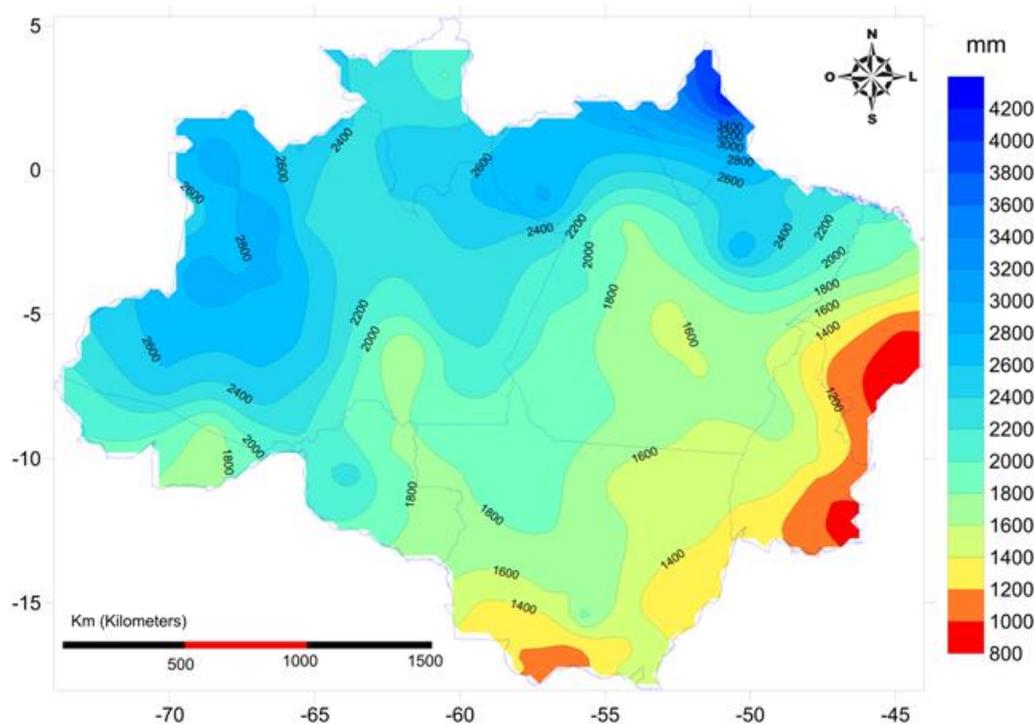


Figura 2.7 - Distribuição espacial da precipitação anual na Amazônia Legal Brasileira (2007).

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.

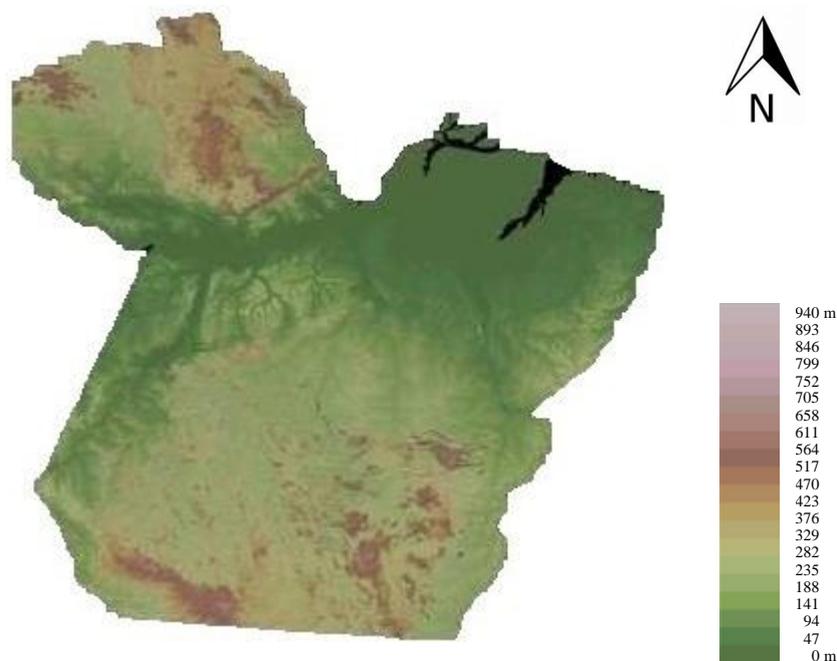


Figura 3.1 – Mapa de altitude do Estado do Pará

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.

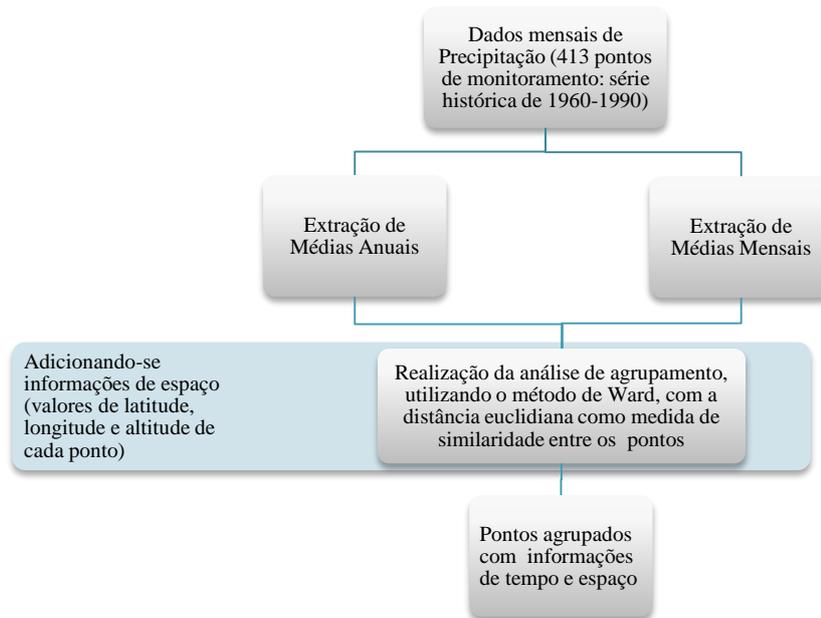


Figura 3.2 – Fluxograma do tratamento dos dados

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).

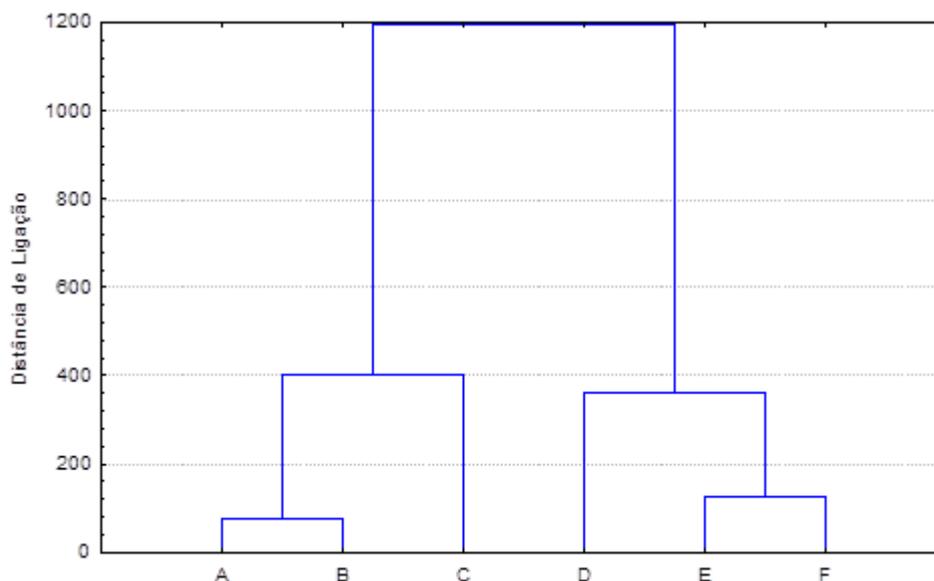


Figura 3.3 – Dendrograma ou Diagrama de Árvore

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).

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

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

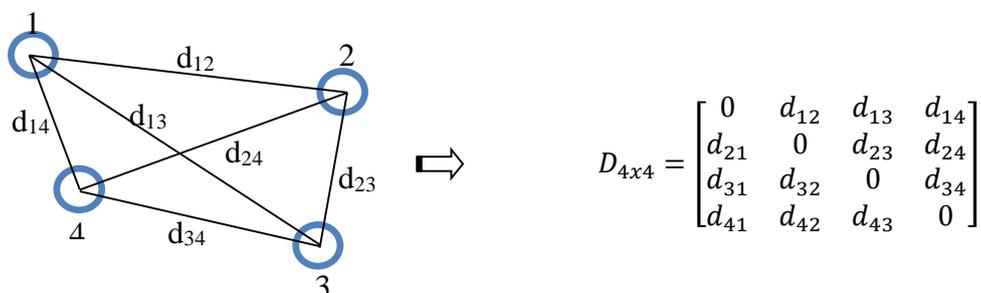


Figura 3.4 – Esquema de armazenamento de distâncias numa matriz 4x4.

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.

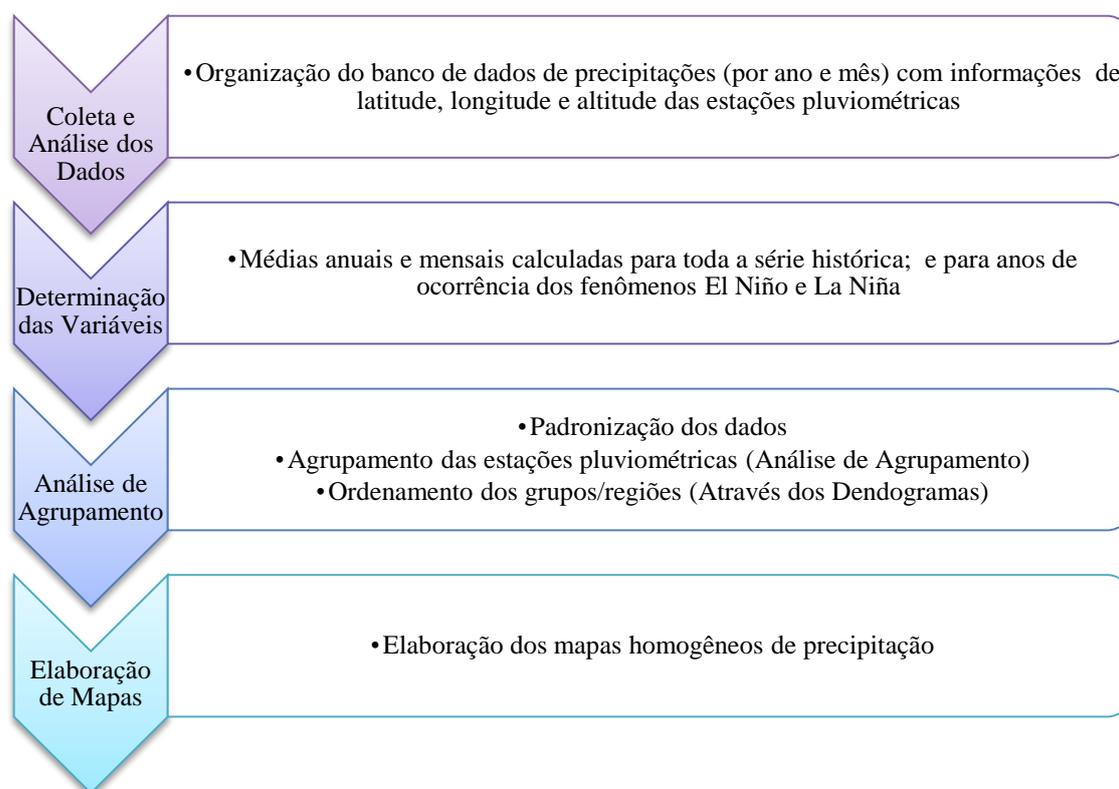


Figura 3.5 – Fluxograma da metodologia de agrupamento

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 $([X]^T \cdot [X])^{-1}$.

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.

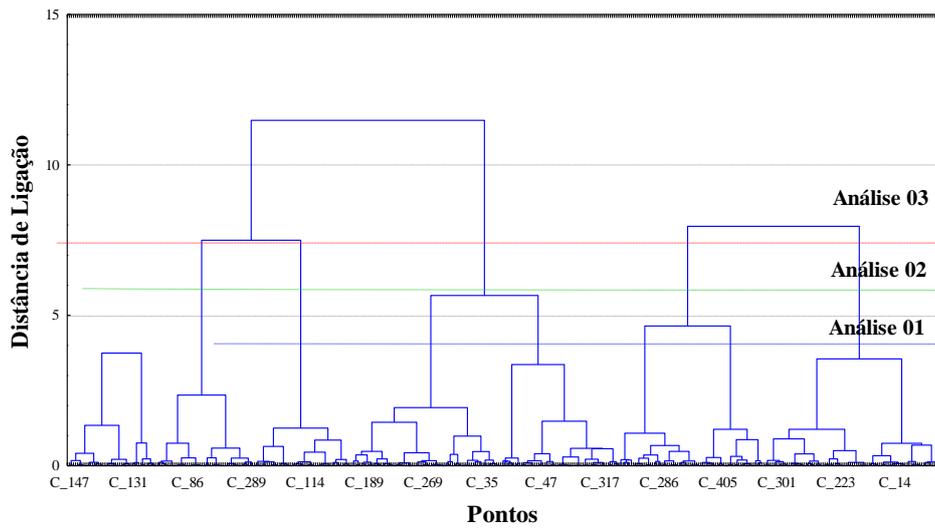
Tabela 4.1 – Cortes do dendograma para o agrupamento

Análise	Agrupamento	Todos os anos (TA)		Anos de El Niño (EN)		Anos de La Niña (LN)	
		P _{MA}	P _{MM}	P _{MA}	P _{MM}	P _{MA}	P _{MM}
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

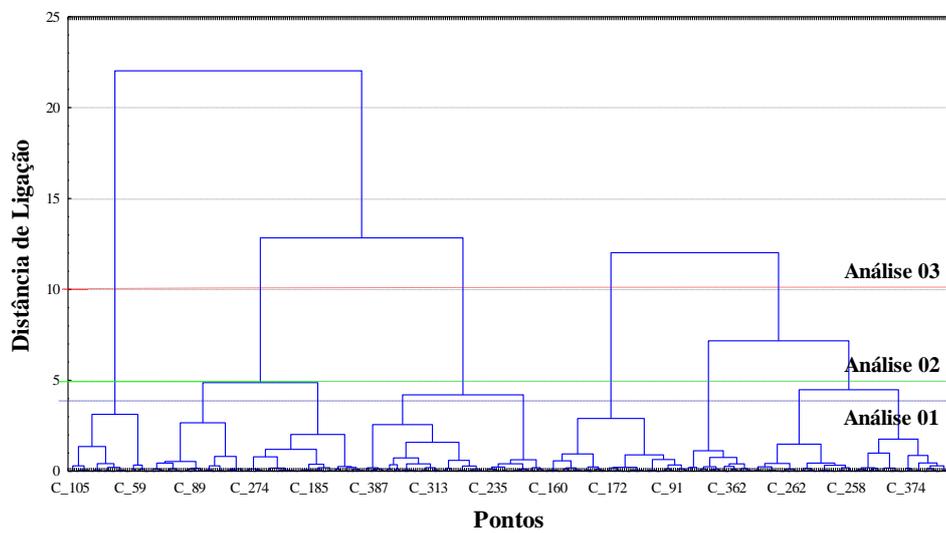
P_{MA}: Precipitação Média Anual; P_{MM}: Precipitação Média Mensal.

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.

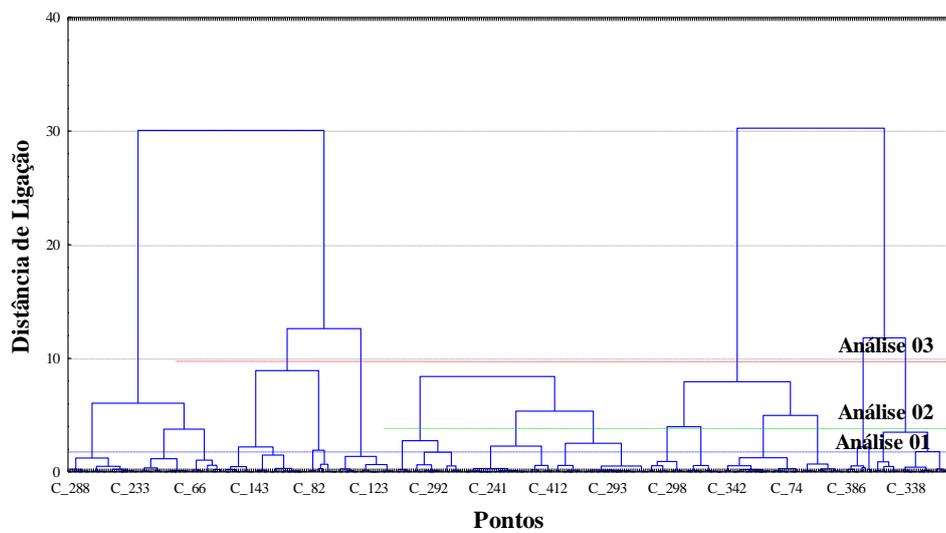
A Figura 4.1 apresenta a análise feita para os dendogramas obtidos com o agrupamento dos valores das precipitações médias anuais, tanto para a série histórica, contendo todos os anos analisados (Figura 4.1 (a)), quanto para séries com ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña (Figura 4.1 (b) e (c), 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



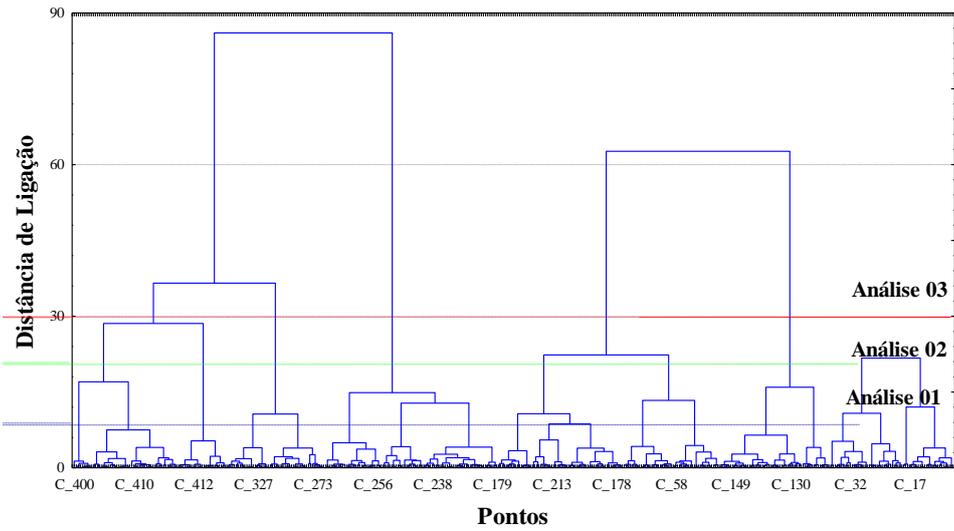
(b) Anos de El Niño



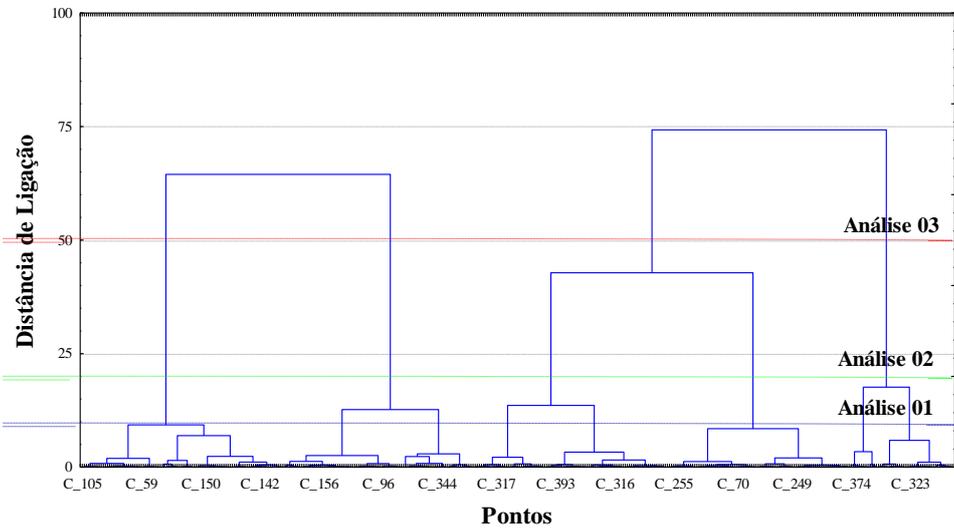
(c) Anos de La Niña

Figura 4.1 – Dendogramas das Precipitações Médias Anuais

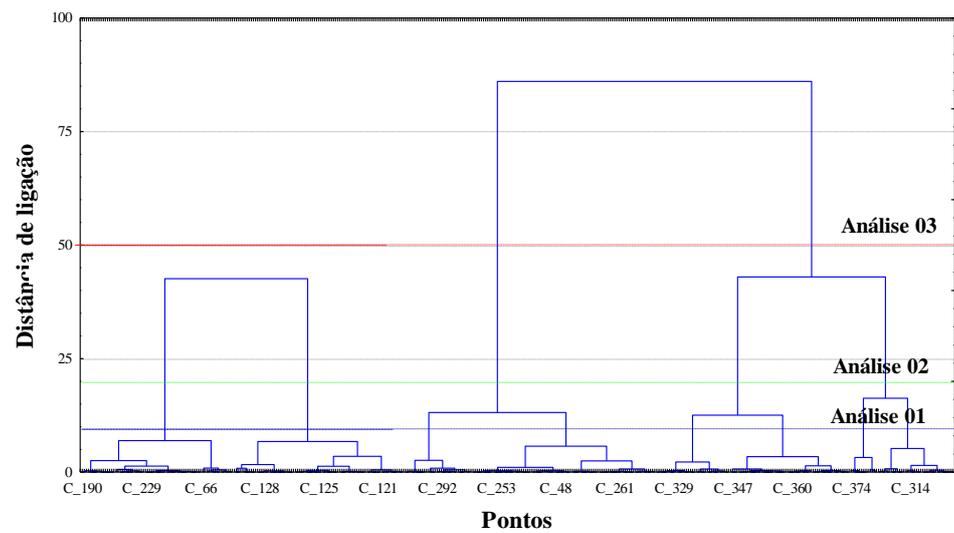
Os dendogramas obtidos com o agrupamento dos valores das precipitações médias mensais estão mostrados na Figura 4.2, na qual se observa as análises para todas as séries históricas (Figura 4.2 (a), (b) e (c)). Utilizando-se também a linha da corte da análise 02, obteve-se para as séries históricas, contendo 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

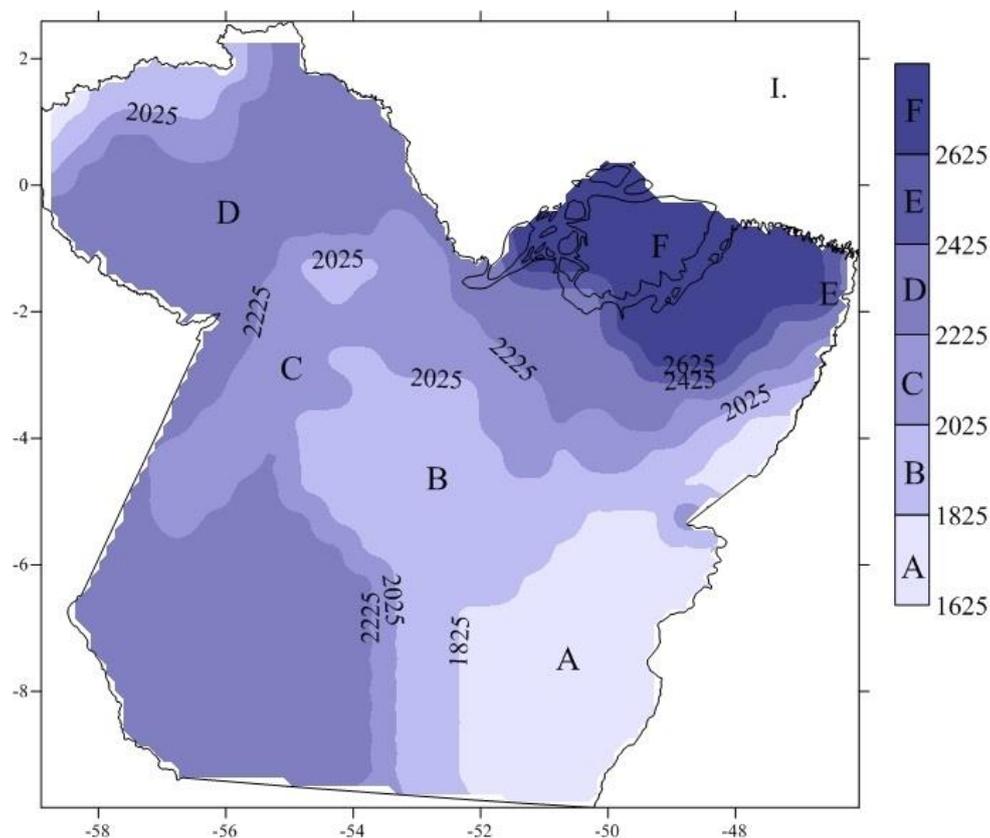


(c) Anos de La Niña

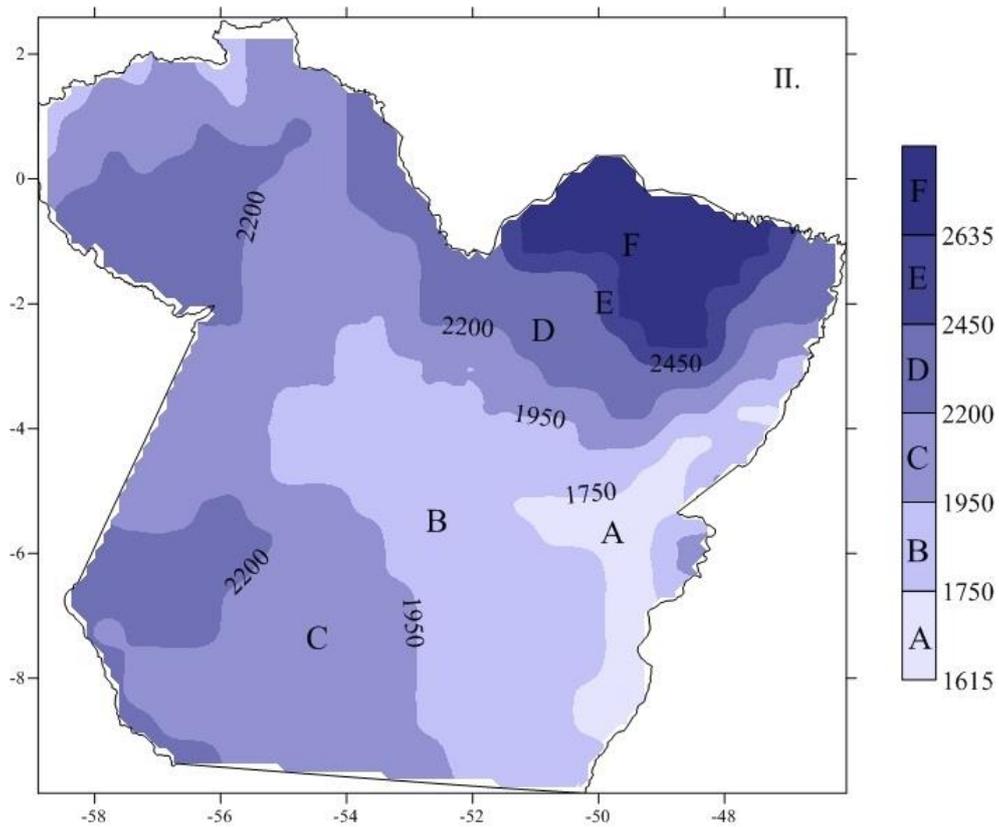
Figura 4.2 - Dendogramas das Precipitações Médias Mensais

4.2.3. Agrupamento em Regiões Homogêneas

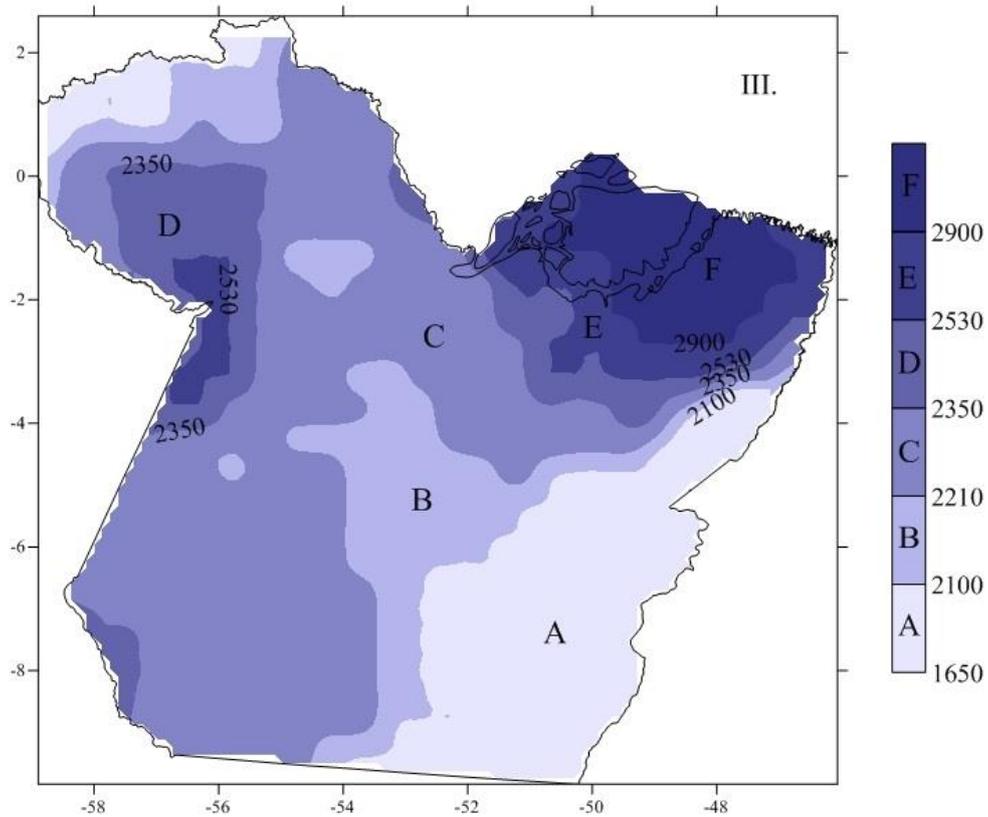
Após a análise de sensibilidade e a determinação do número de regiões homogêneas formadas, foi feita a seleção dos pontos para cada região. As informações de cada região (Identificação dos pontos, latitude, longitude, altura e valor de precipitação) foram reorganizadas em uma tabela, a qual foi utilizada 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



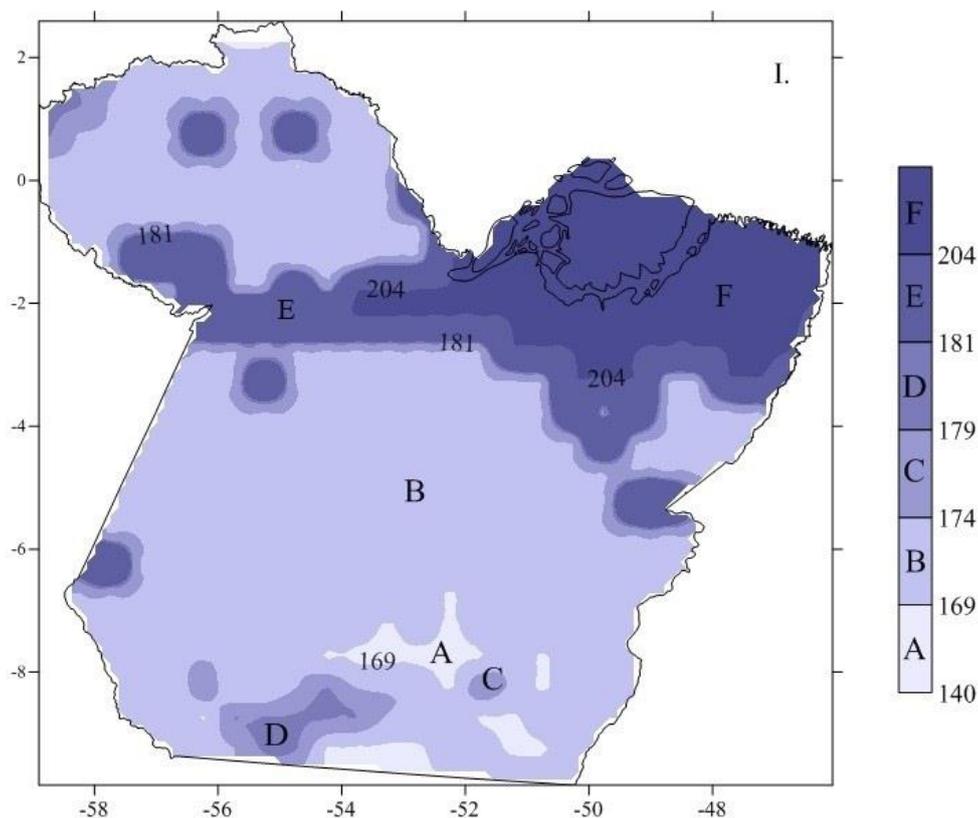
(c) Precipitação média anual (mm): Anos de La Niña

Figura 4.3 – Distribuição de Regiões Homogêneas de Precipitação Média Anual

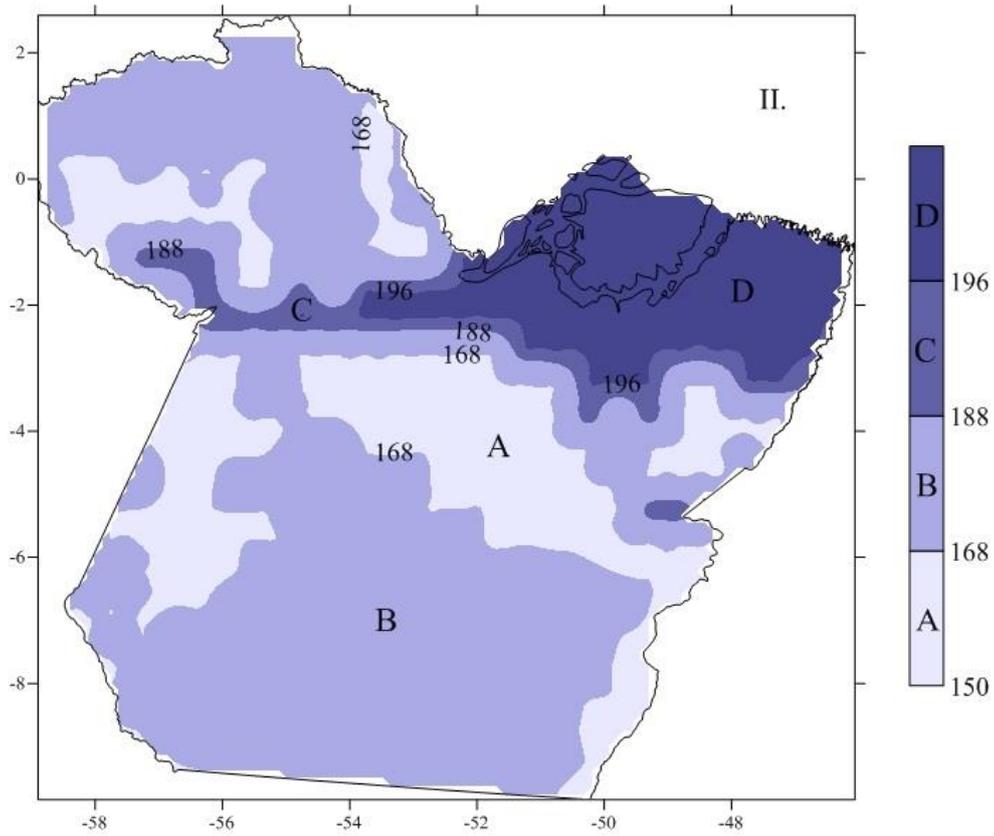
Nesse caso, notou-se um maior índice pluviométrico no Nordeste do Estado, para todas as séries históricas estudadas (para todos os anos, anos de ocorrência do fenômeno El Niño e anos de ocorrência do fenômeno La Niña), equivalendo a região F, com médias variando de 2635 mm/ano para o fenômeno El Niño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

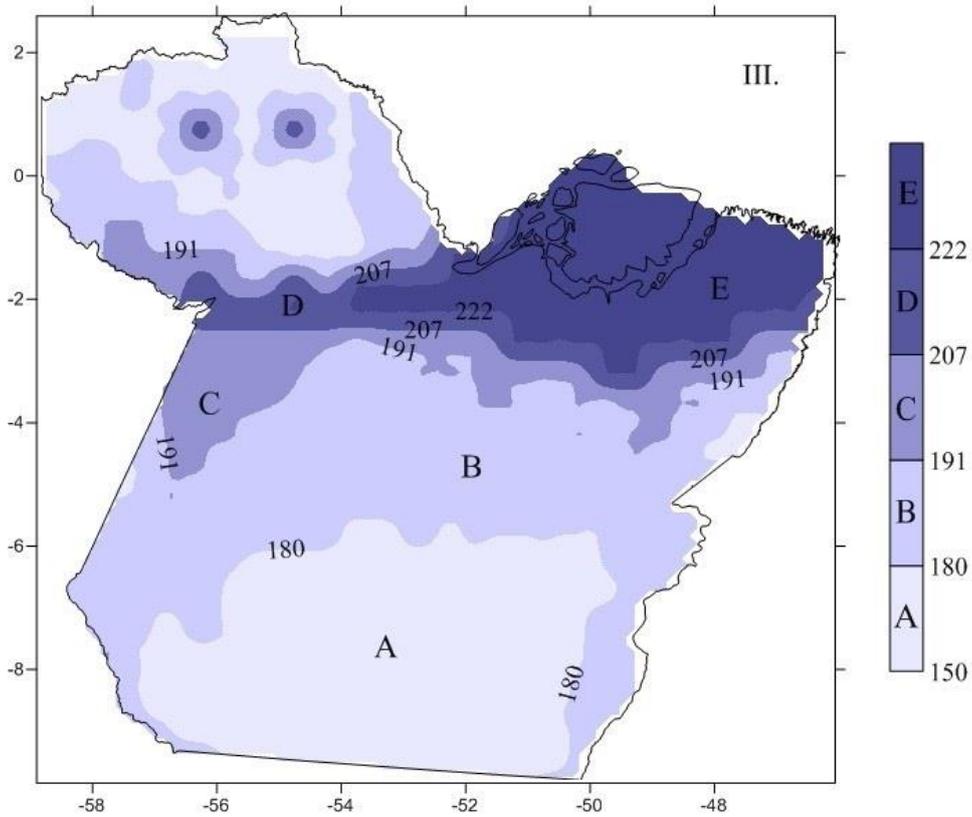
Assim como para as médias anuais, para as médias mensais (Figura 4.4 (a), (b), e (c)), o nordeste do Estado apresentou maior índice pluviométrico, regiões F, D e E, respectivamente, variando de 196 mm/mês (El Niño) a 222 mm/mês (La Niña).



(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).

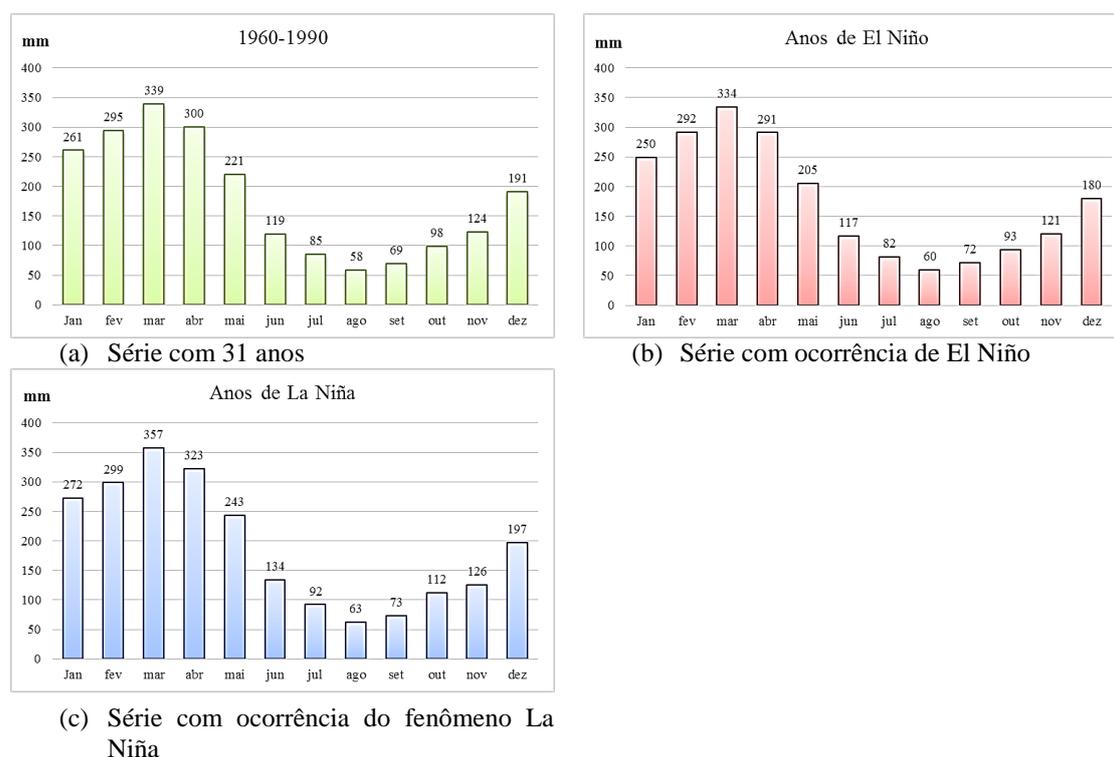
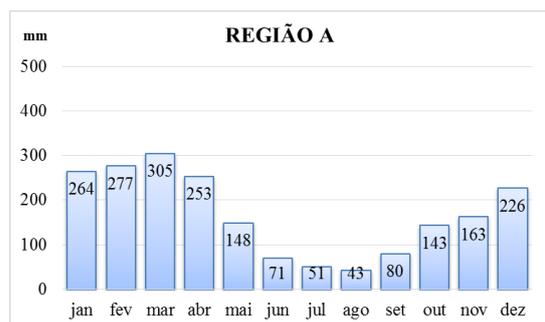


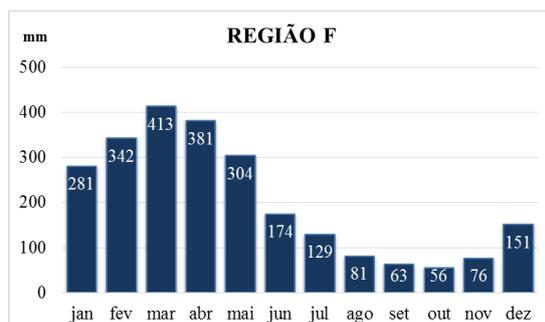
Figura 4.5 – Variação Mensal Média da Chuva no Estado do Pará

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.

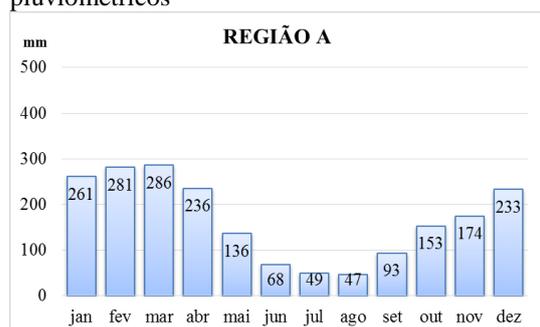
A Figura 4.6 apresenta a variação mensal média de precipitação, para as regiões homogêneas A e F, regiões com menores e maiores índices pluviométricos, respectivamente. Observou-se que o mês de março apresentou maiores índices pluviométricos, tanto para regiões mais úmidas (Região F) quanto para regiões 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).



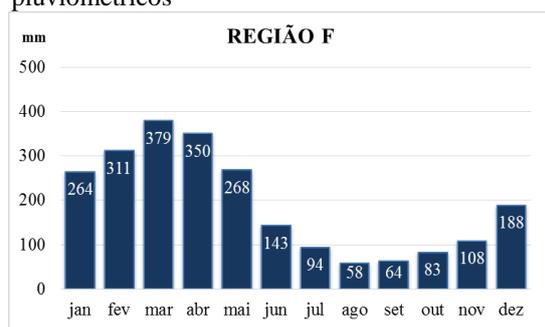
(a) Série 1960-1990: Região com menores índices pluviométricos



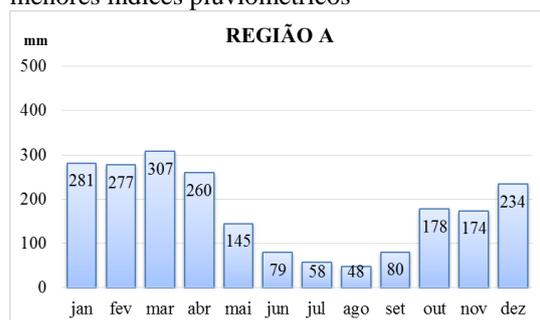
(b) Série 1960-1990: Região com maiores índices pluviométricos



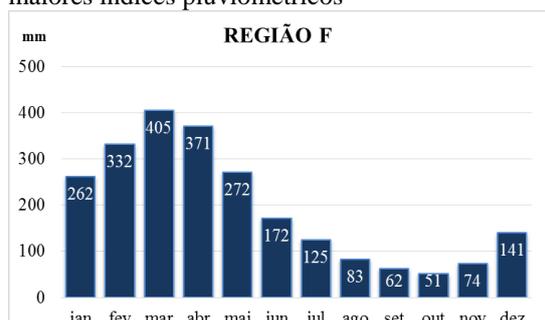
(c) Série com ocorrência de El Niño: Região com menores índices pluviométricos



(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.

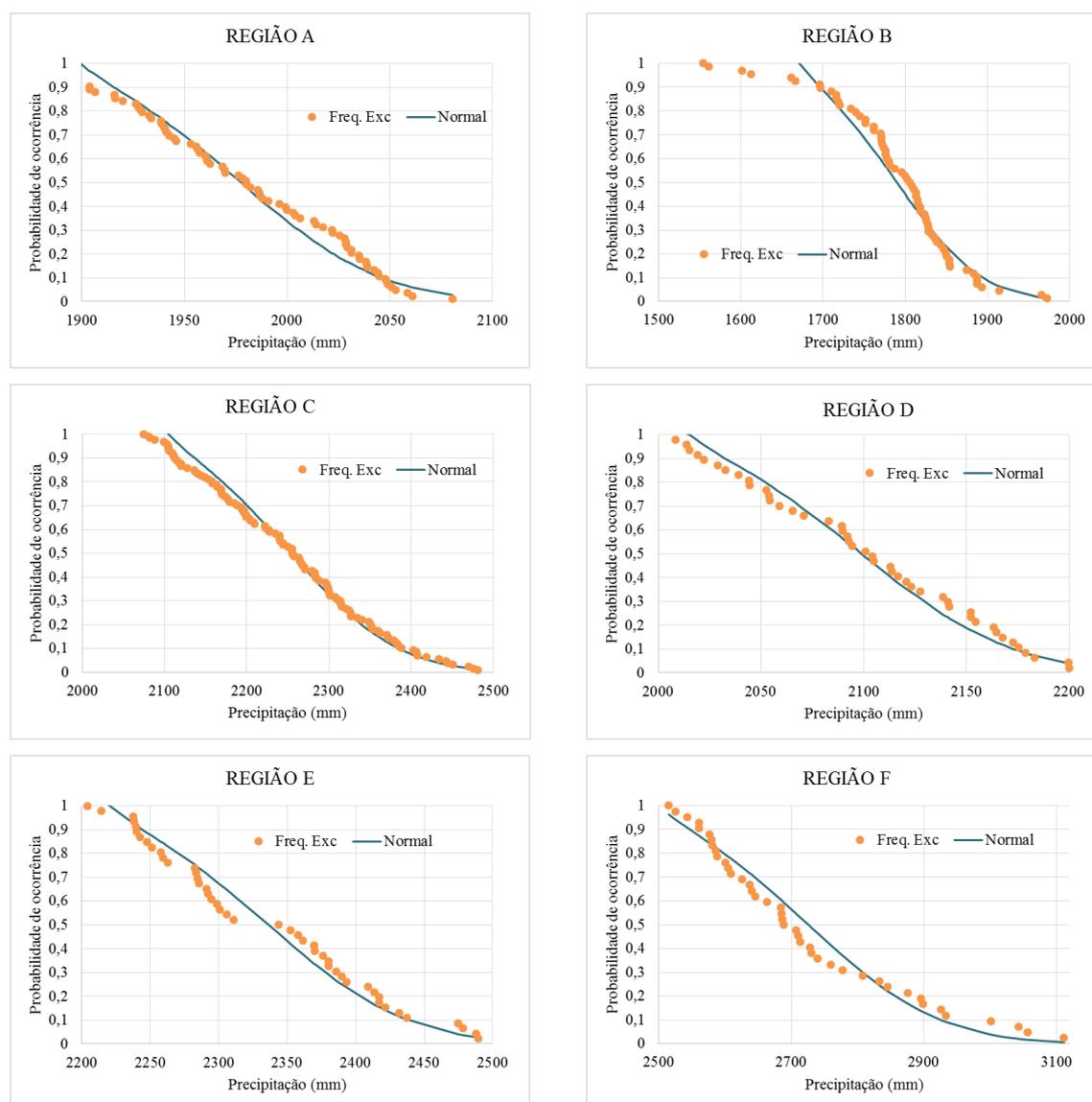


Figura 4.7 - Frequências de excedência e função de distribuição de probabilidade para Precipitação Média Anual: Série completa

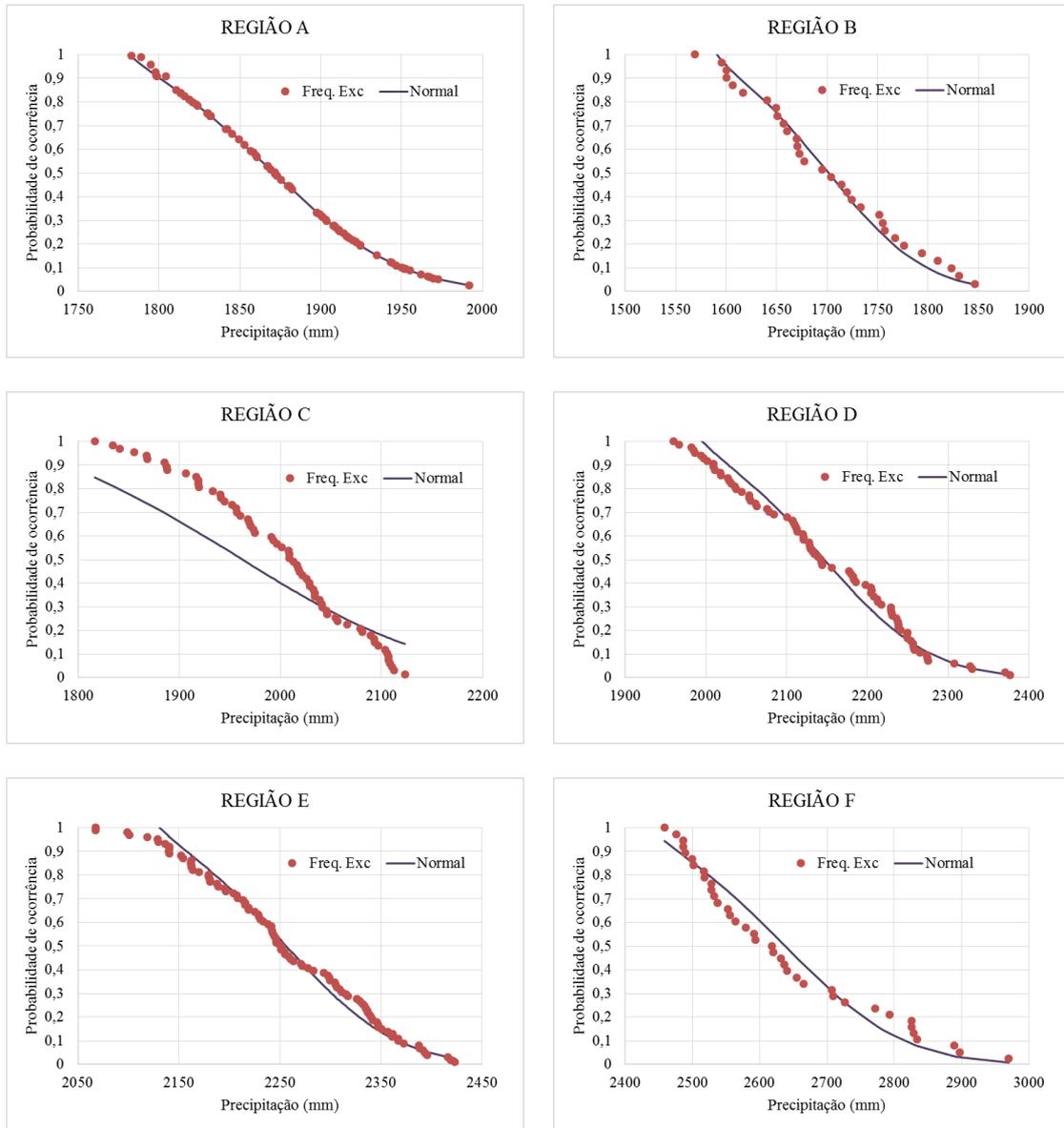
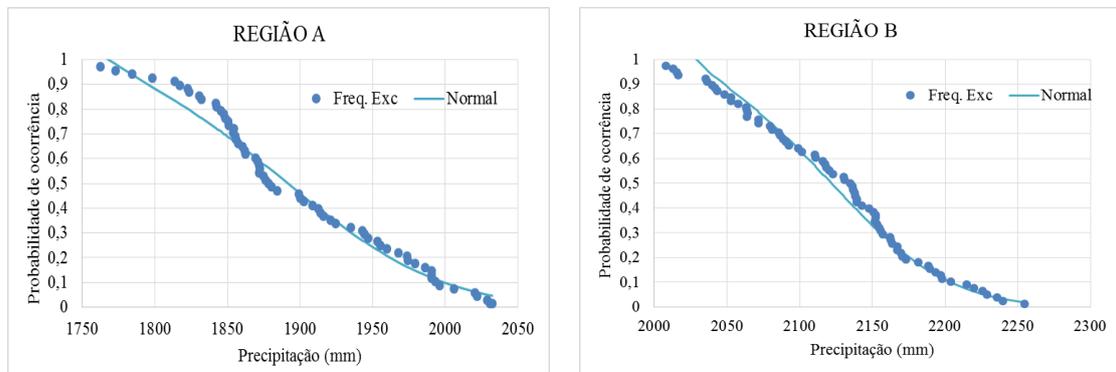


Figura 4.8 – Frequências de excedência e função de distribuição de probabilidade para Precipitação Média Anual: El Niño



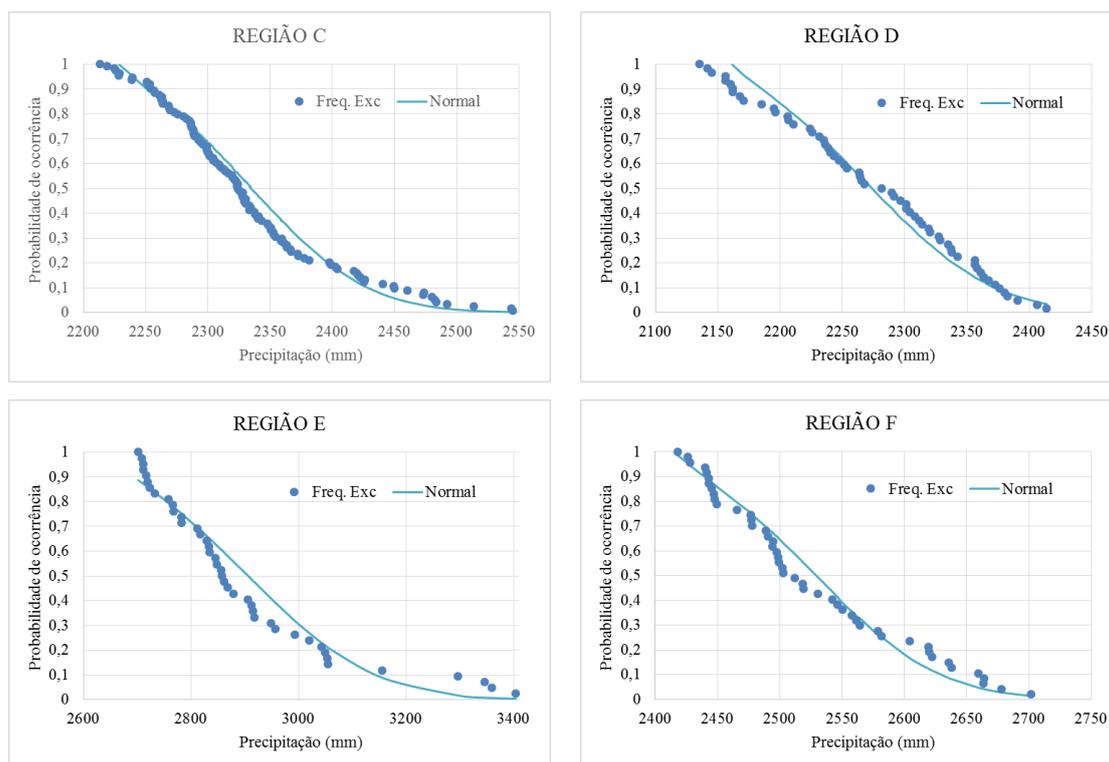


Figura 4.9 - Frequências de excedência e função de distribuição de probabilidade para Precipitação Média Anual: La Niña

- 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.

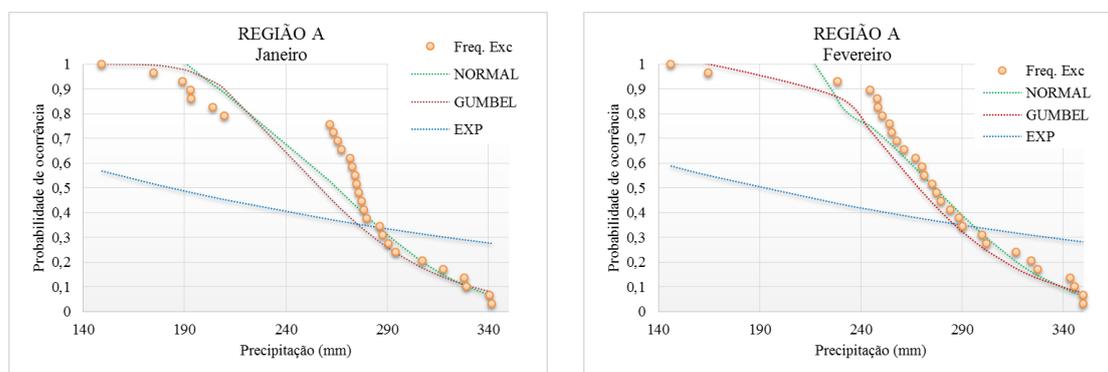
Tabela 4.4 – Teste Qui-quadrado das frequências de excedência para as regiões homogêneas A e F: Todos os anos

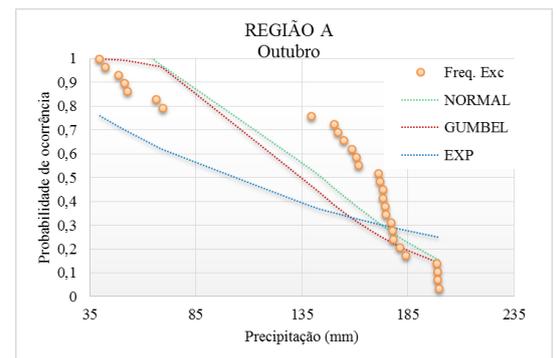
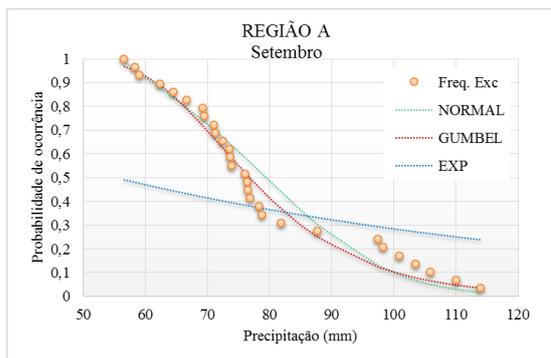
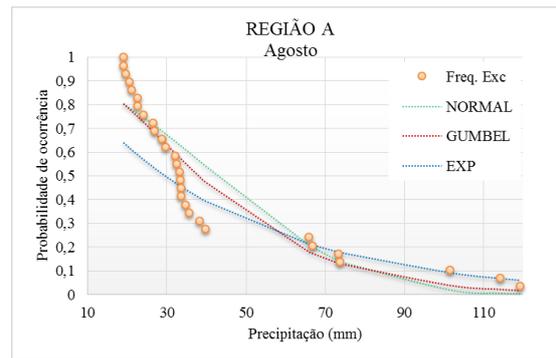
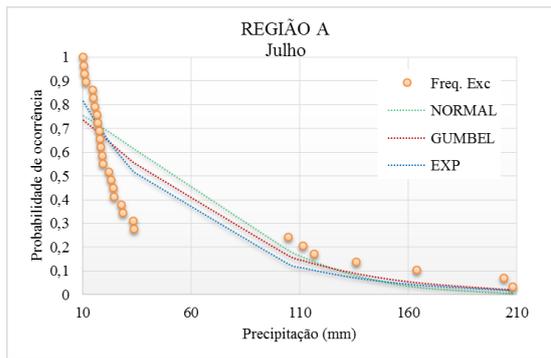
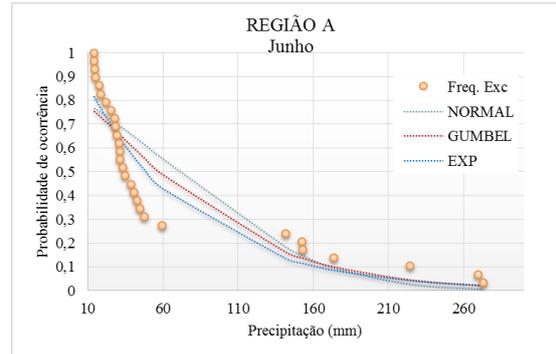
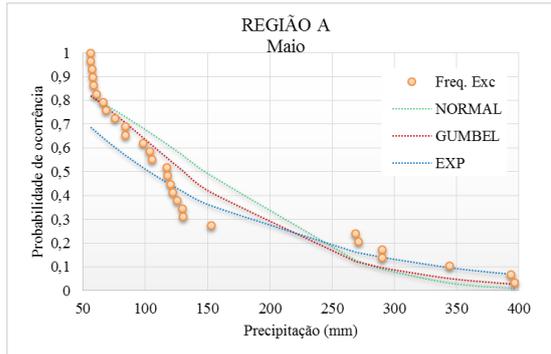
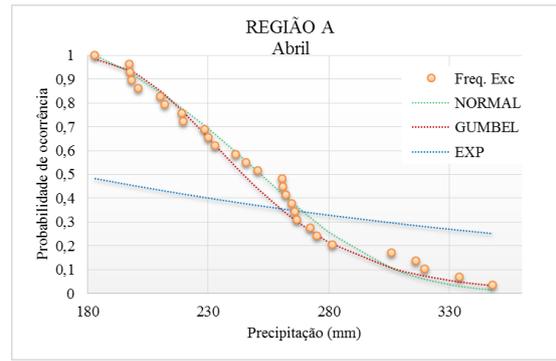
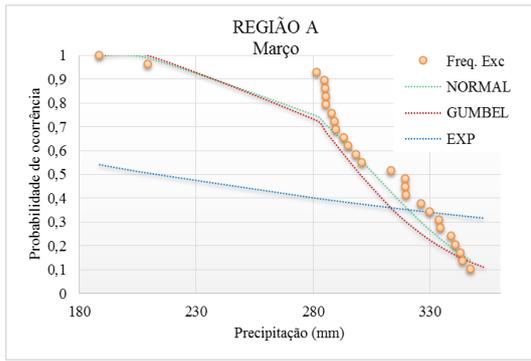
Mês	Região_A			Região_F		
	Normal	Gumbel	Exponencial	Normal	Gumbel	Exponencial
JAN	1,13	1,34	4,84*	1,21	1,44	15,58*
FEV	1,48	0,41	5,21*	1,22	0,63	15,71*
MAR	0,43	0,94	6,02*	0,40	0,41	16,82*
ABR	0,28	0,25	5,06*	1,58	0,20	17,87*
MAI	1,44	0,74	0,84	2,36	2,02	16,66*
JUN	2,23	1,11	0,92	0,89	1,30	13,35*
JUL	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.





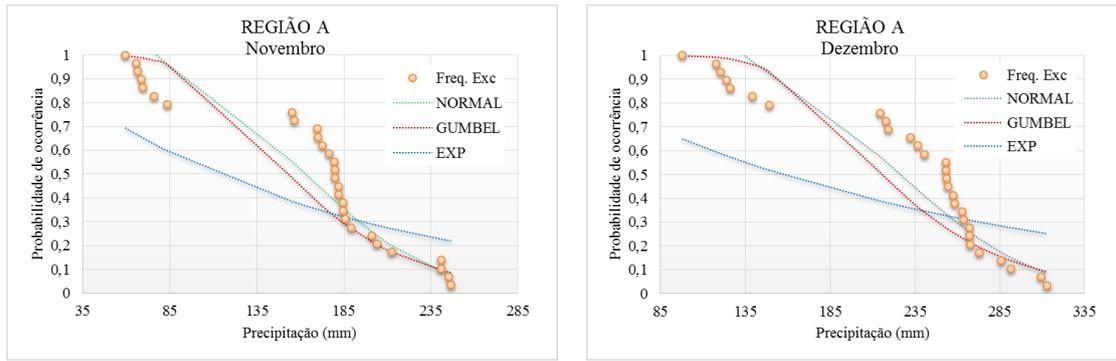
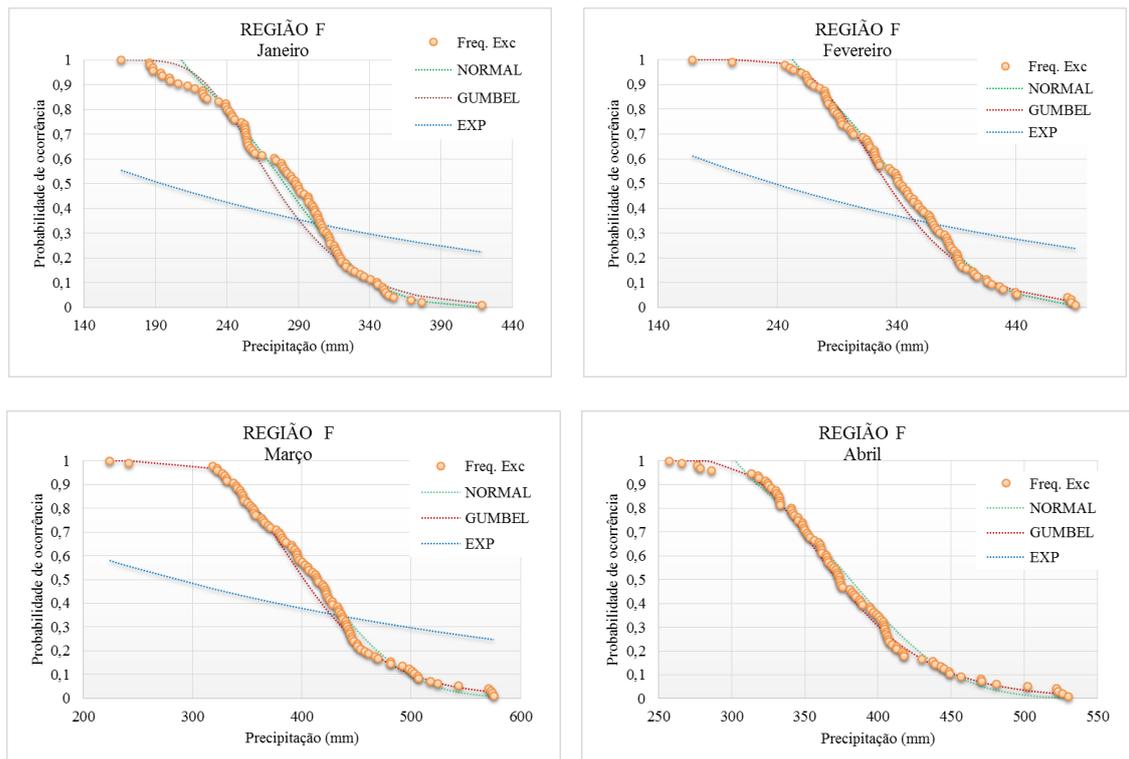


Figura 4.10 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região A: Todos os Anos

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.



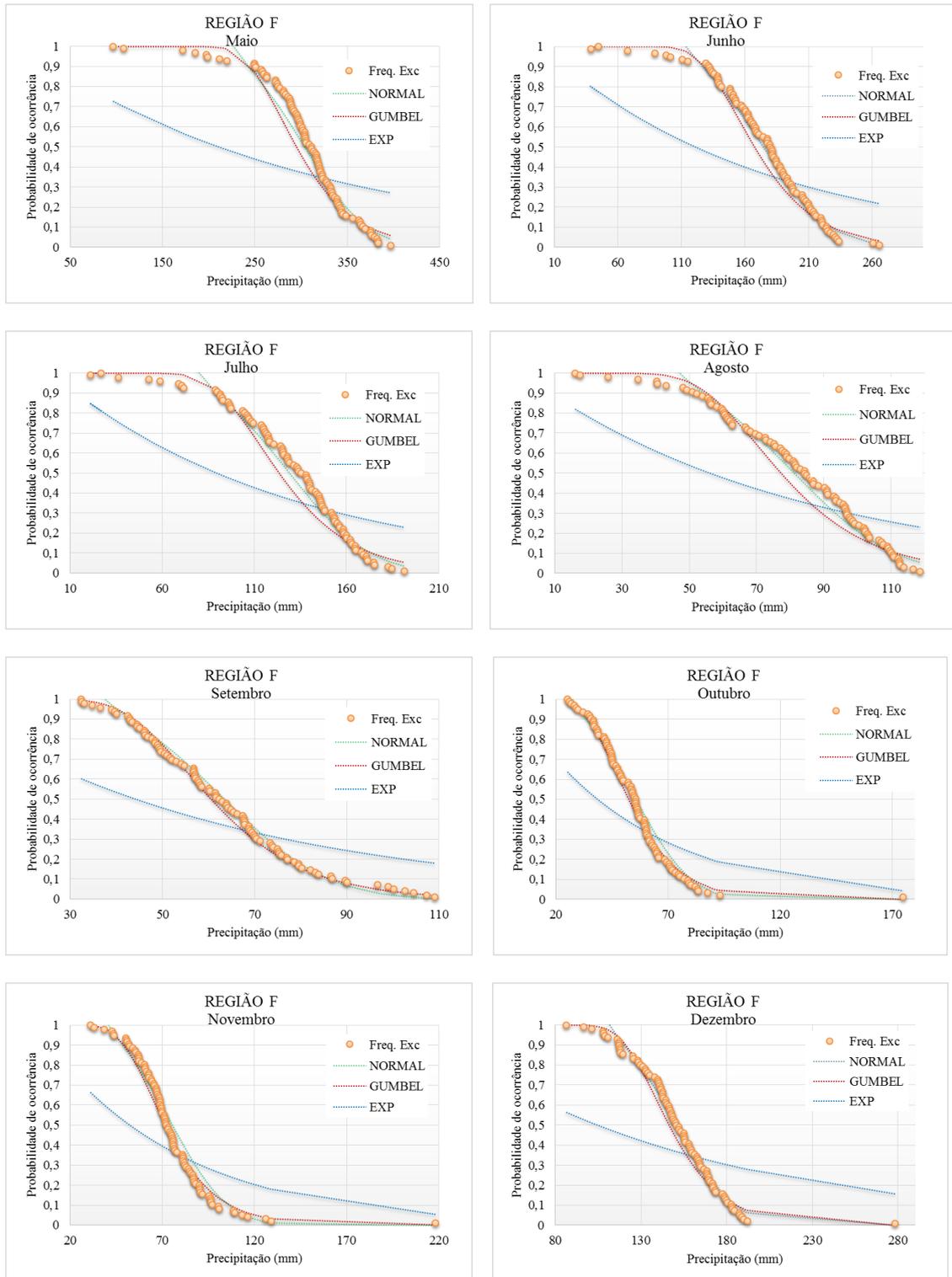


Figura 4.11 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região F: Todos os Anos

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*

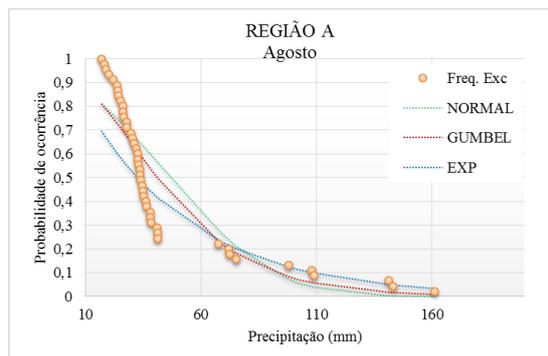
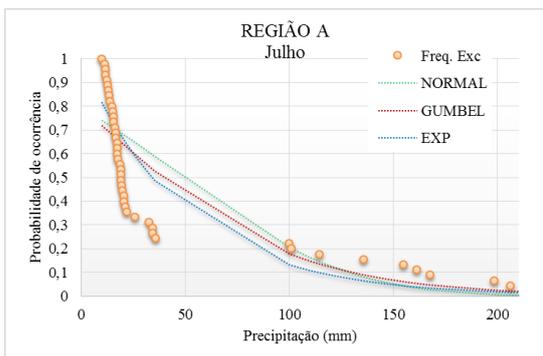
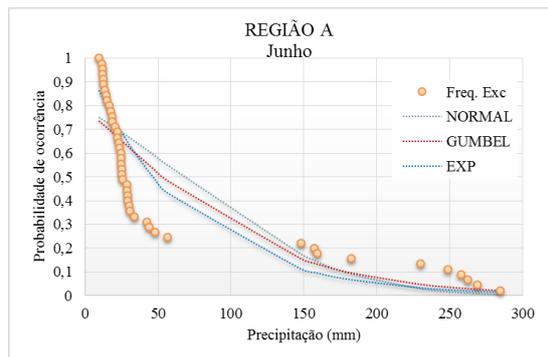
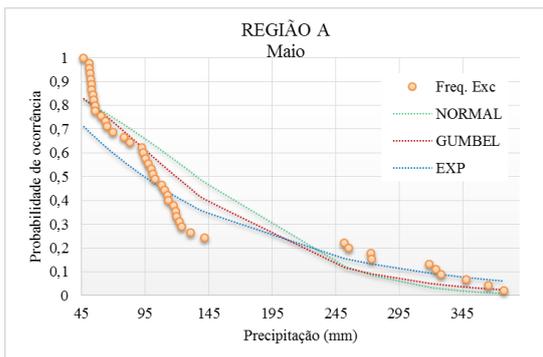
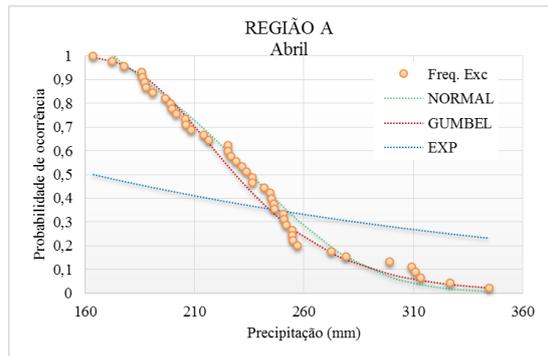
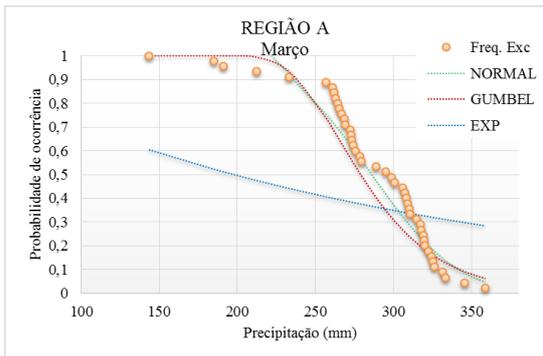
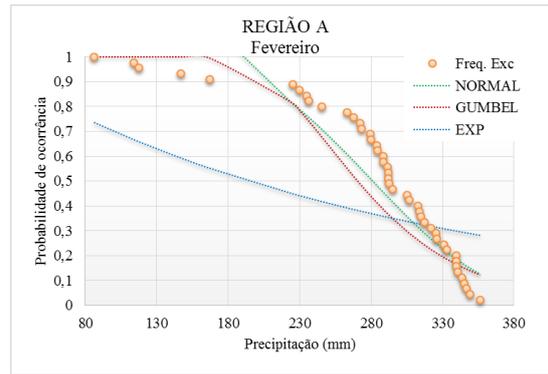
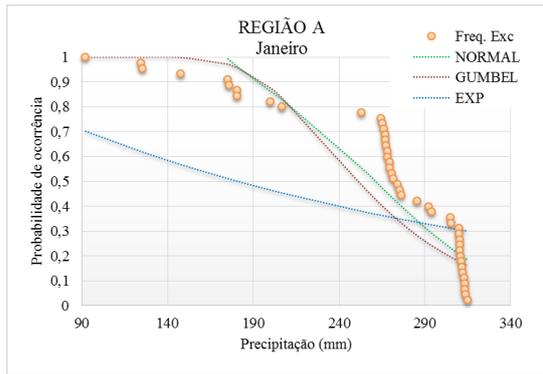
* Não adequado

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.



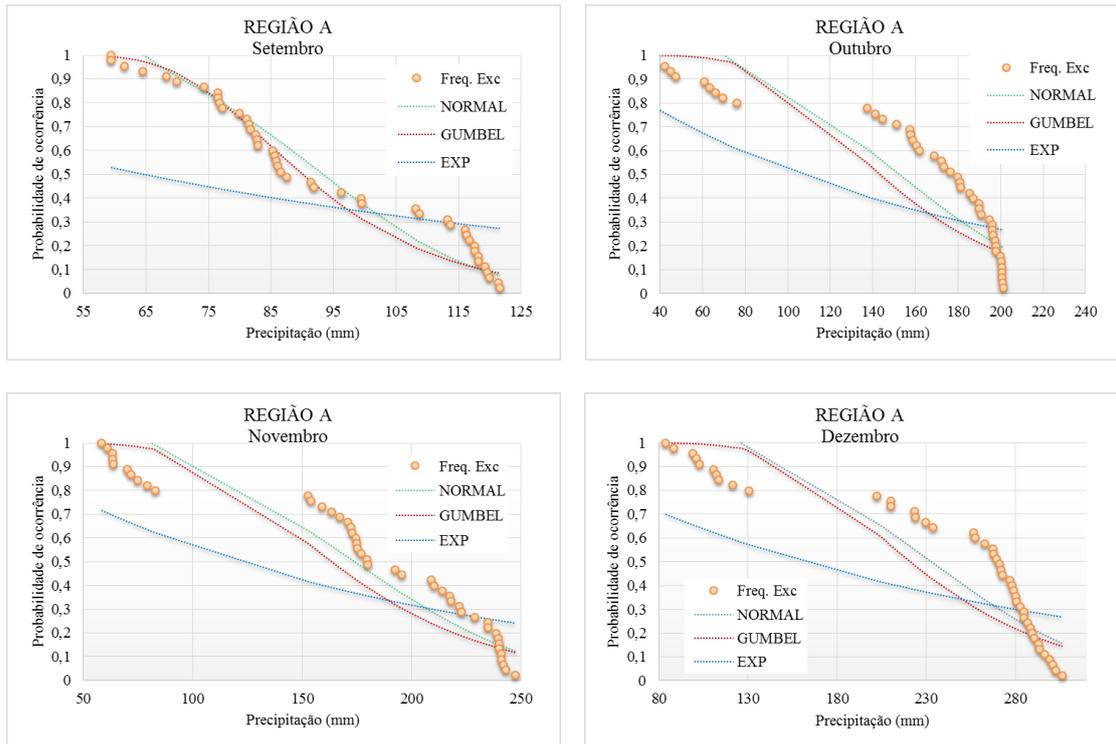
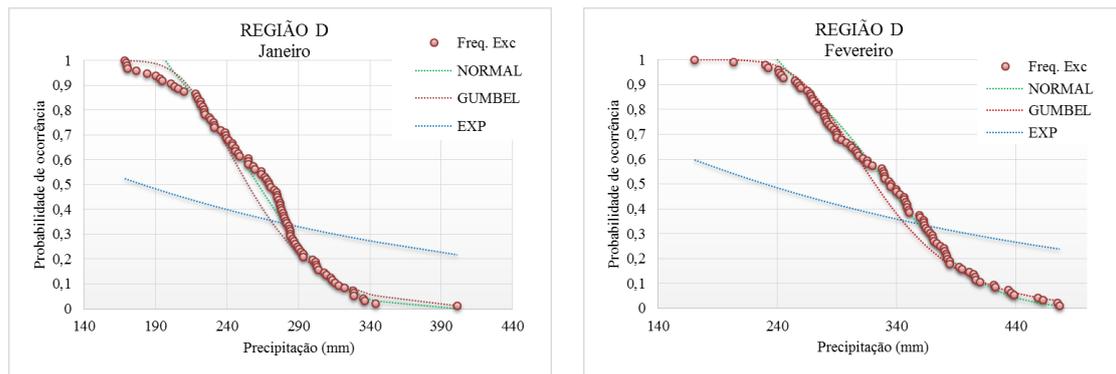
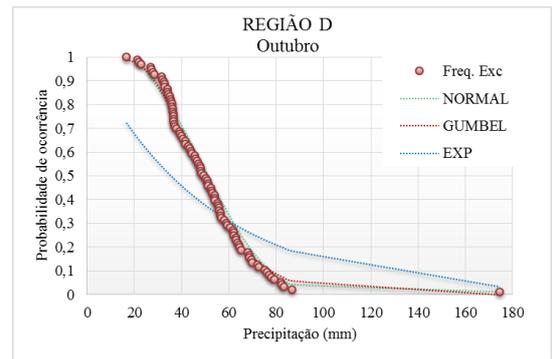
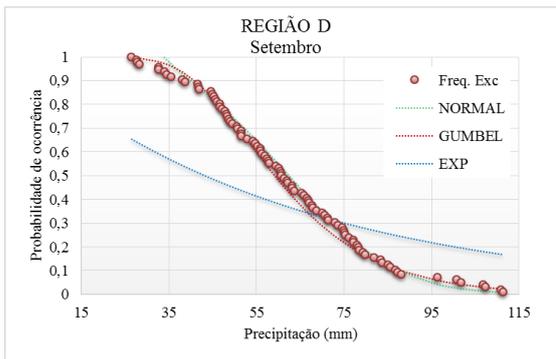
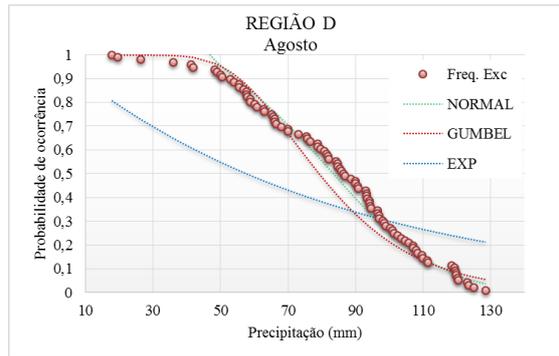
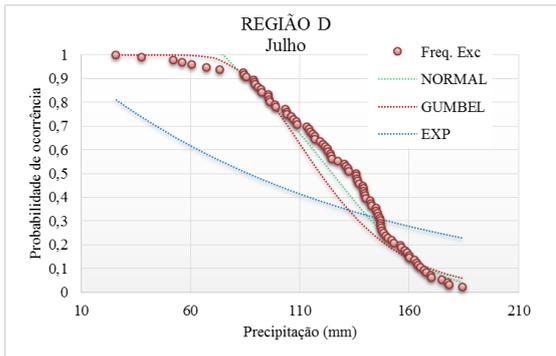
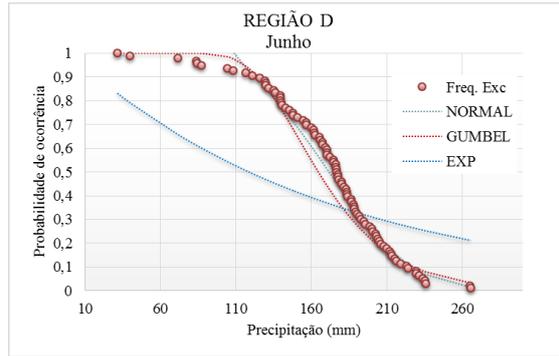
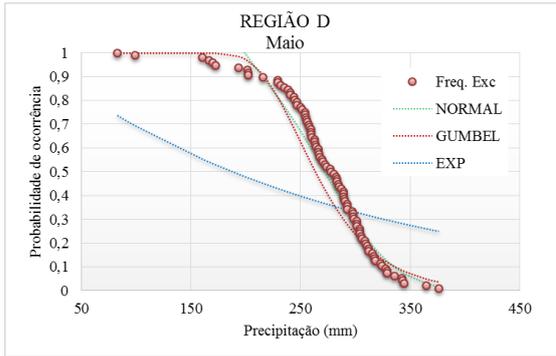
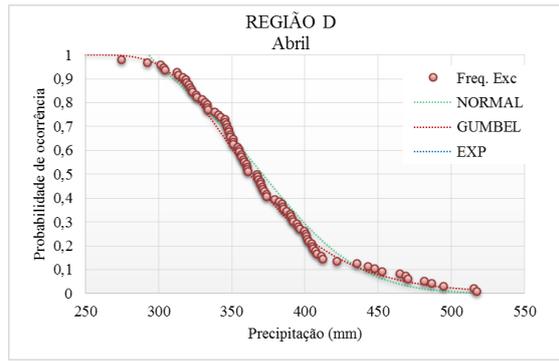
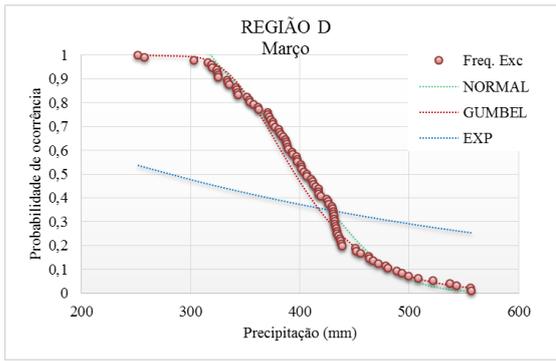


Figura 4.12 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região A: El Niño

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.





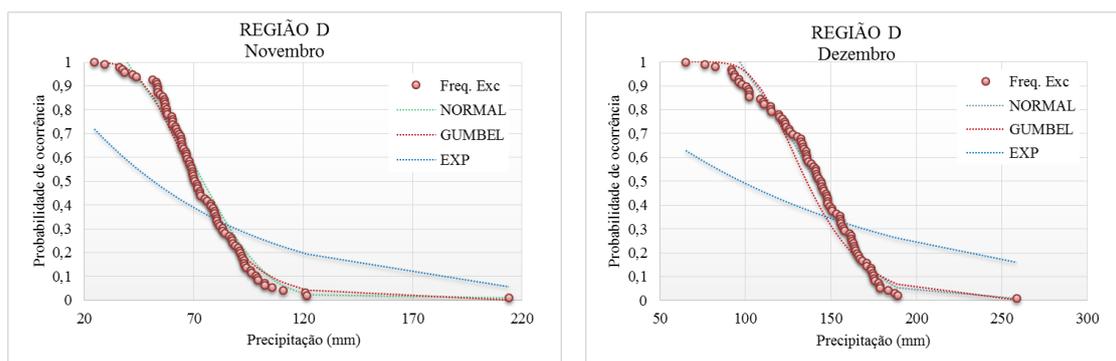


Figura 4.13 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região E: El Niño

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).

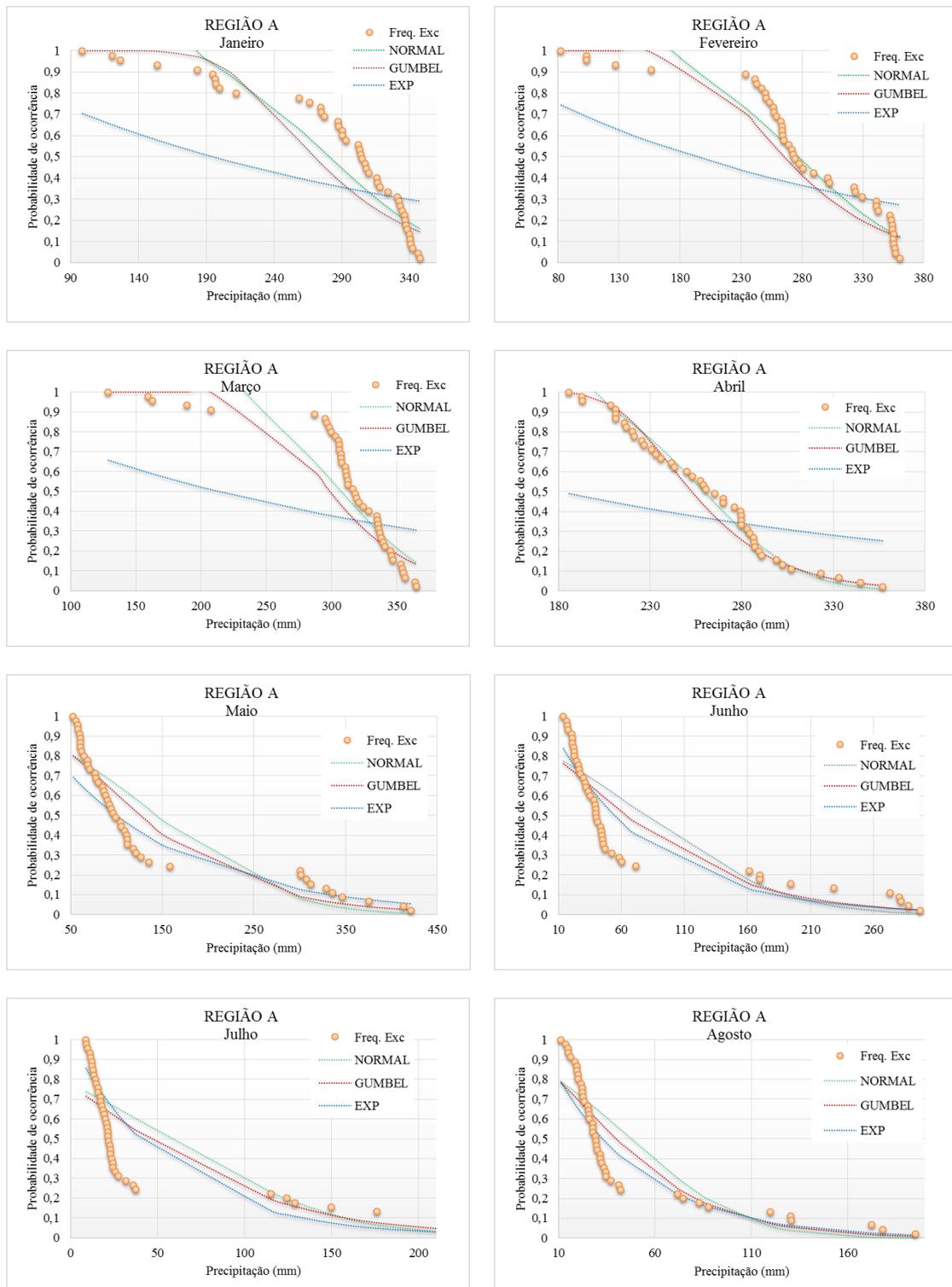
Assim como para séries contendo todos os anos e séries com ocorrência de El Niño, para série com ocorrência de La Niña, a função Gumbel, se aderiu aos dados de todos os meses e regiões homogêneas (A e E), com valores de X^2 calculado menores que 5,99. Já para funções exponencial e normal (X^2 tabelado 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.



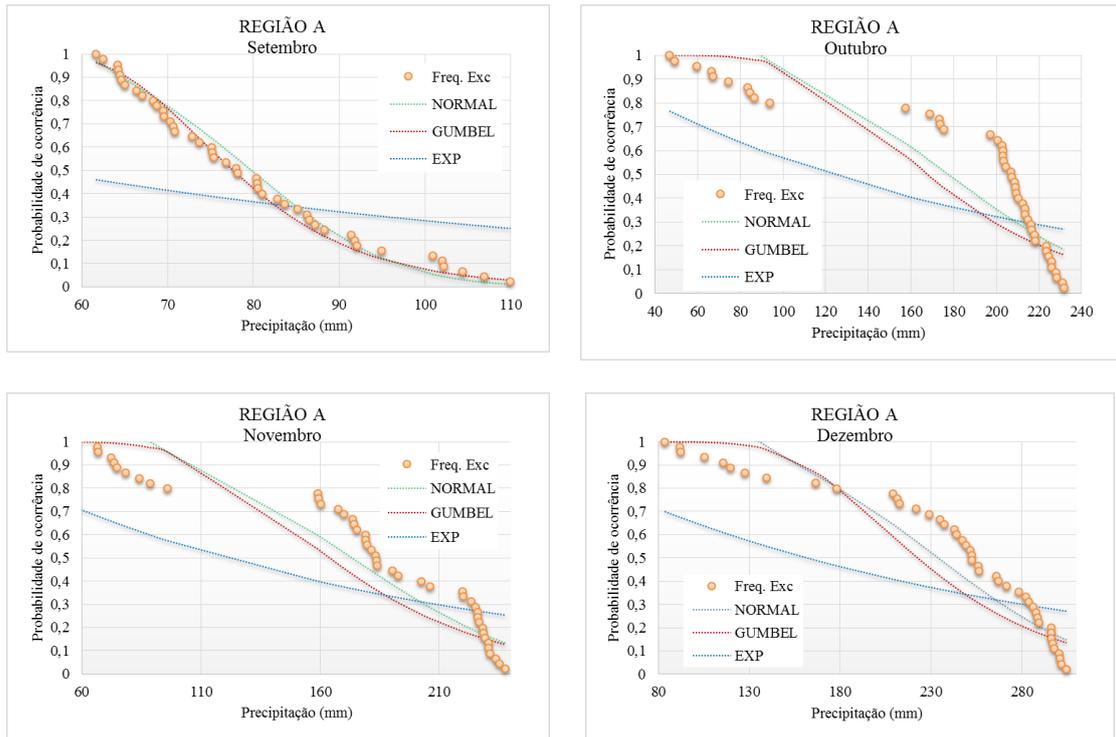
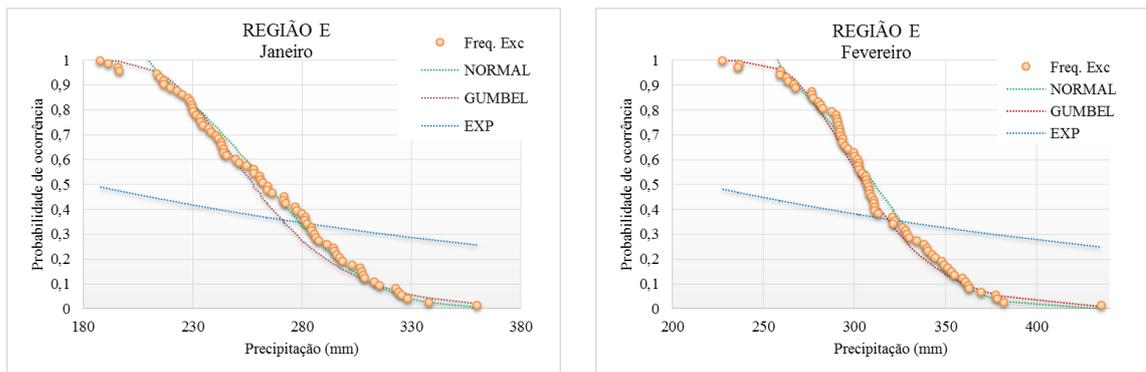
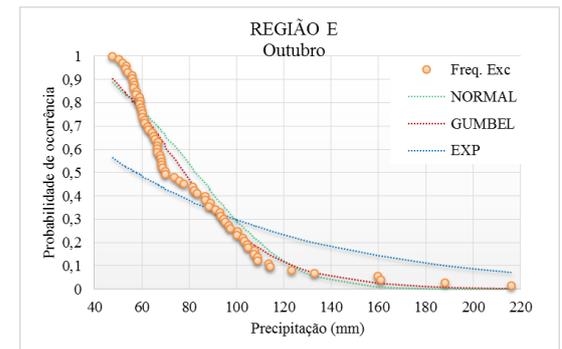
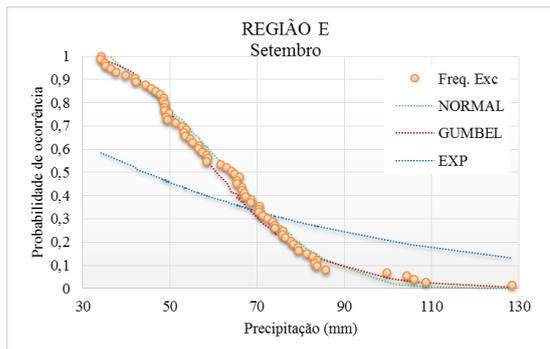
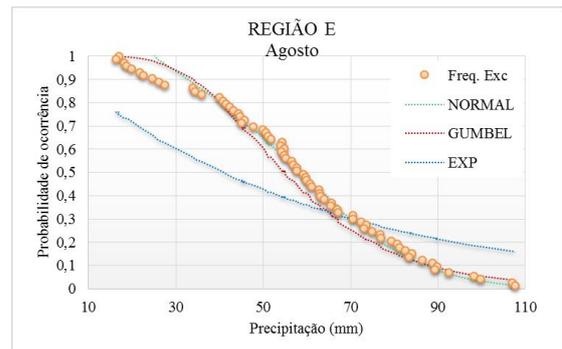
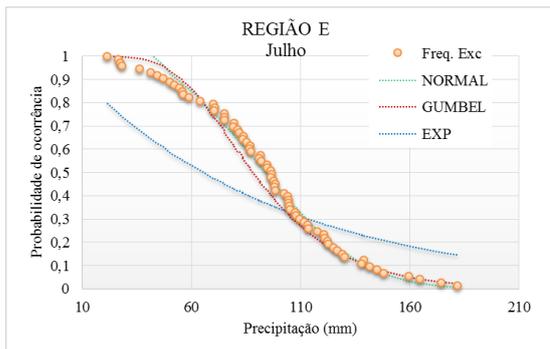
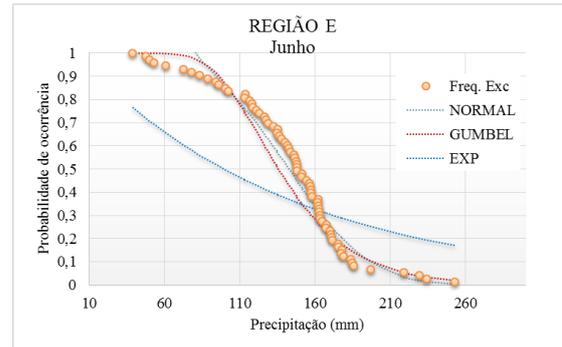
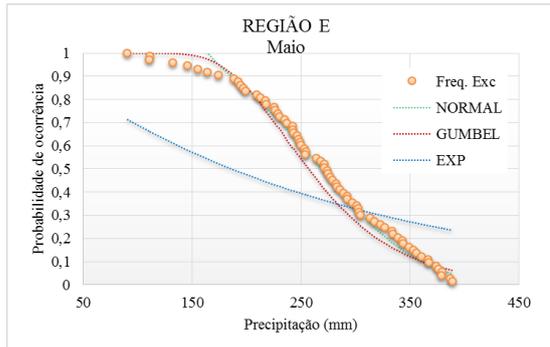
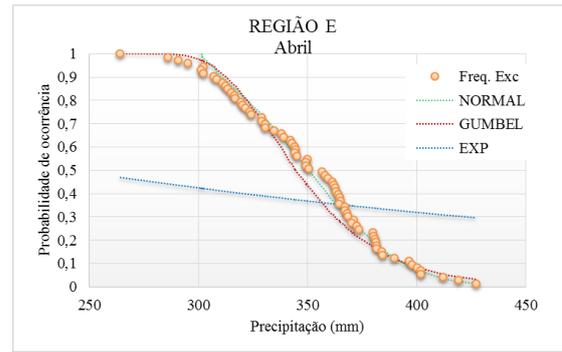
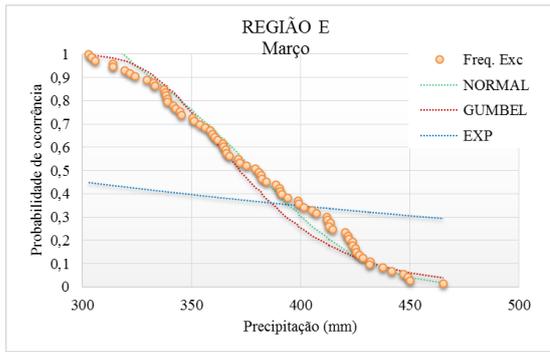


Figura 4.14 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região A: La Niña

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.





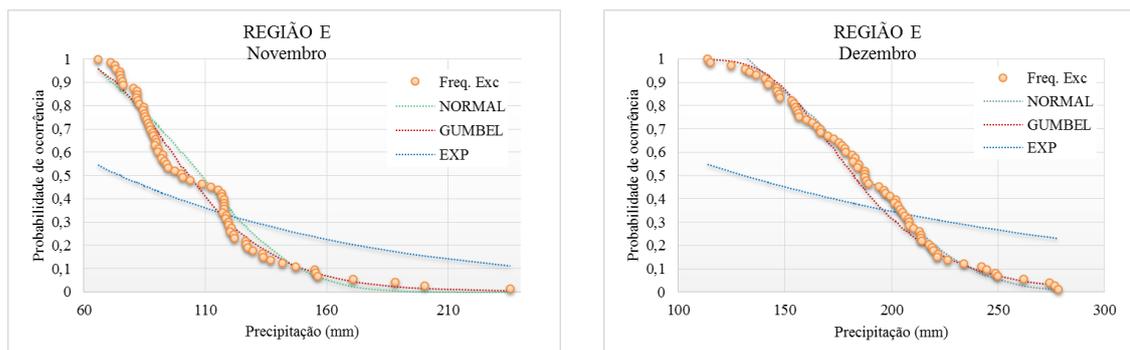


Figura 4.15 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por mês da Região E: La Niña

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.

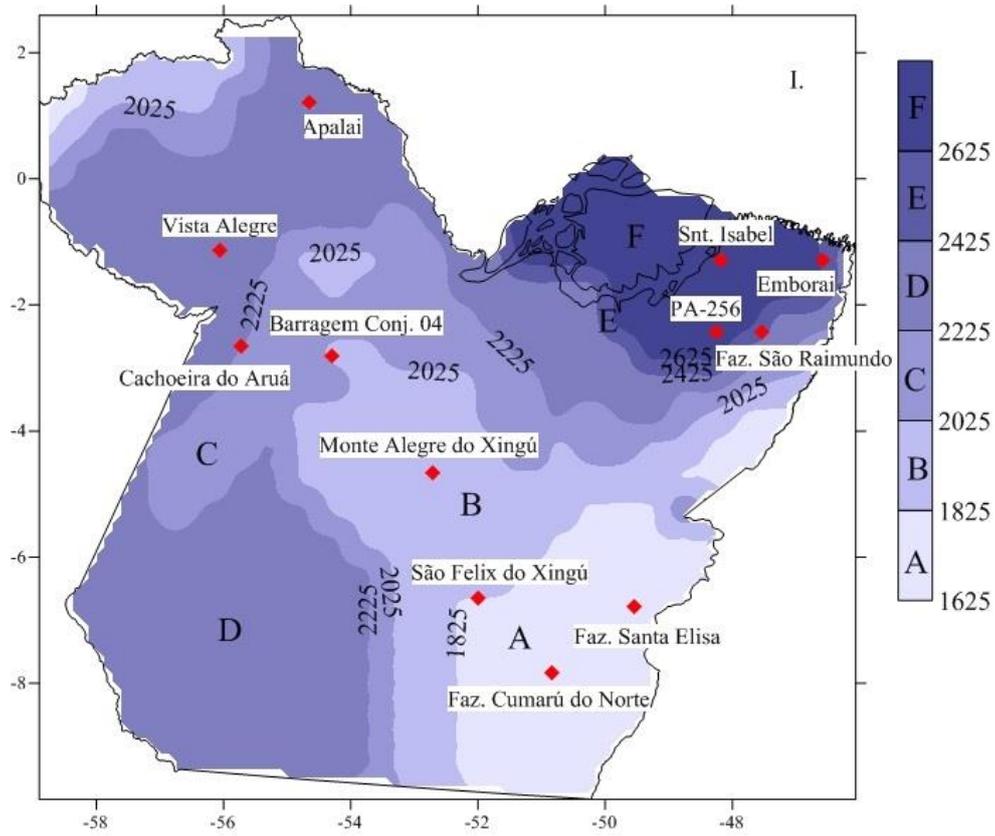
Quadro 4.1 - Estações alvo selecionadas para cada série histórica

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				

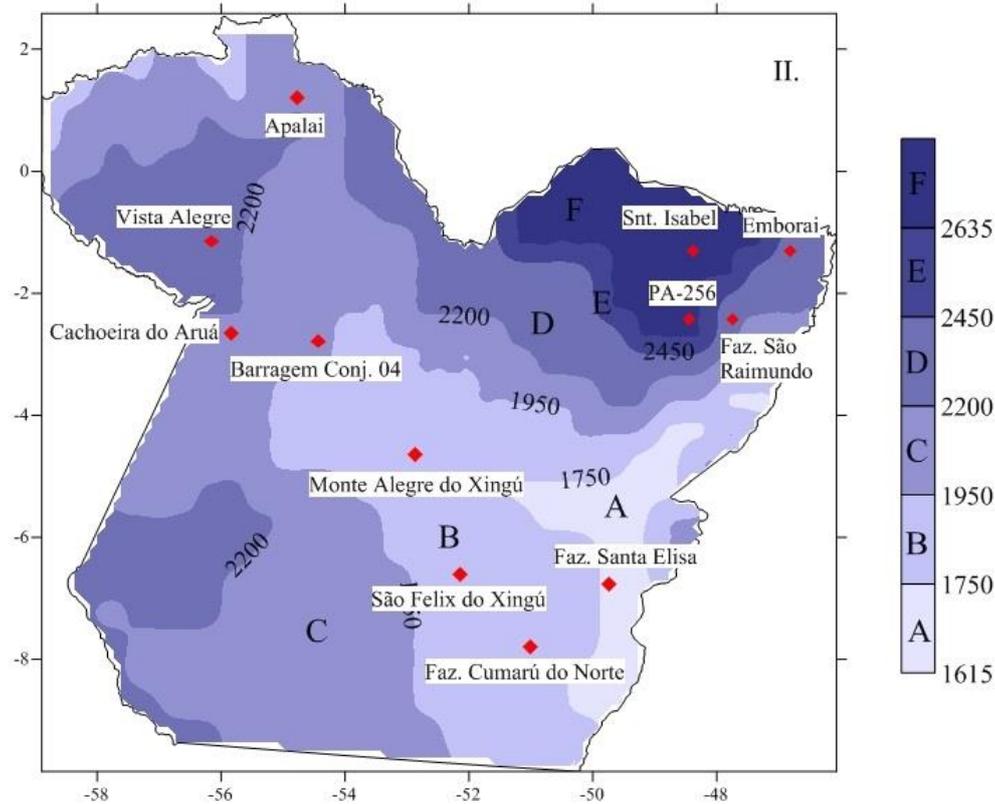
TA: Todos os anos; EN: Anos de El Niño; LN: Anos de La Niña

MA: Média anual; MM: Média mensal.

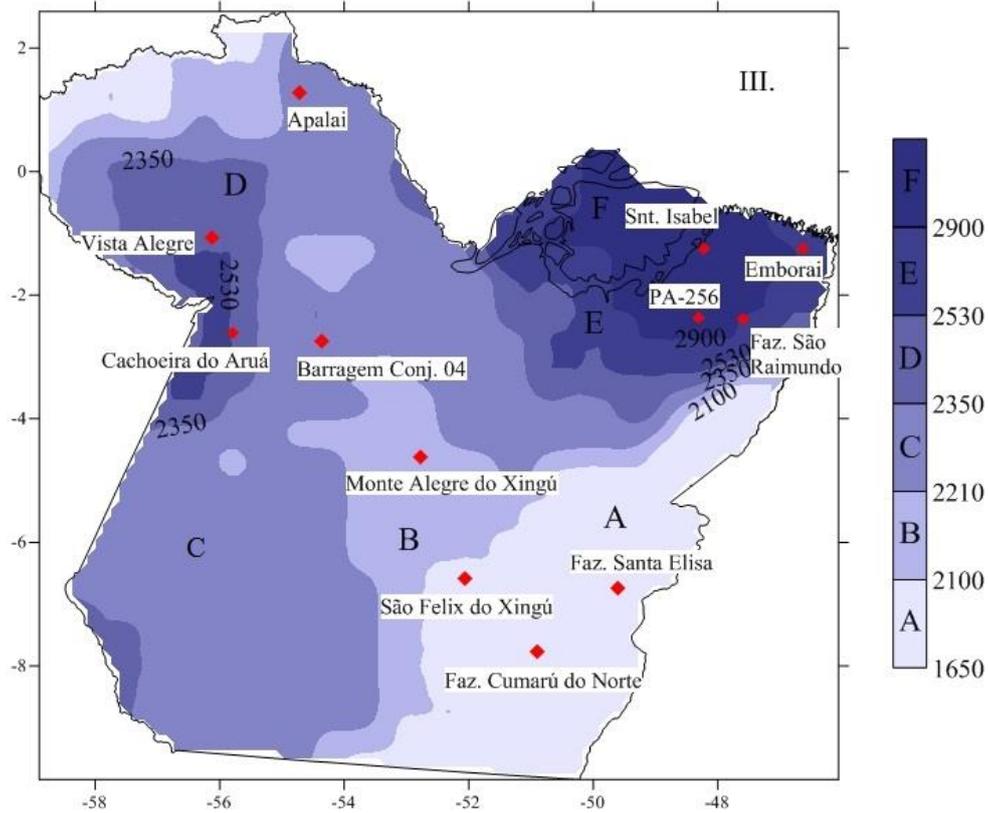
A Figura 4.16 mostra as regiões homogêneas de precipitação média anual no estado do Pará e as estações alvo, para séries históricas contendo todos os anos, anos com ocorrência de El Niño e com ocorrência de La Niña.



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



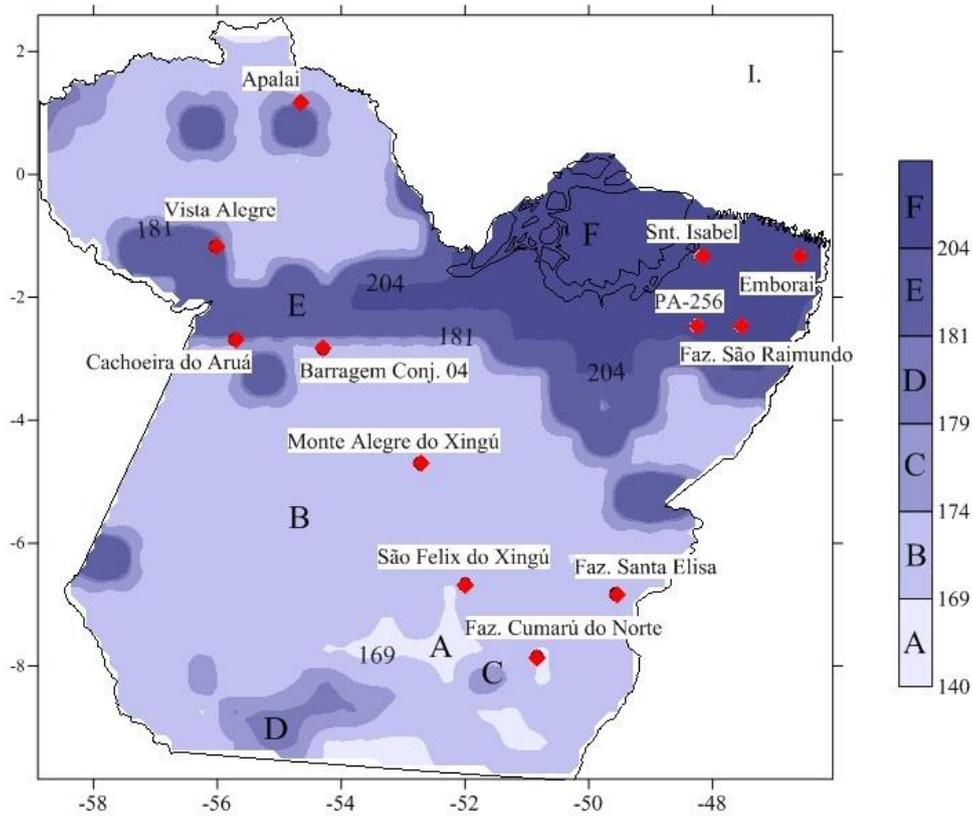
(b) Séries com ocorrência de El Niño



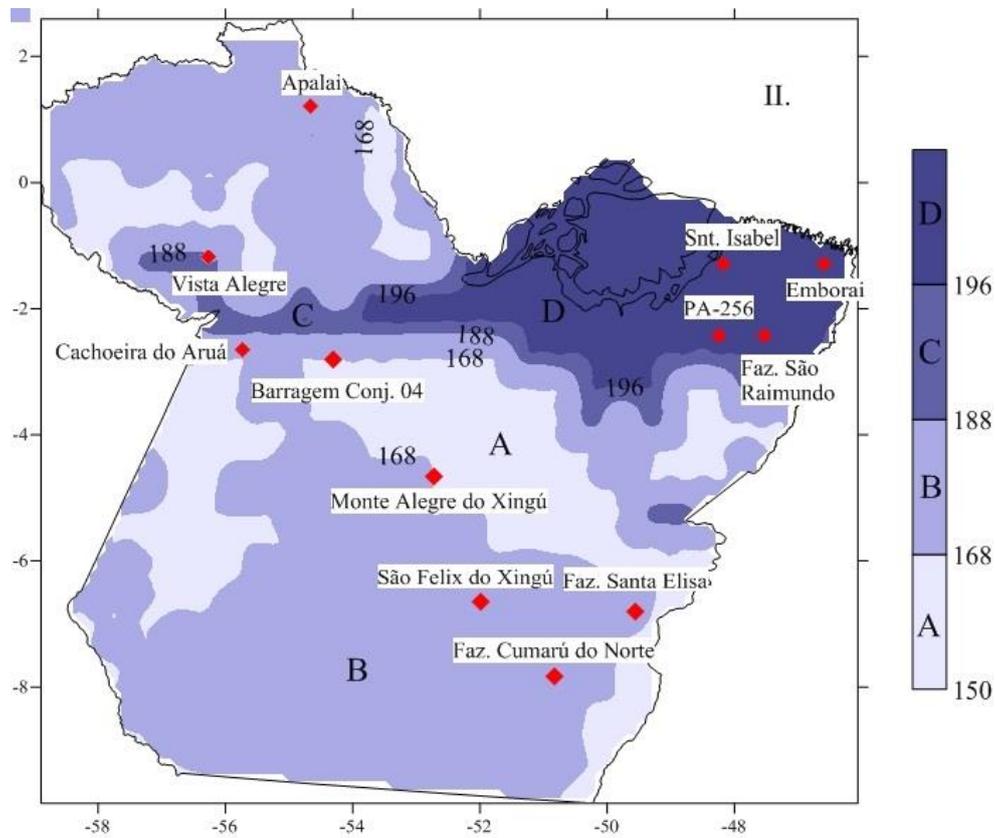
(c) Série com ocorrência de La Niña

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

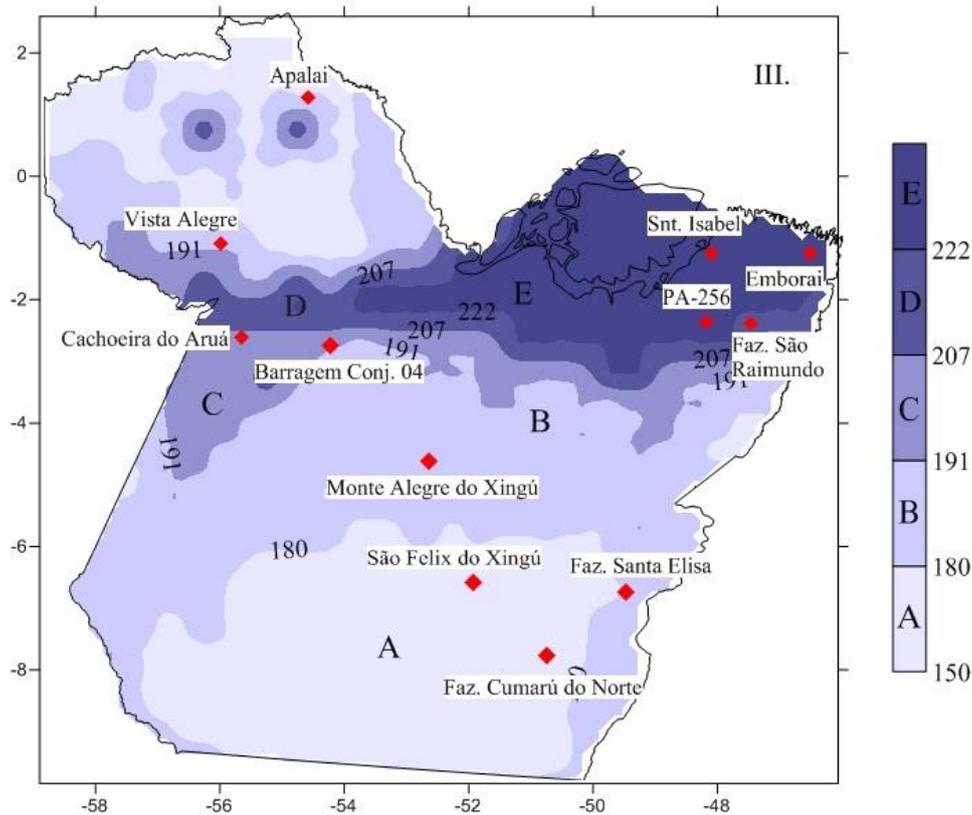
A Figura 4.17 apresenta a localização das estações alvo usadas para validação das funções de probabilidade e da regressão múltipla, para séries históricas contendo todos os anos, com ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, considerando-se regiões pluviometricamente homogêneas, para valores de precipitação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

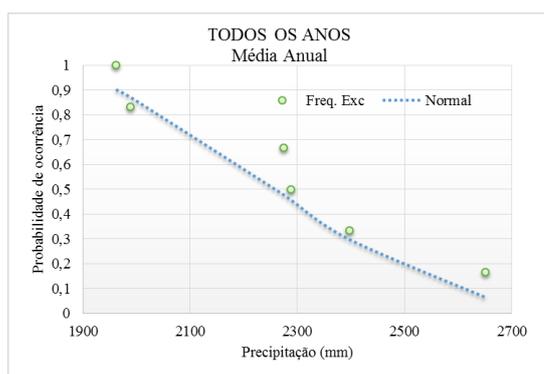
Analisando-se os dados de Precipitação Média Anual, mostrado na Tabela 4.7, observou-se que ocorreu aderência dos dados a todas as estações pluviométricas da ANA, pois apresentaram resultados da aplicação do teste inferior a 3,84 (para funções de distribuição normal).

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

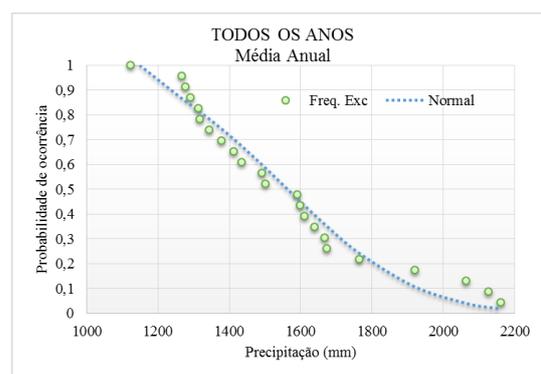
Regiões	Todos os anos		Anos de El Niño		Anos de La Niña	
	Estações	χ^2	Estações	χ^2	Estações	χ^2
A	Faz. Cumarú do Norte	0,25	Faz. Santa Elisa	0,25	Faz. Cumarú do Norte	0,24
	Faz. Santa Elisa	0,51			Faz. Santa Elisa	0,002
	São Felix do Xingú	0,75			São Felix do Xingú	0,27
B	Barragem conj.04	0,15	São Felix 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

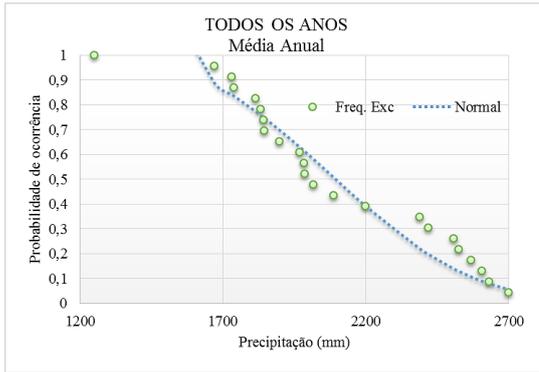
A Figura 4.18 apresenta a distribuição de probabilidade normal para as estações alvos correspondentes as regiões homogêneas de precipitação média anual para série histórica completa.



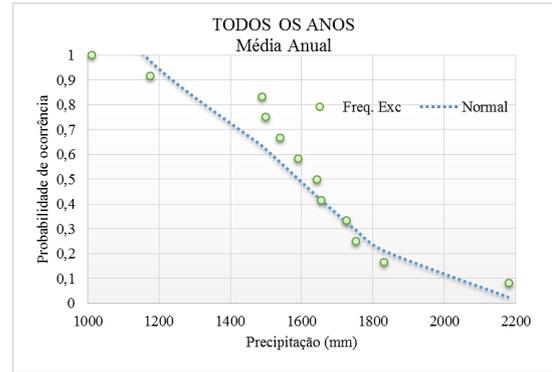
Região A: Faz. Cumarú do Norte



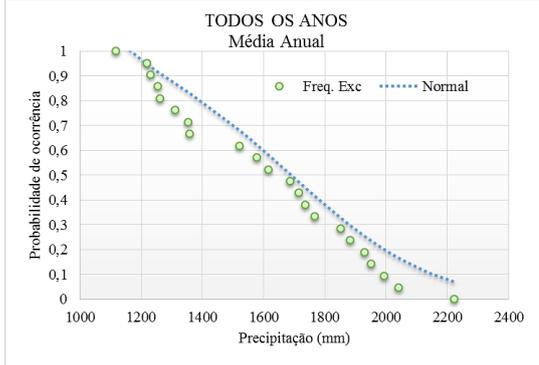
Região A: Faz. Santa Elisa



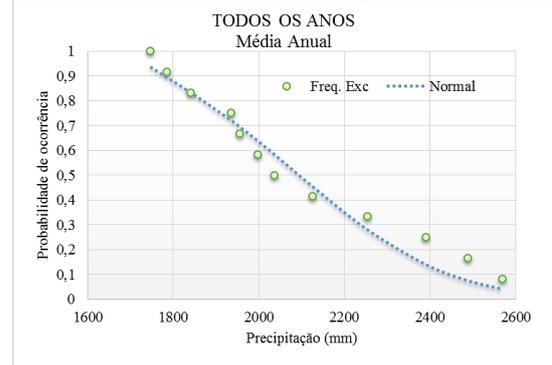
Região A: São Felix do Xingú



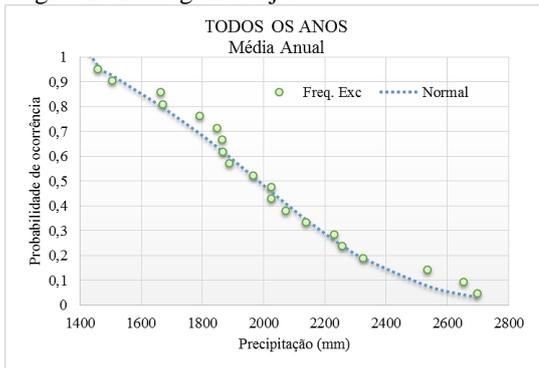
Região B: Monte Alegre do Xingú



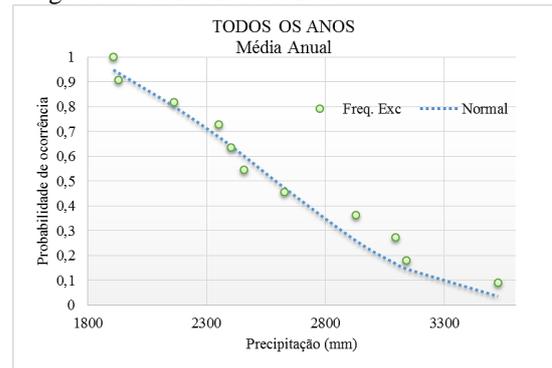
Região B: Barragem conj.4



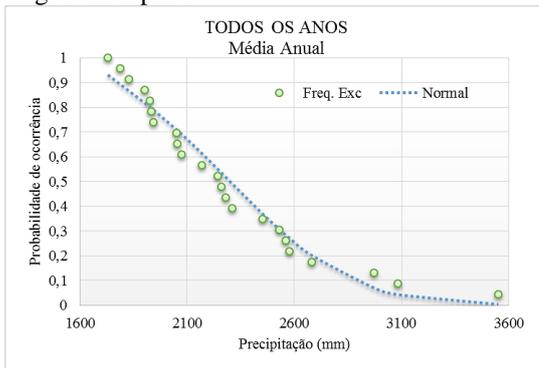
Região C: Cachoeira do Aruá



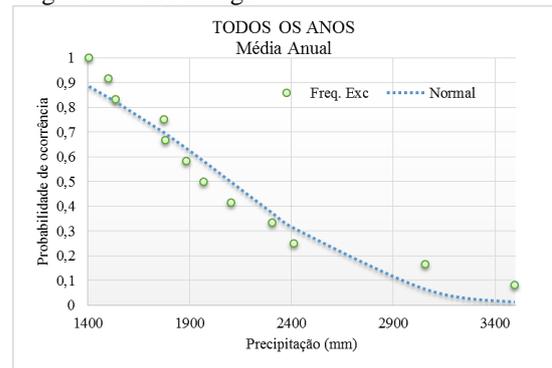
Região D: Apalai



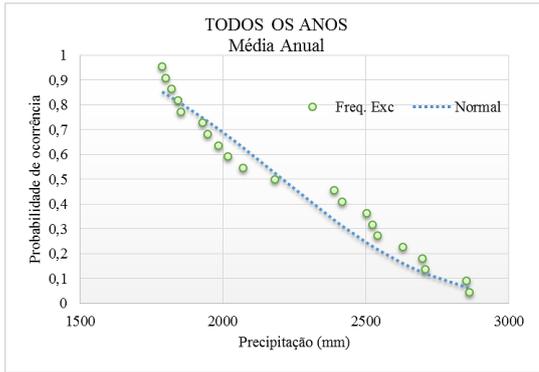
Região D: Vista Alegre



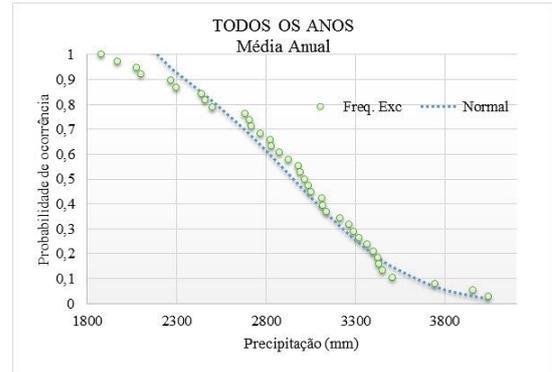
Região E: Emborai



Região E: Faz. São Raimundo



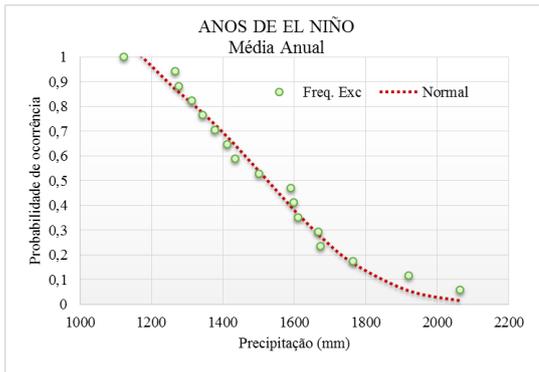
Região F: PA-256



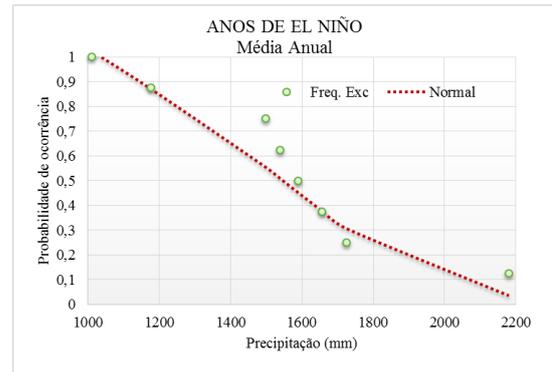
Região F: Santa Isabel

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

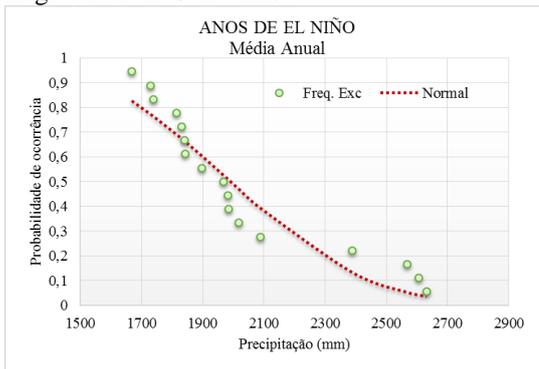
Estão apresentadas na Figura 4.19, as distribuições de probabilidade normal para as estações alvo correspondentes as regiões homogêneas de precipitação média anual para série histórica com anos de ocorrência do fenômeno El Niño.



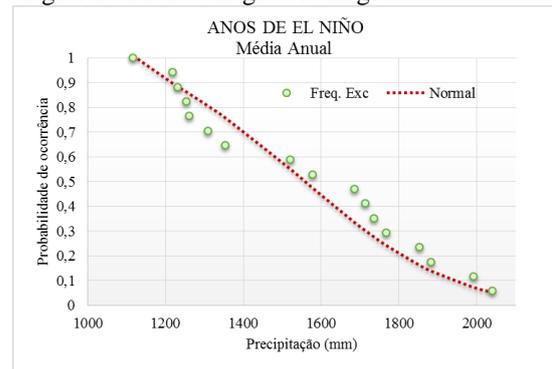
Região A: Faz. Santa Elisa



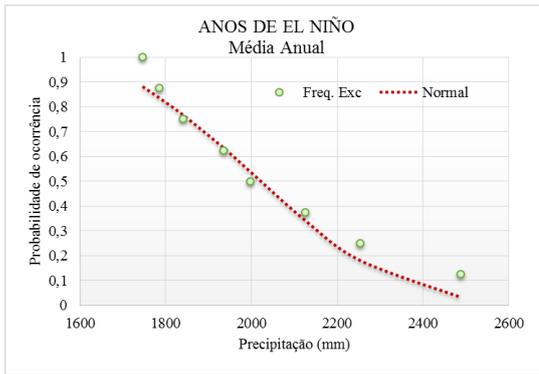
Região B: Monte Alegre do Xingú



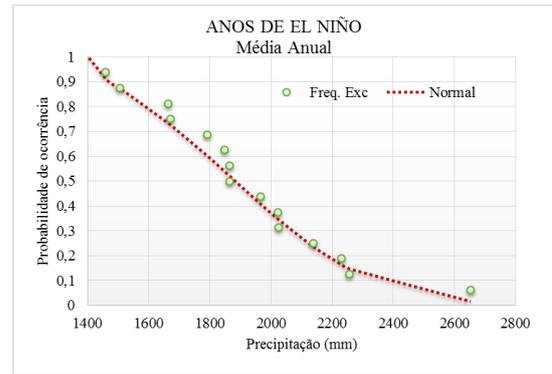
Região B: São Felix do Xingú



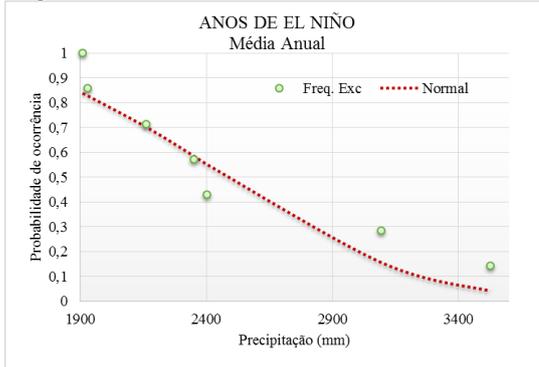
Região C: Barragem conj.4



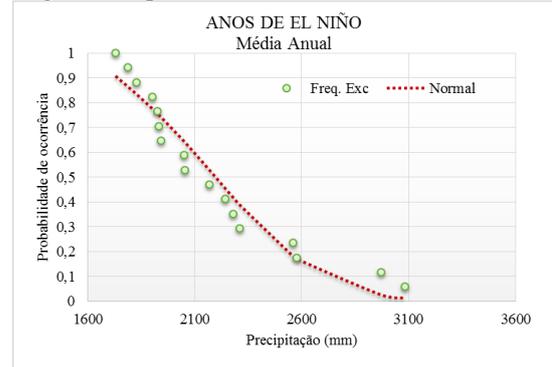
Região C: Cachoeira do Aruá



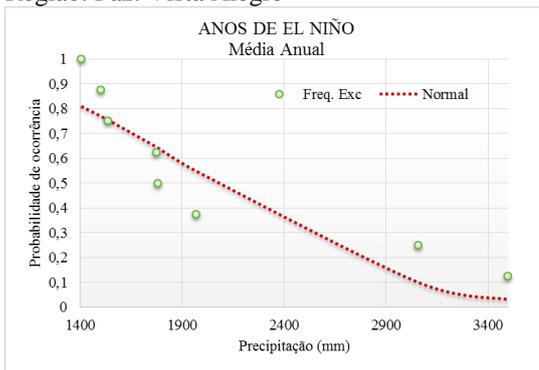
Região C: Apalai



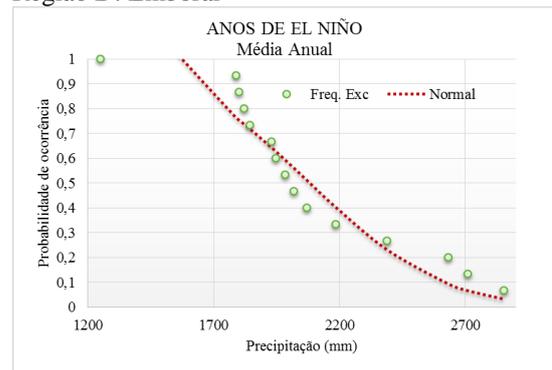
Região: Faz. Vista Alegre



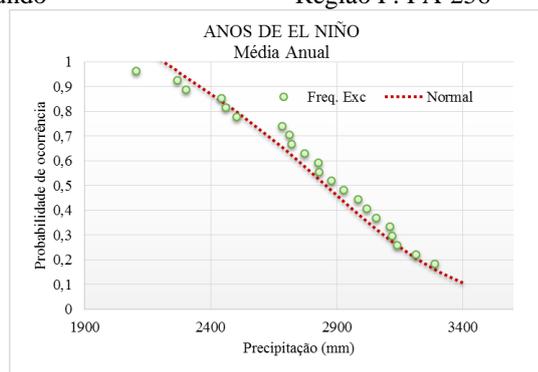
Região D: Emborai



Região E: Faz. São Raimundo



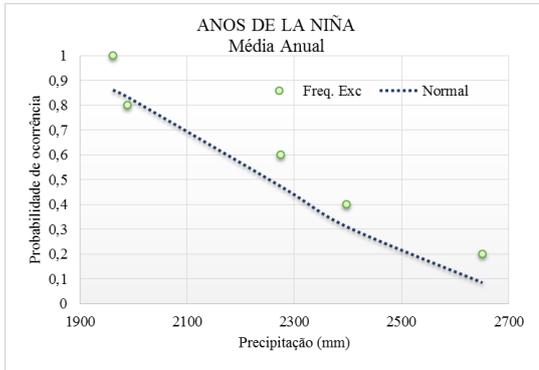
Região F: PA-256



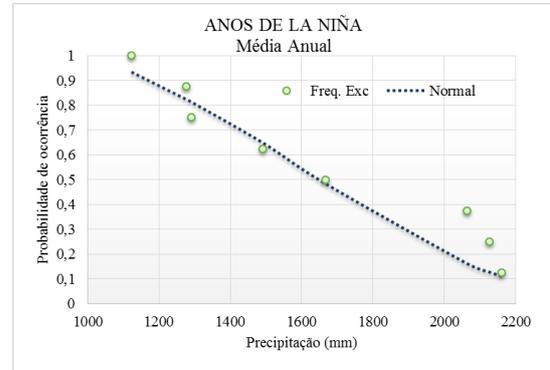
Região F: Santa Isabel

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

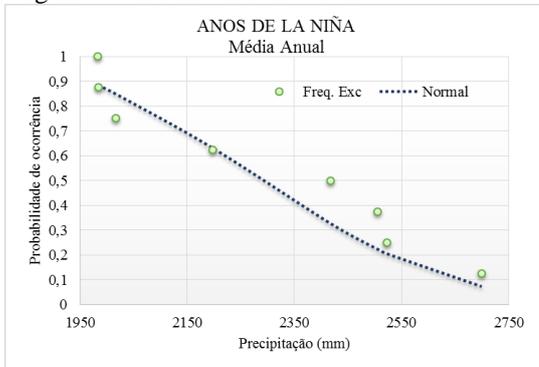
A Figura 4.20 apresenta as distribuições de probabilidade normal para as estações alvos correspondentes as regiões homogêneas de precipitação média anual para série histórica com anos de ocorrência do fenômeno La Niña.



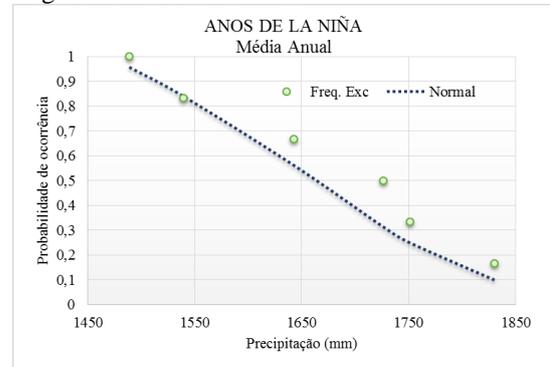
Região A: Faz. Cumarú do Norte



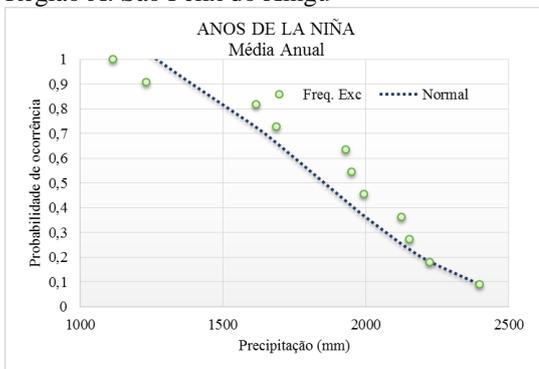
Região A: Faz. Santa Elisa



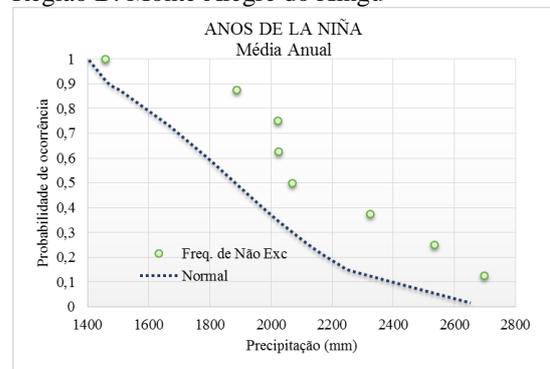
Região A: São Felix do Xingú



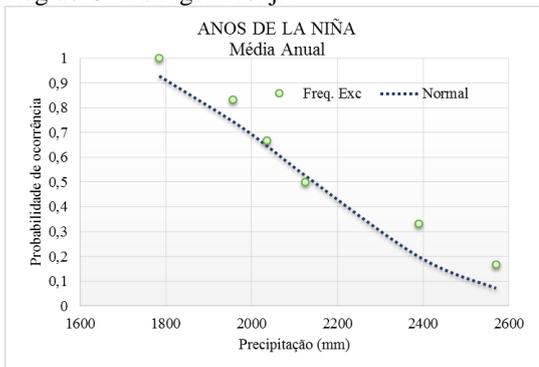
Região B: Monte Alegre do Xingú



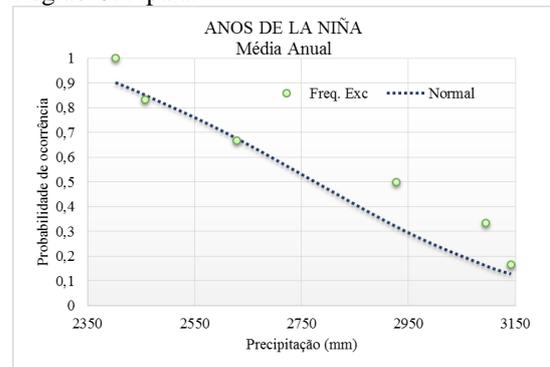
Região C: Barragem conj.4



Região C: Apalai



Região D: Cachoeira do Aruá



Região D: Vista Alegre

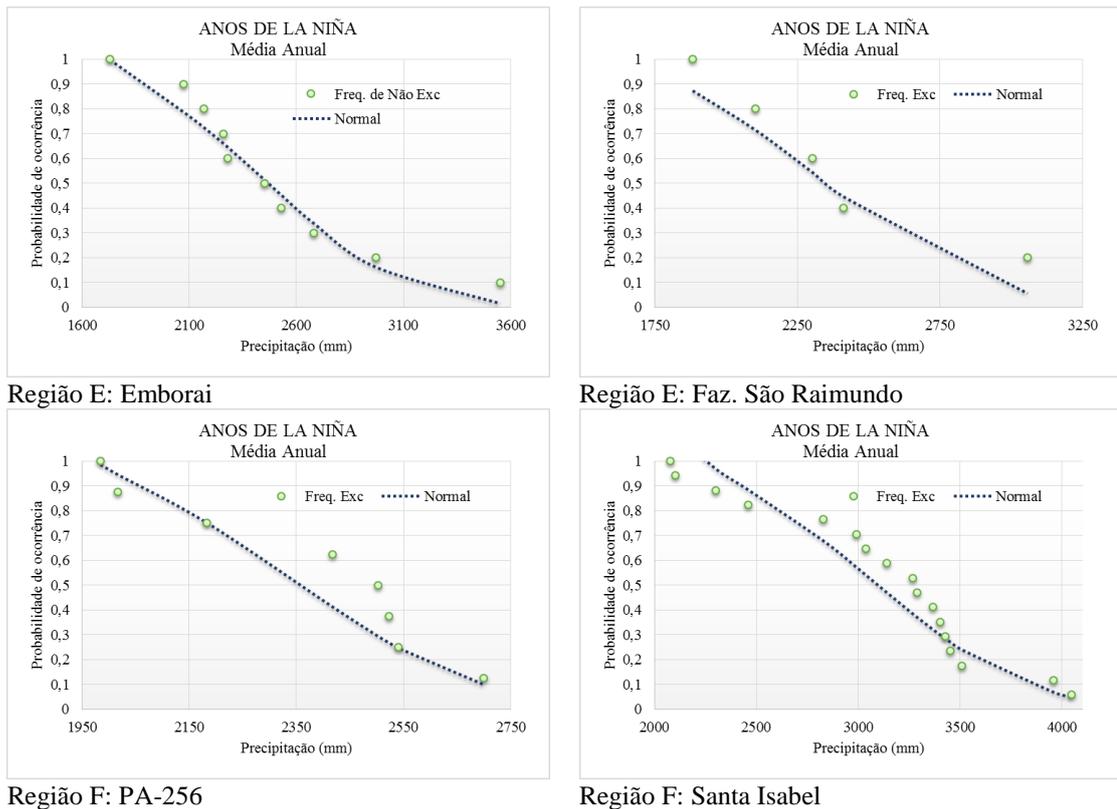


Figura 4.20 - Frequências de excedência observadas e funções de distribuição de probabilidade por Estação Pluviométrica Alvo (ANA): Anos de La Niña

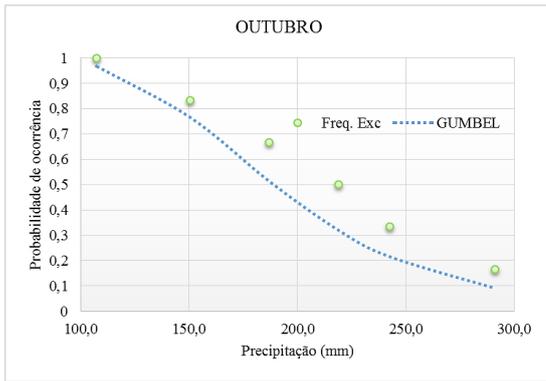
Para valores de precipitação média mensal, foi feita a simulação dos modelos de distribuição de probabilidade correspondente ao melhor modelo encontrado na etapa de calibração (Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7), neste caso a função de distribuição Gumbel. A Tabela 4.8 apresenta os valores da aplicação do teste 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).

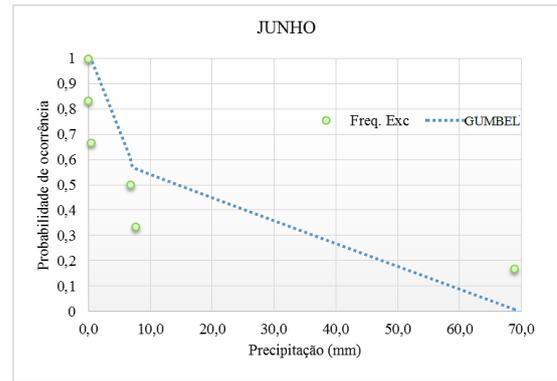
**Tabela 4.8 – Teste Qui-quadrado das frequências de excedência para as estações alvos:
Precipitação Média Mensal**

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

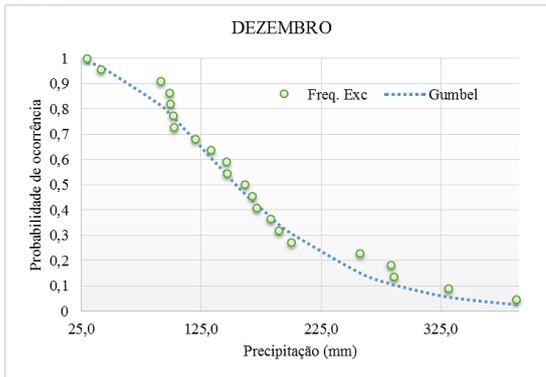
A Figura 4.21 apresenta os ajustes das funções de distribuição para as regiões A e F, para série histórica completa. Para a Região A, a maior aderência foi observada no mês de outubro, e a menor no mês de junho, ambas na estação Fazenda Cumarú do Norte. Já para a Região F, a estação que apresentou melhor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



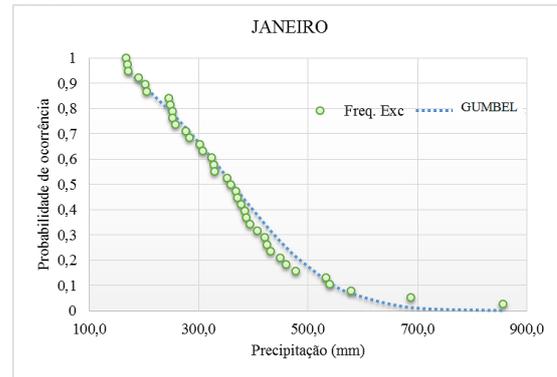
(a) Região A: Maior aderência– Faz. Cumarú do Norte



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



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



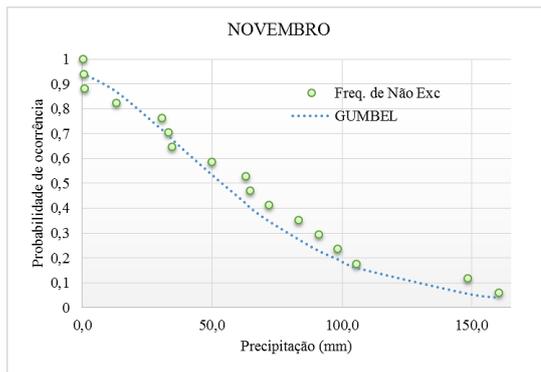
(d) Região F: Menor aderência – Santa Isabel

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

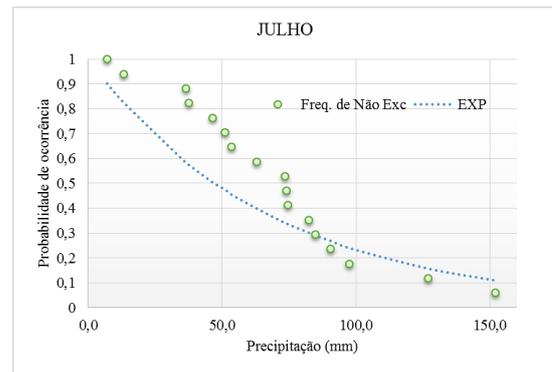
A Figura 4.22 apresenta os ajustes das funções de distribuição para as regiões A e E, para série histórica com ocorrência do fenômeno El Niño. Para a Região A, tanto a menor aderência às frequências de excedência quanto a maior aderência foram encontrados para estação Barragem conj.4. Assim, observou-se 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).

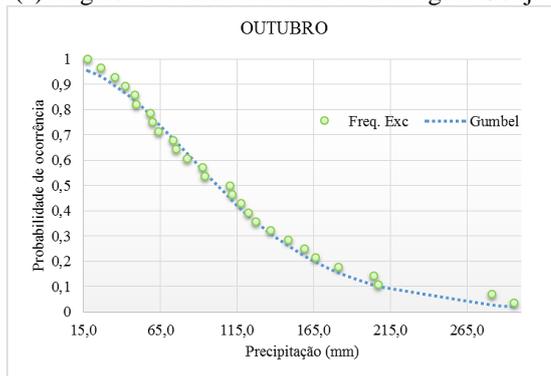
Pode-se observar no APÊNDICE III o restante dos gráficos das simulações.



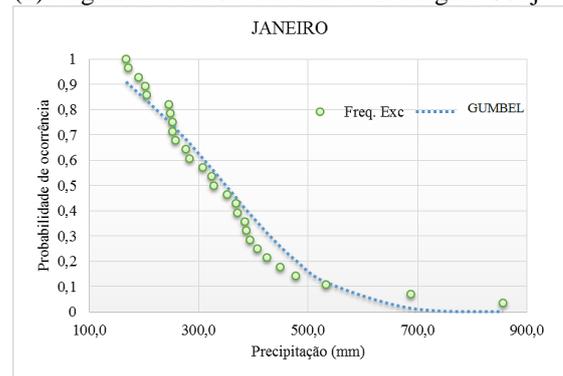
(a) Região A: Maior aderência – Barragem Conj.4



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



(c) Região D: Maior aderência – Santa Isabel



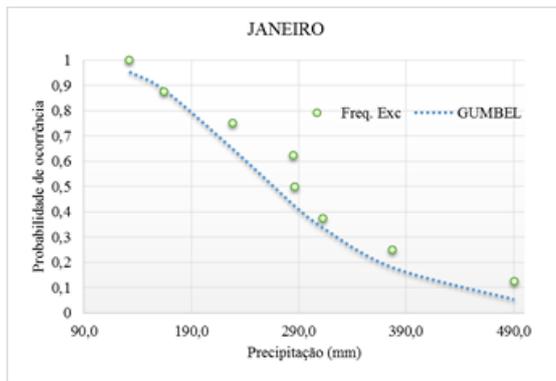
(d) Região D: Menor aderência – Santa Isabel

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

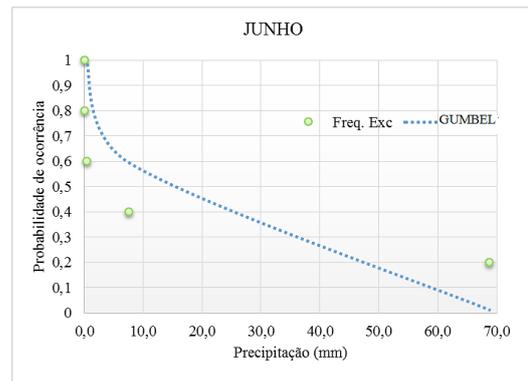
Para série histórica com ocorrência do fenômeno La Niña, estão apresentadas na Figura 4.23 os ajustes das funções de distribuição para as regiões A e E, regiões com menores e maiores índices pluviométricos, respectivamente.

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.

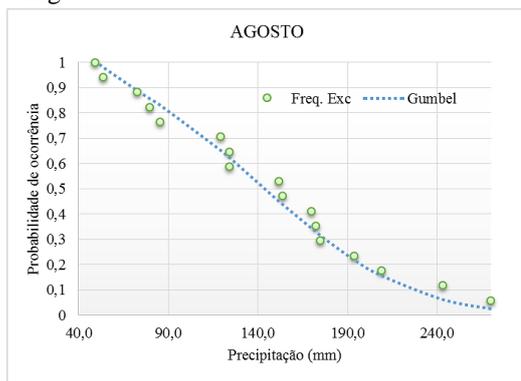
Os outros gráficos das simulações dos modelos probabilísticos podem ser observados no APÊNDICE III.



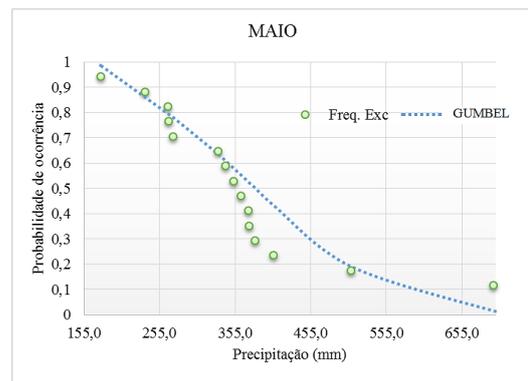
(a) Região A: Maior aderência – São Felix do Xingú



(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	2º Potência	Linear	Potência	2º 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

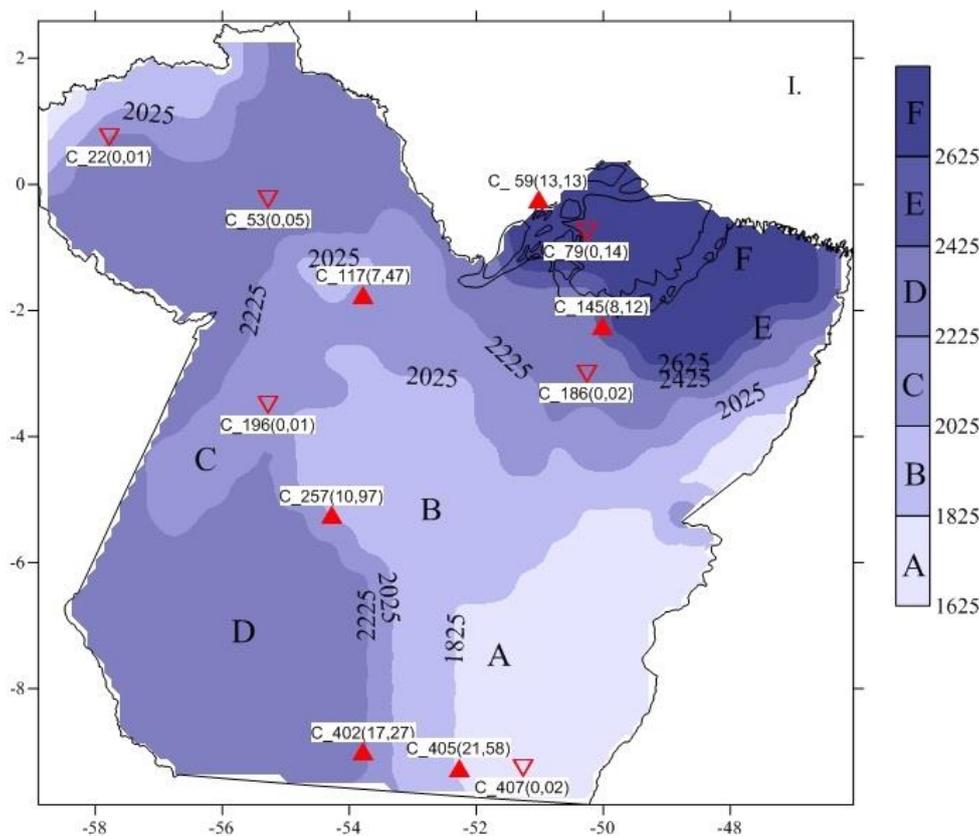


Figura 4.24 – Maiores e menores erros para valores de Precipitação Média Anual: Todos os anos

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.

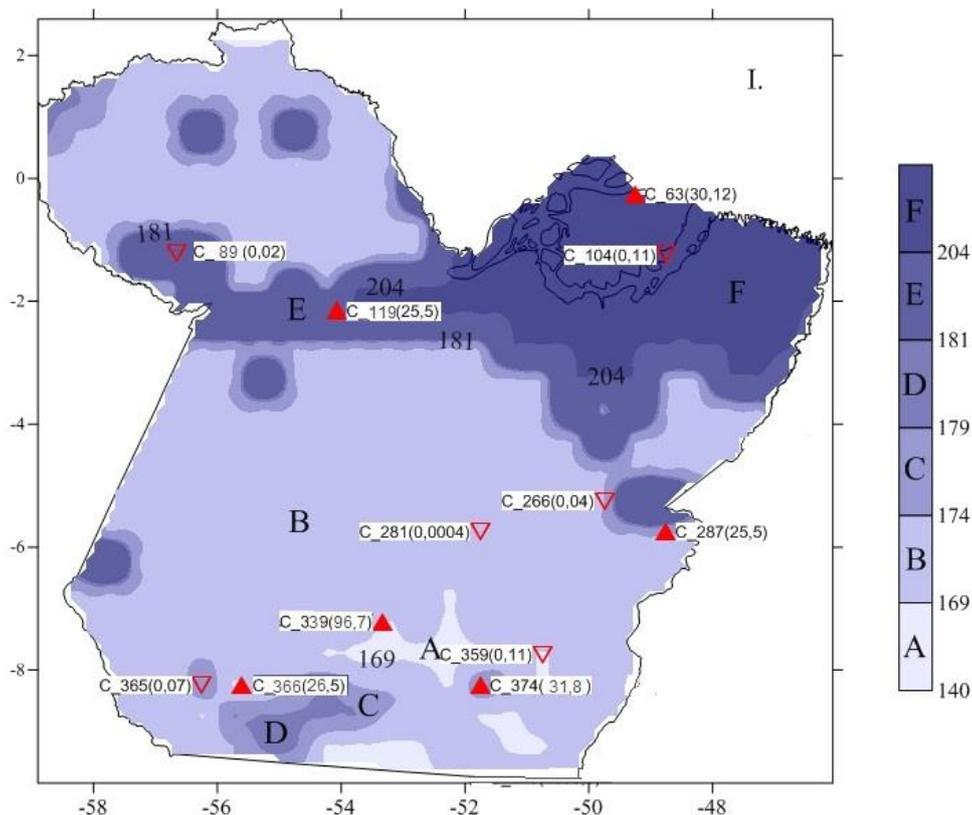


Figura 4.25 - Maiores e menores erros para valores de Precipitação Média Mensal: Todos os anos

- 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.

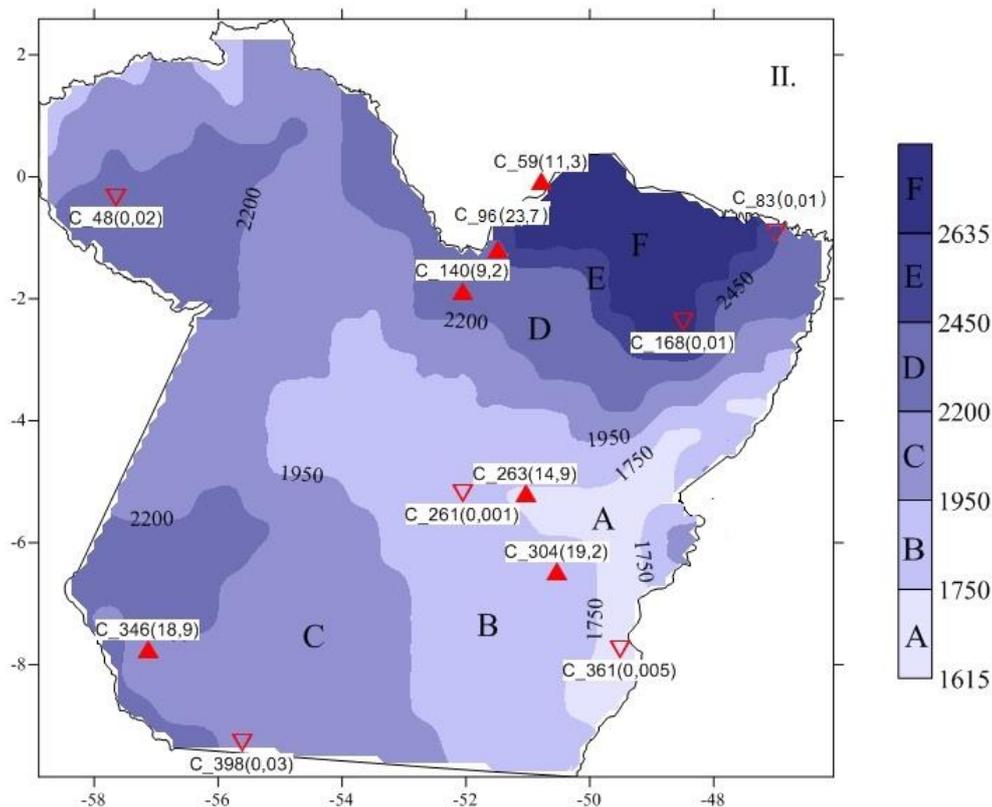


Figura 4.26 - Pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Anual: Série de El Niño

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

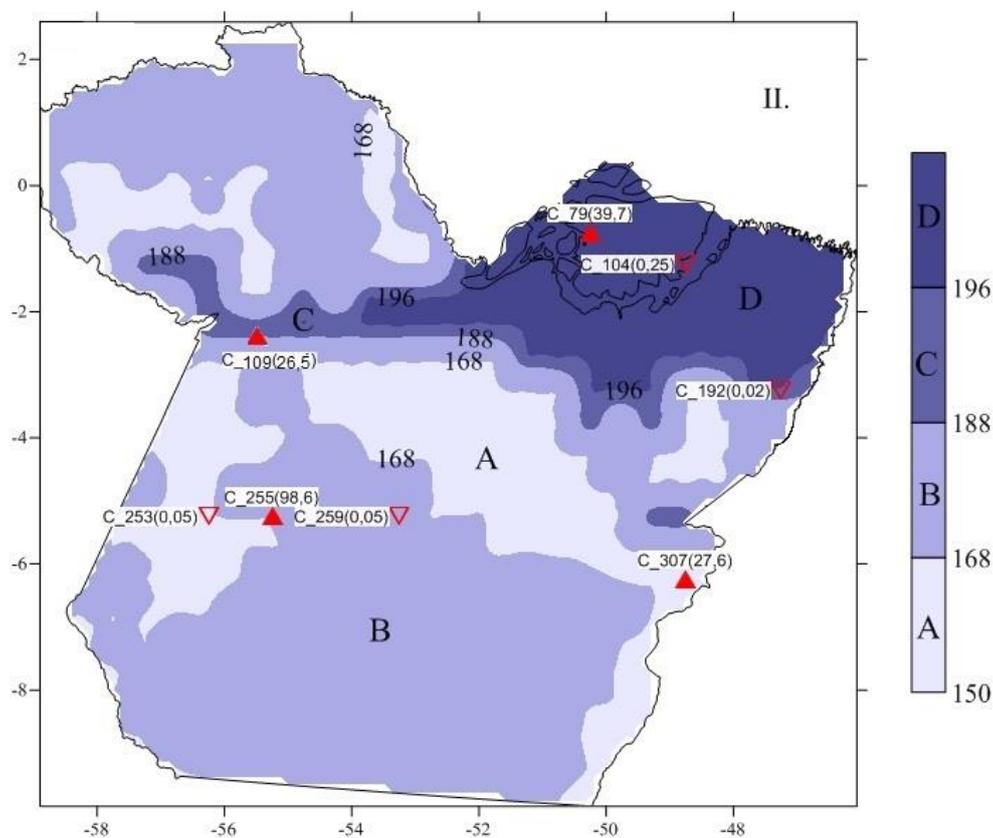


Figura 4.27 - Pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Mensal: Série de El Niño

- **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).

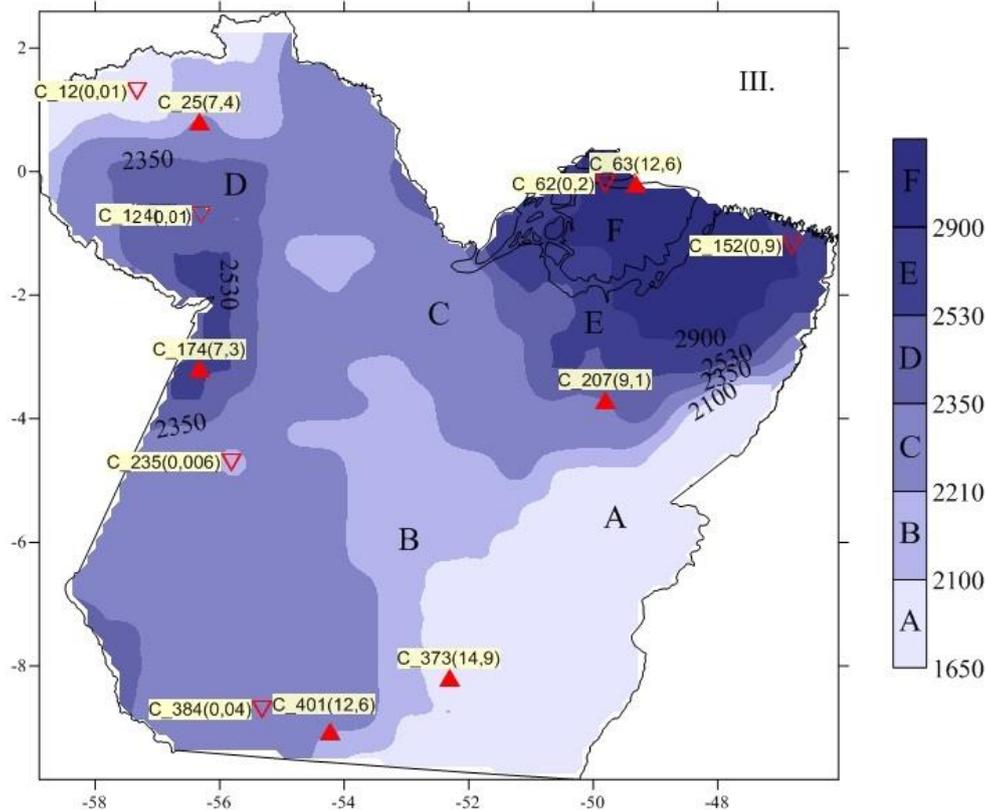


Figura 4.28 – Pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Anual: Série de La Niña

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.

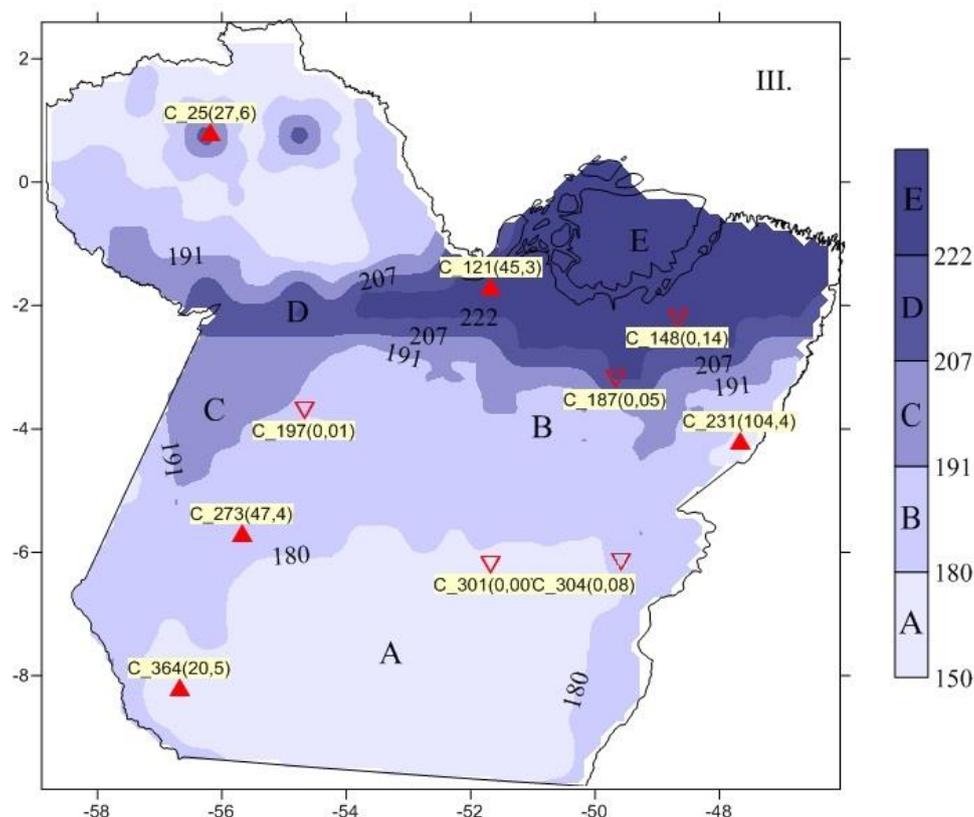


Figura 4.29 - Pontos com maiores e menores Erro Quadrático Relativo Médio Percentual para valores de Precipitação Média Mensal: Série de La Niña

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.

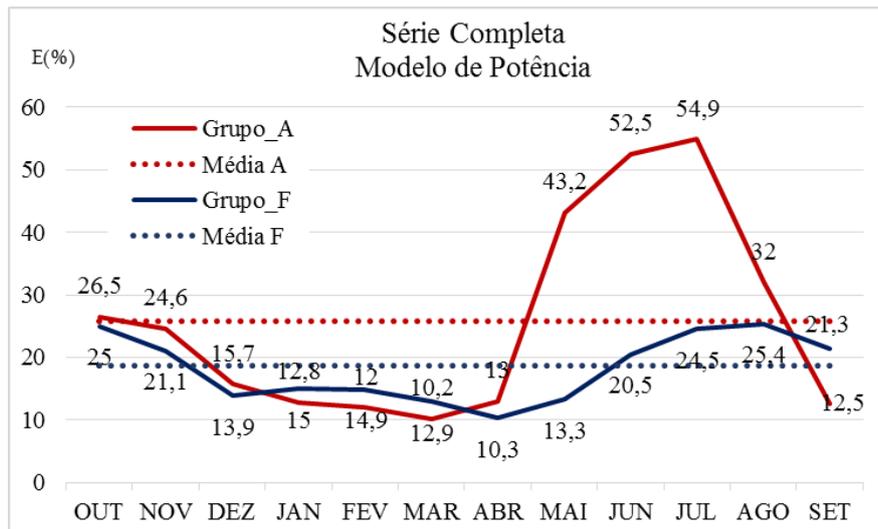


Figura 4.30 – Comparação dos erros percentuais por regiões: Todos os anos

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).

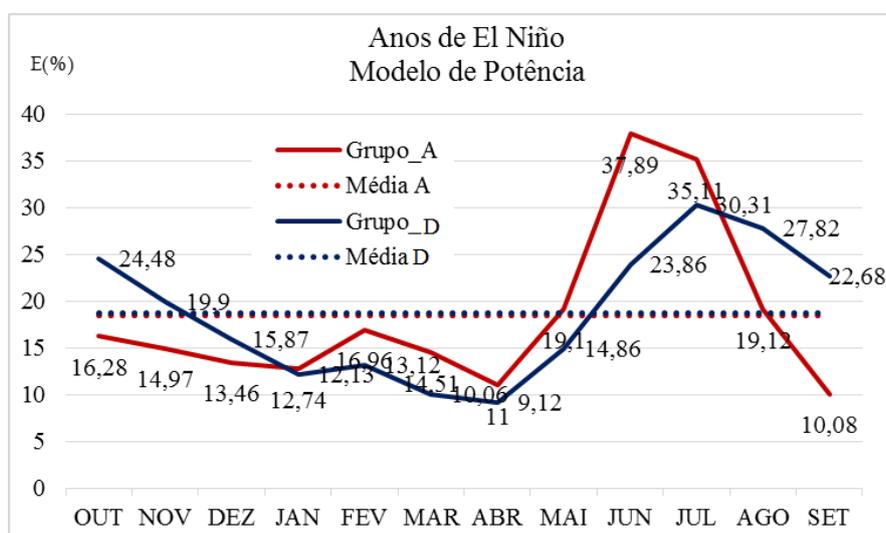


Figura 4.31 - Comparação dos erros percentuais por regiões: Anos de El Niño

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.

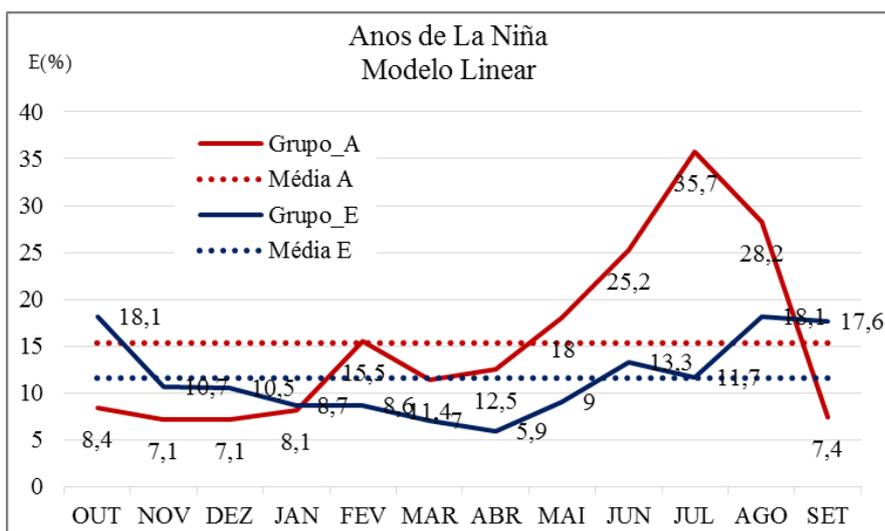


Figura 4.32 - Comparação dos erros percentuais por regiões: Anos de La Niña

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).

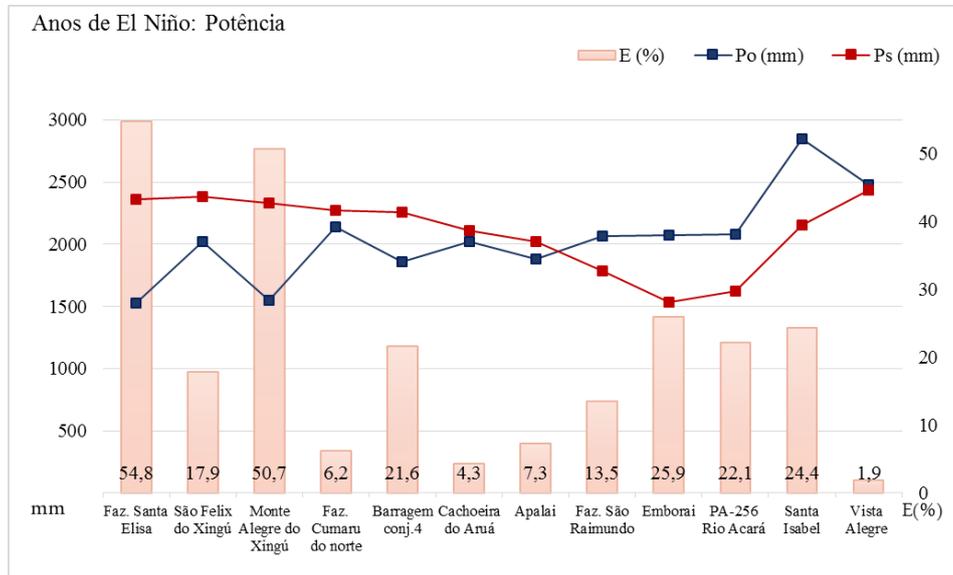


Figura 4.34 - Erros percentuais por estação alvo: anos de El Niño

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	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	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	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 wins. *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

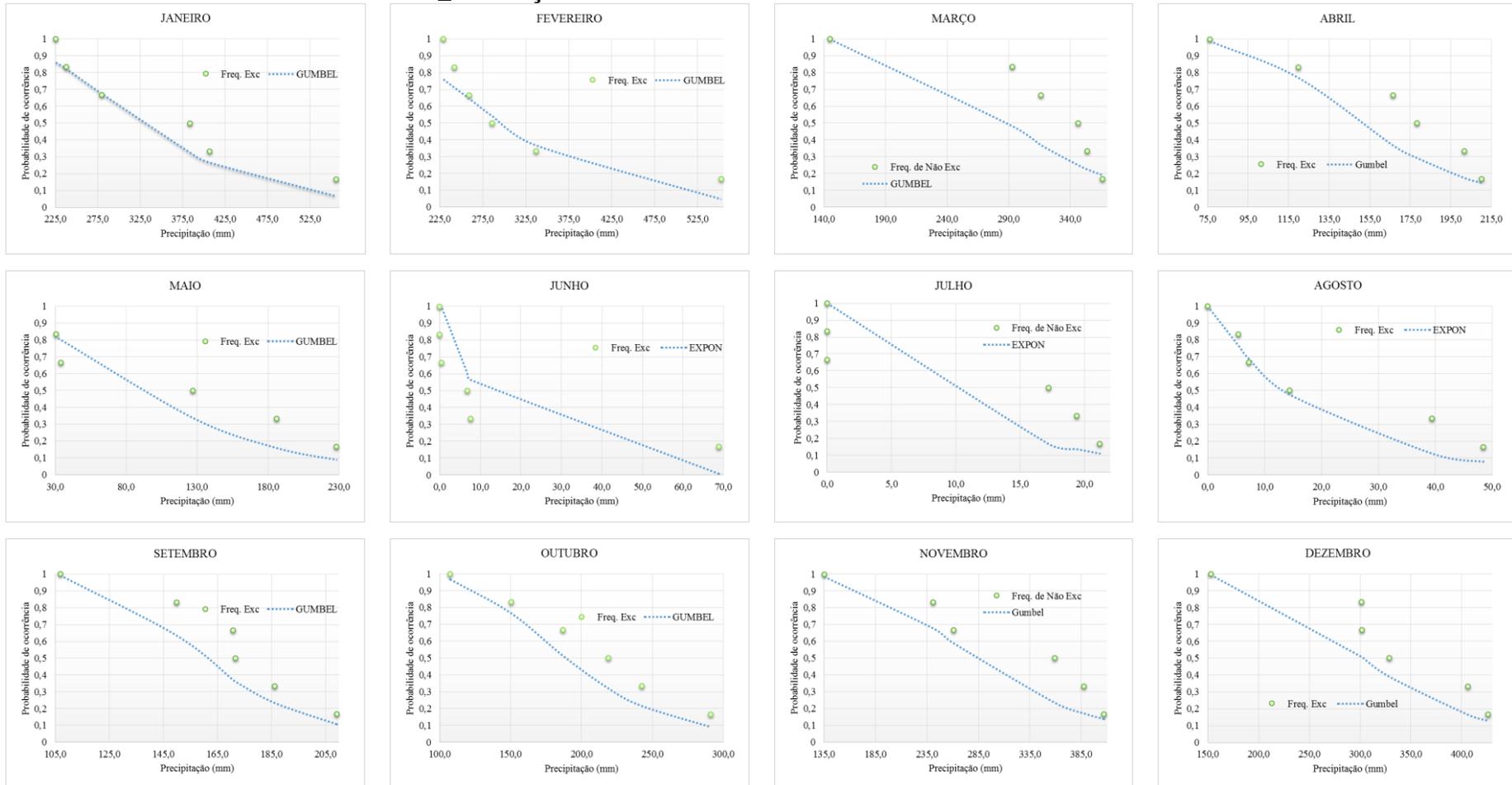
-----
IMPRESSÃO DOS RESULTADOS
-----
open(unit=2,file=Nome1)
do j=1,n
write(2,15)Qs(j)
format(F19.4)
end do
close(2)
end

```

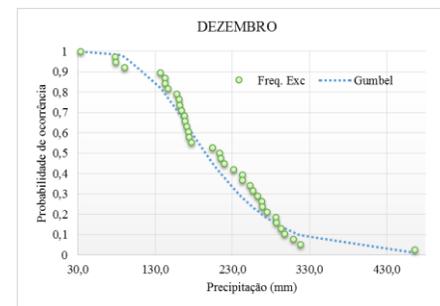
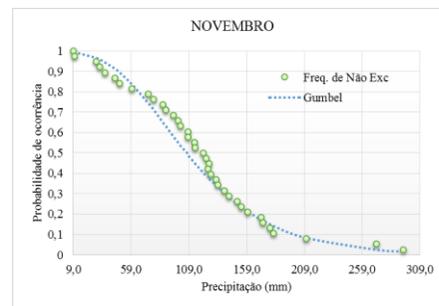
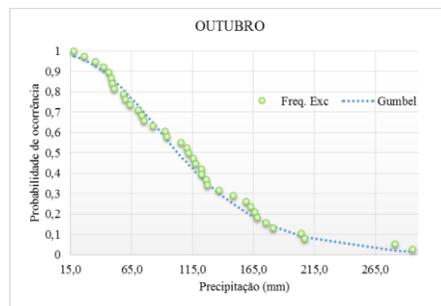
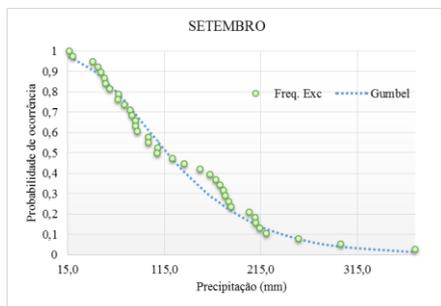
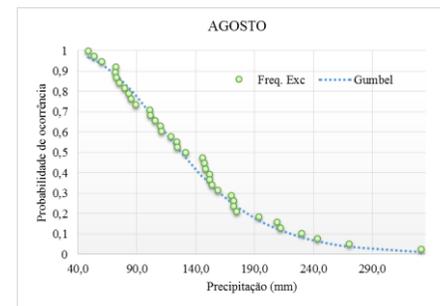
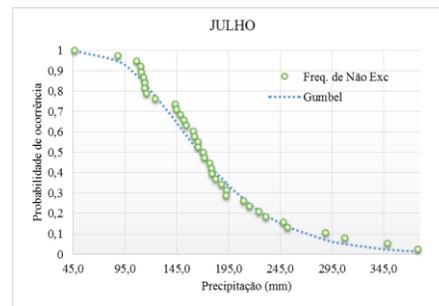
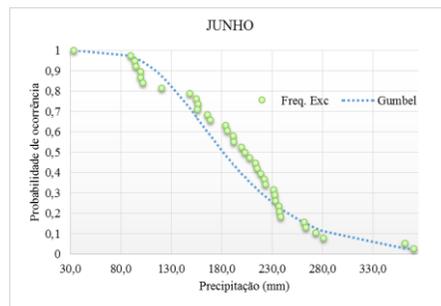
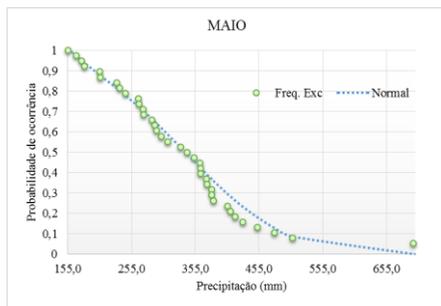
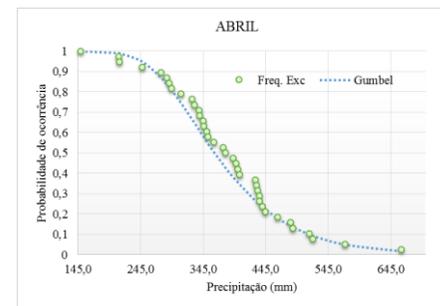
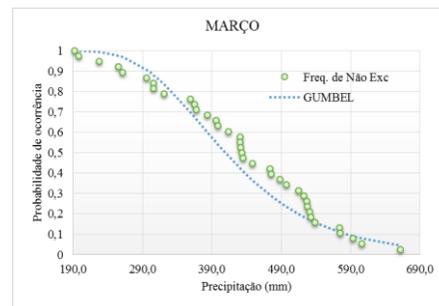
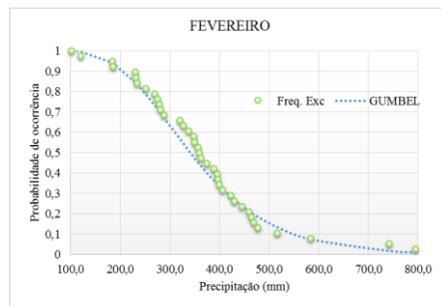
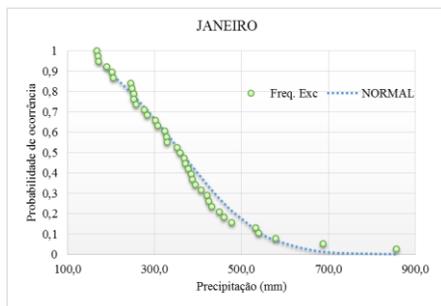
APÊNDICE III

GRÁFICOS DA VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE.

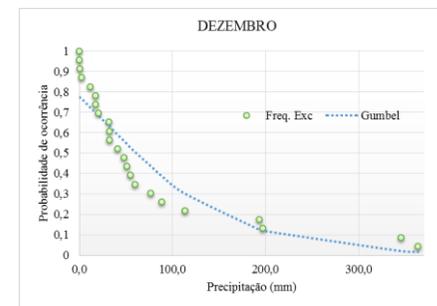
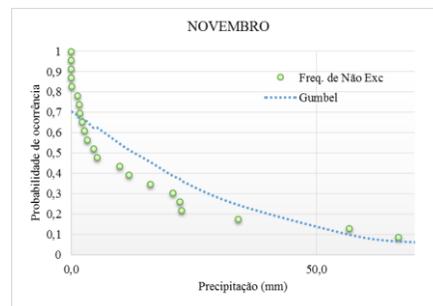
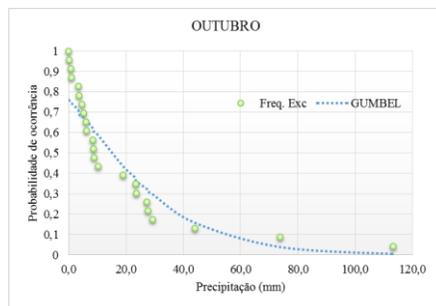
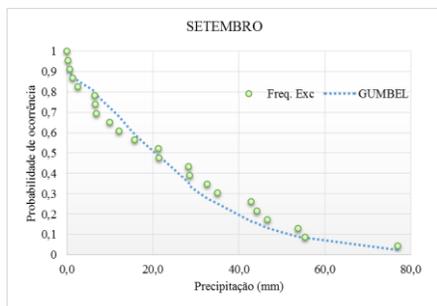
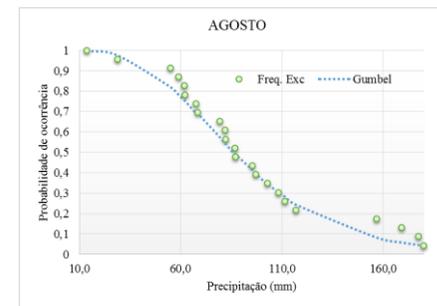
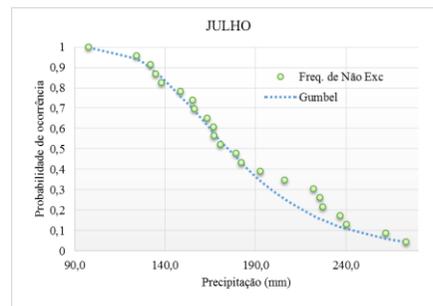
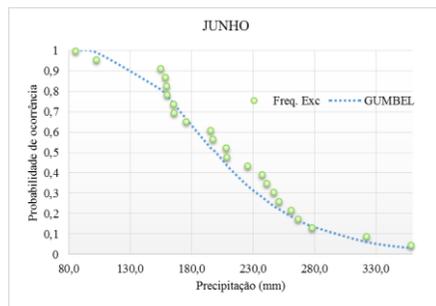
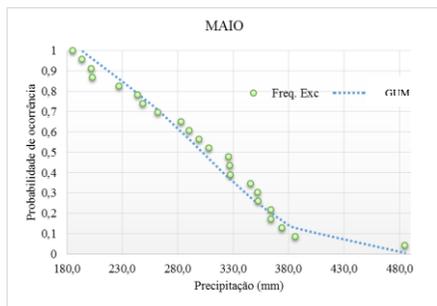
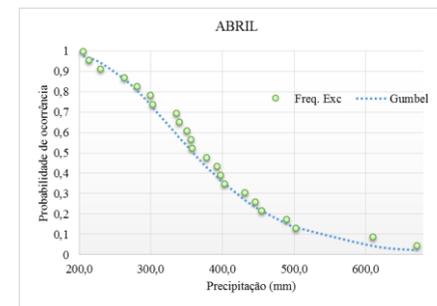
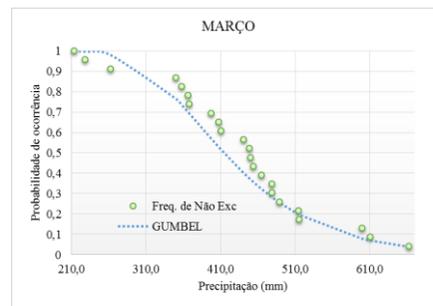
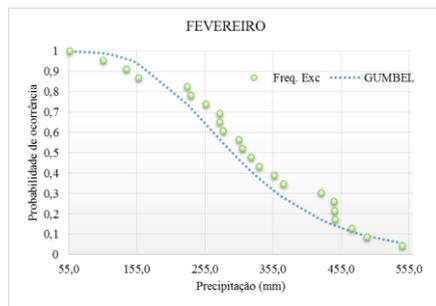
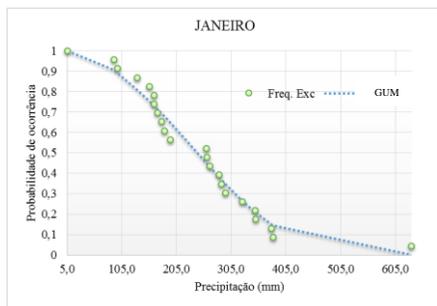
III.1. TODOS OS ANOS: REGIÃO A _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA FAZENDA CUMARÚ DO NORTE



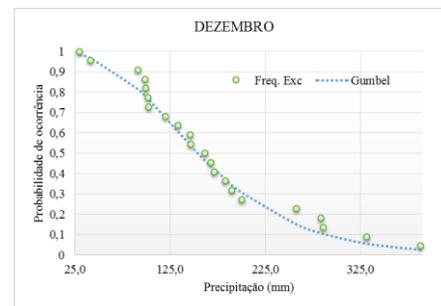
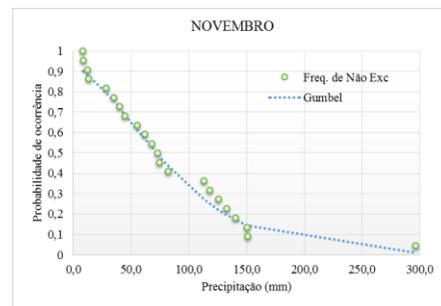
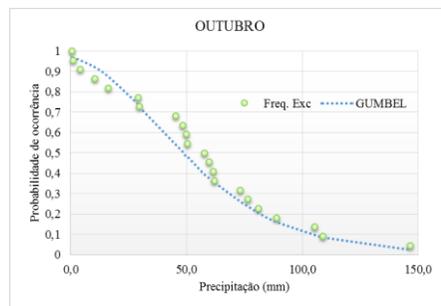
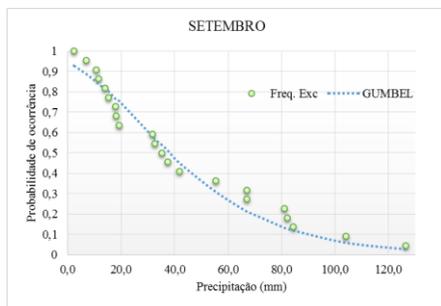
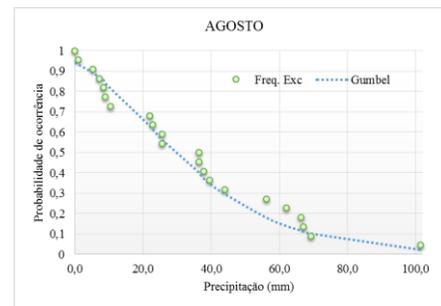
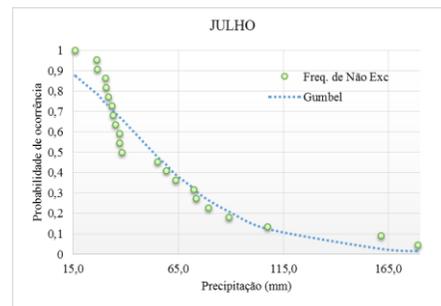
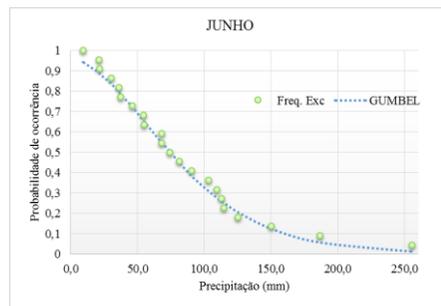
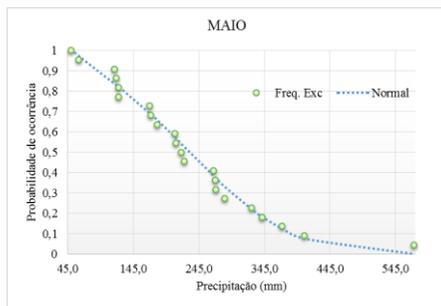
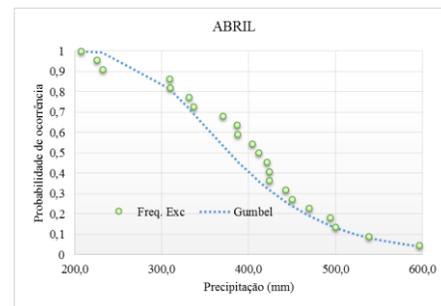
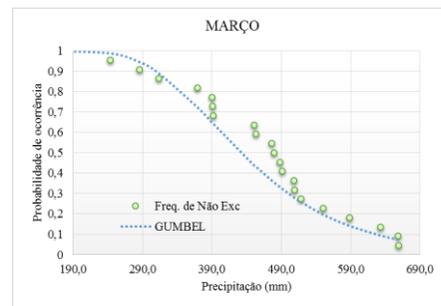
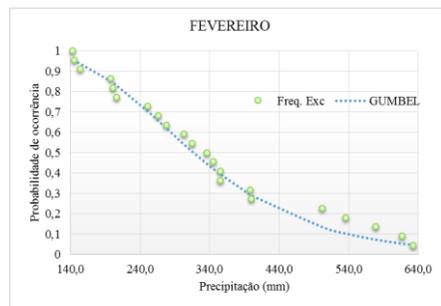
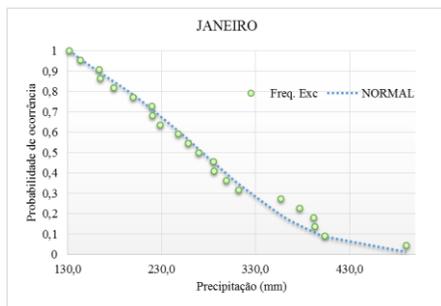
III.2. TODOS OS ANOS: REGIÃO F_ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SANTA ISABEL



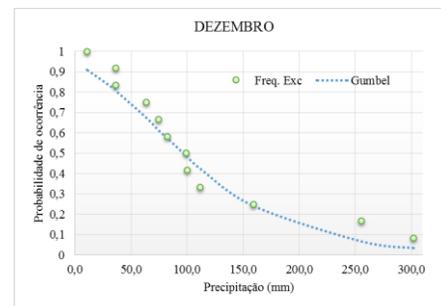
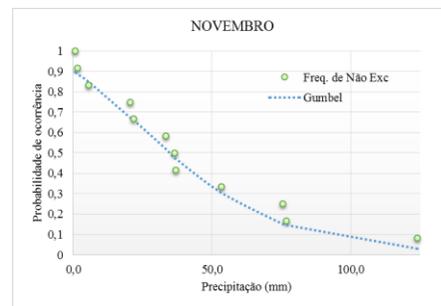
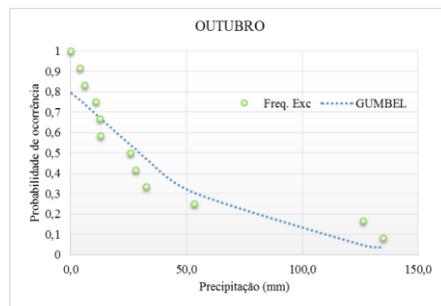
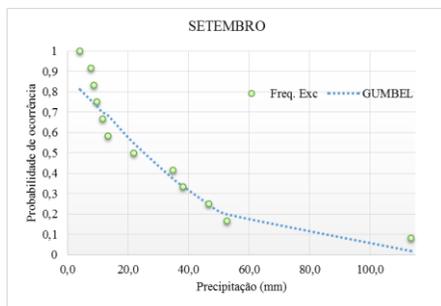
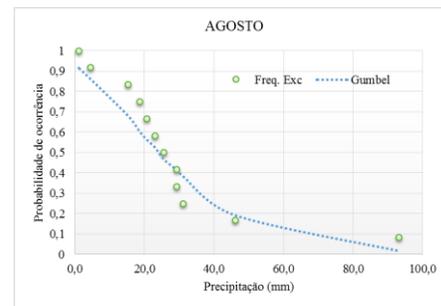
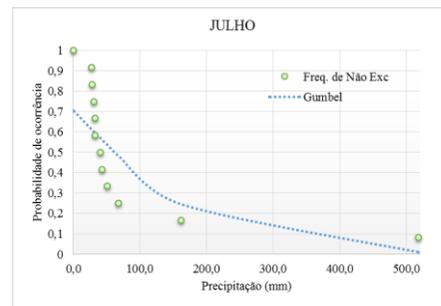
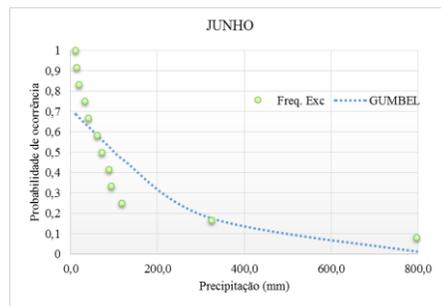
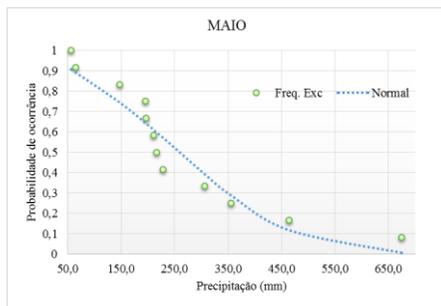
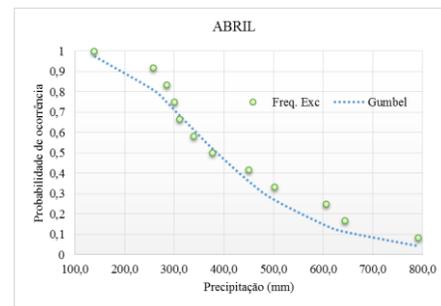
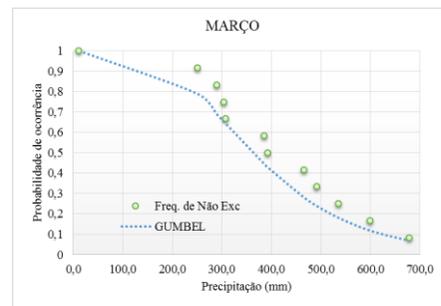
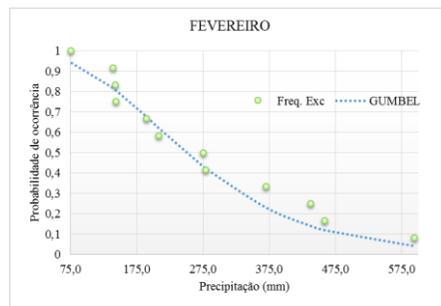
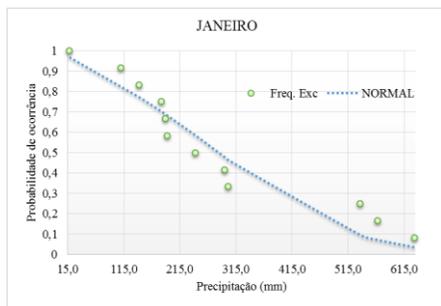
III.3. TODOS OS ANOS: REGIÃO F_ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EMBORAI



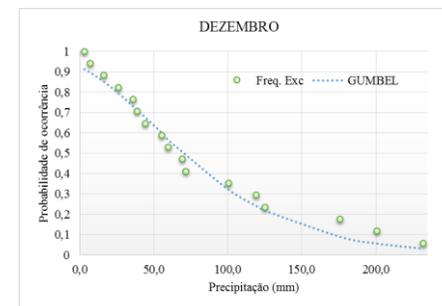
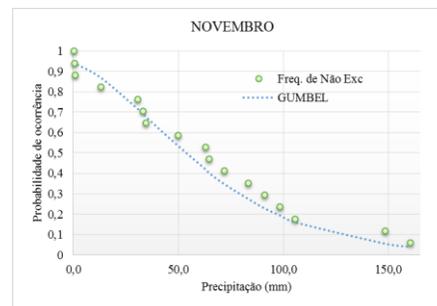
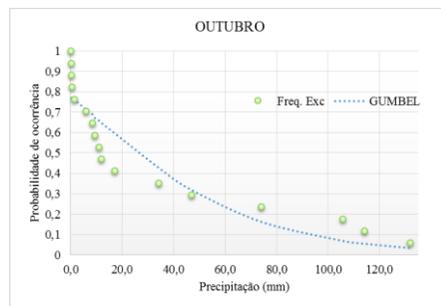
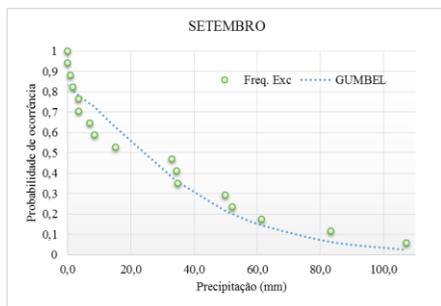
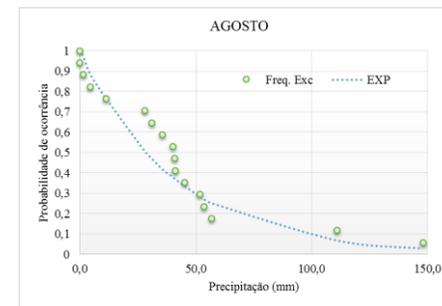
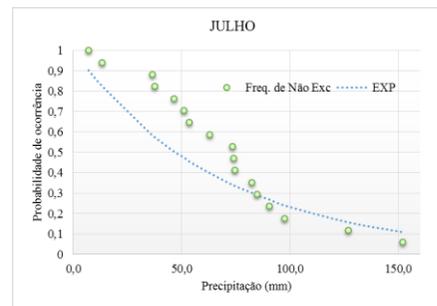
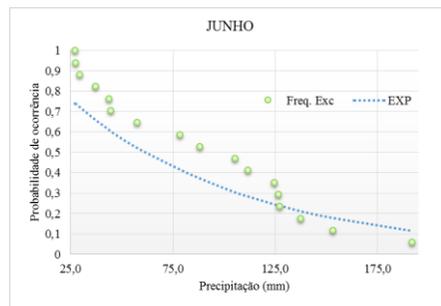
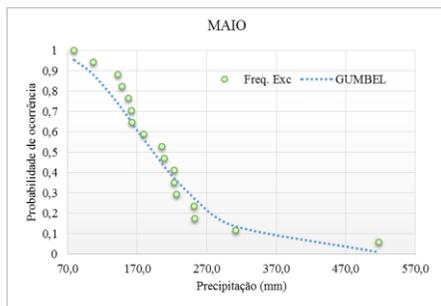
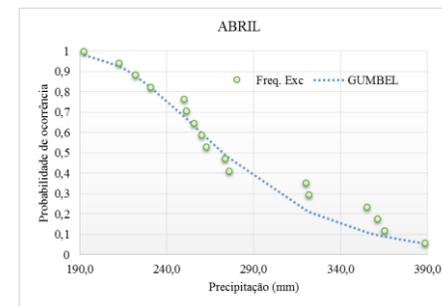
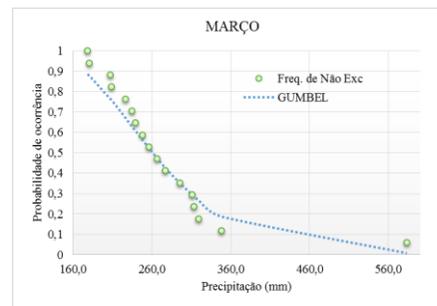
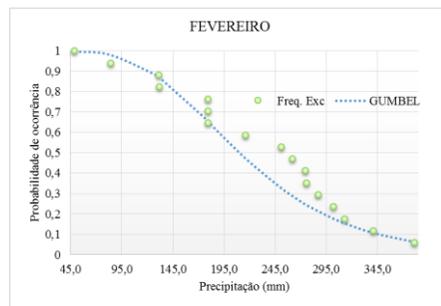
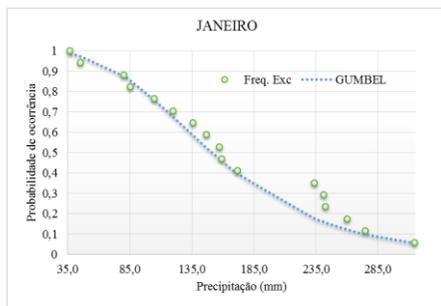
III.4. TODOS OS ANOS: REGIÃO F_ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PA-256



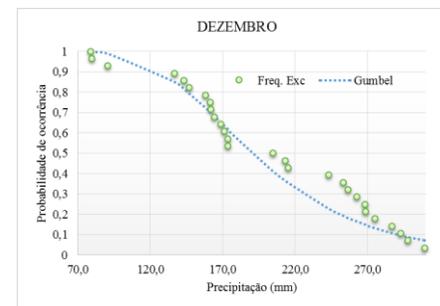
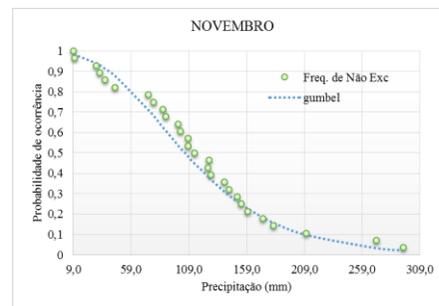
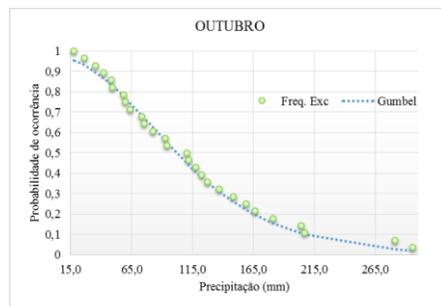
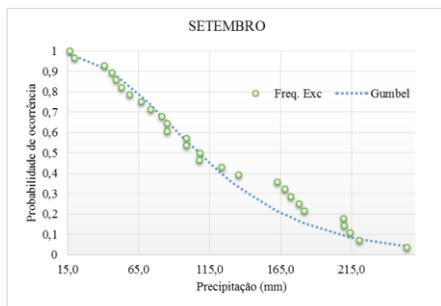
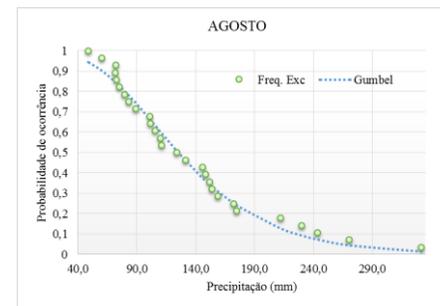
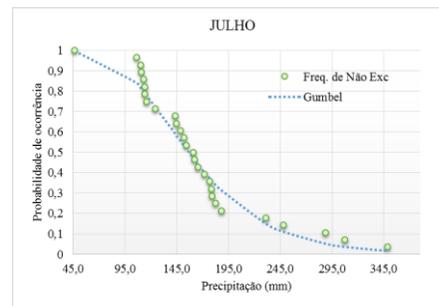
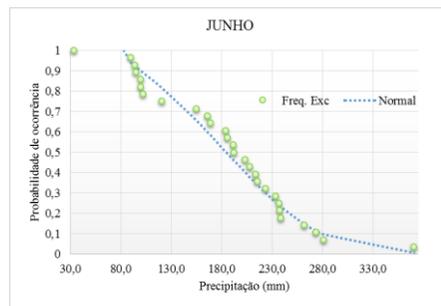
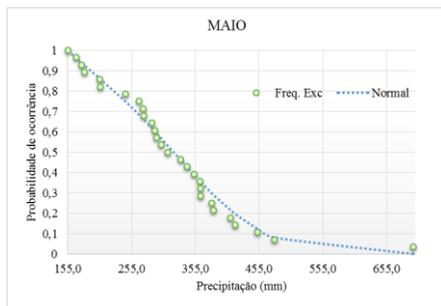
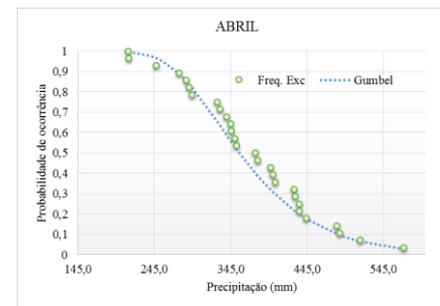
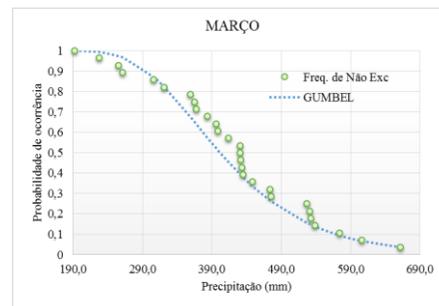
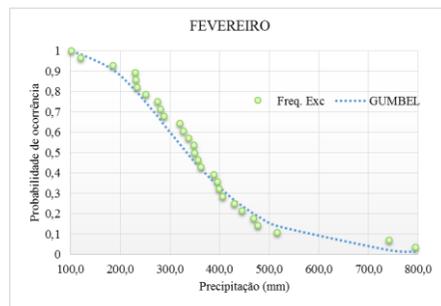
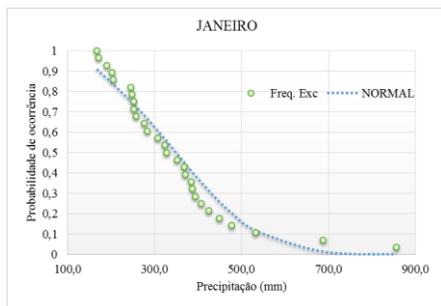
III.5. TODOS OS ANOS: REGIÃO F_ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA FAZENDA SÃO RAIMUNDO



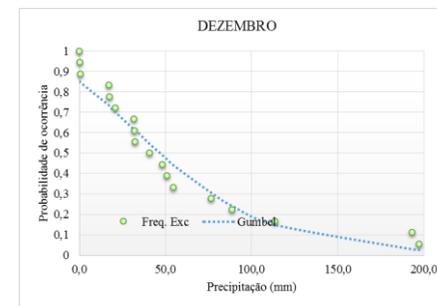
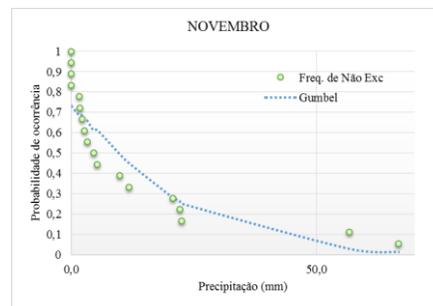
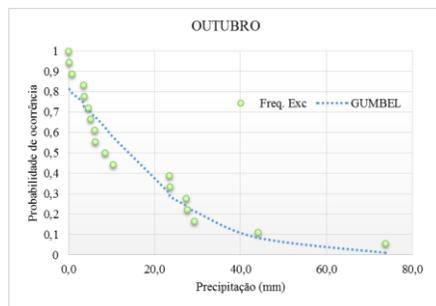
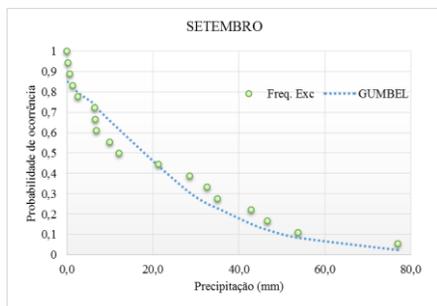
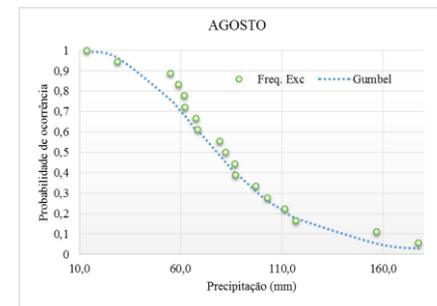
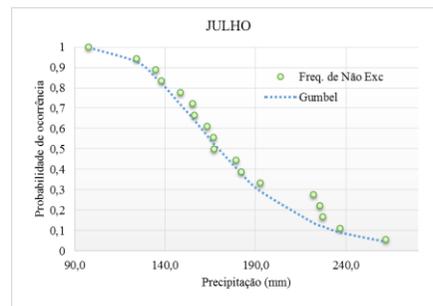
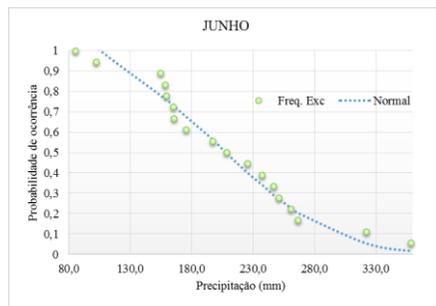
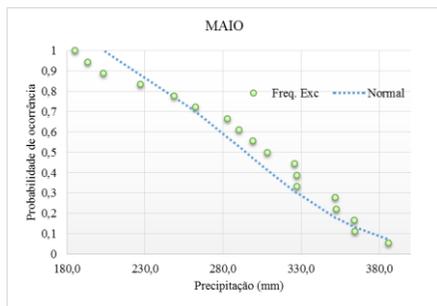
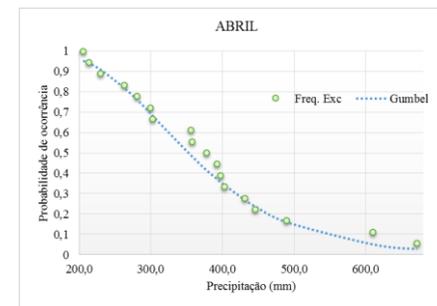
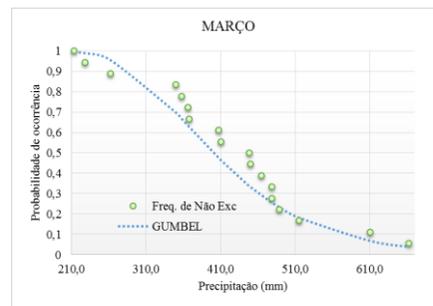
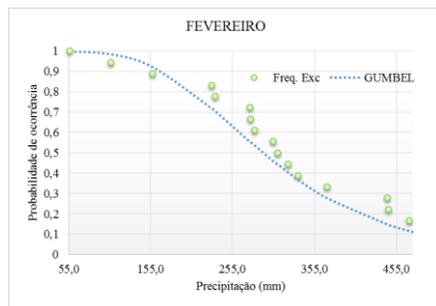
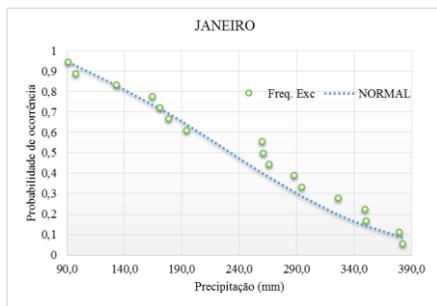
III.6. ANOS DE EL NIÑO: REGIÃO A _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA BARRAGEM CONJ.4



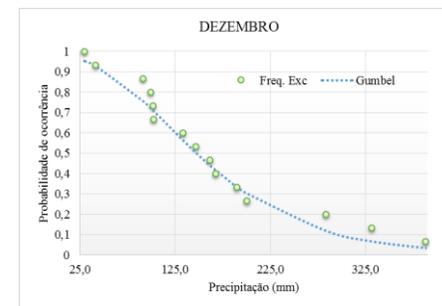
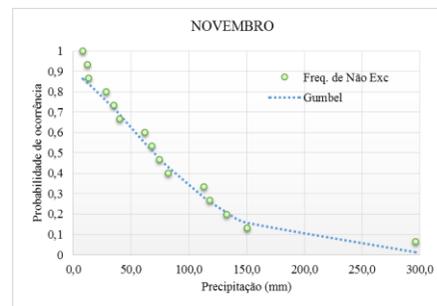
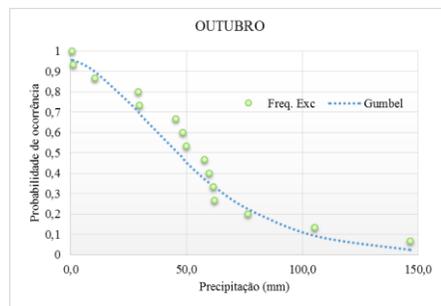
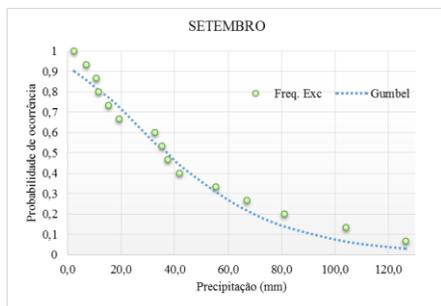
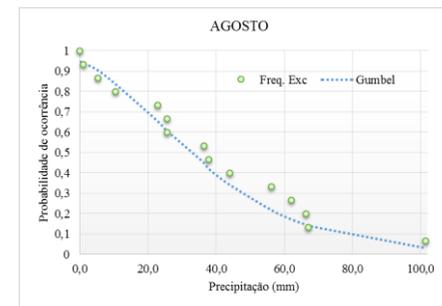
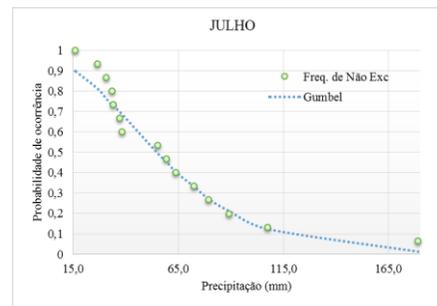
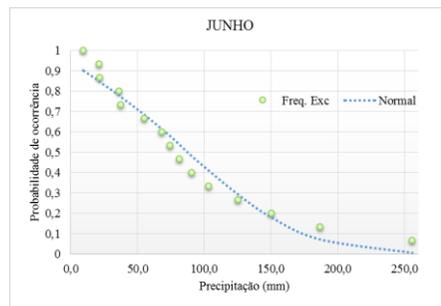
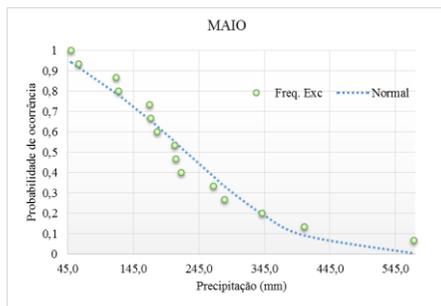
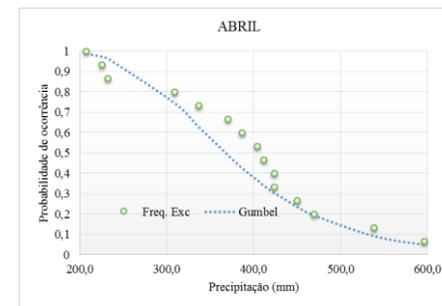
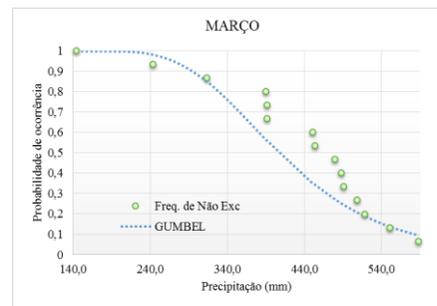
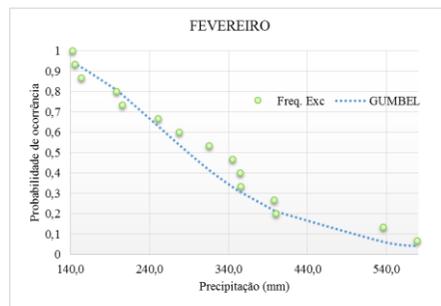
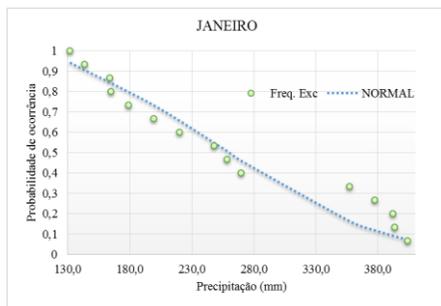
III.7. ANOS DE EL NIÑO: REGIÃO E _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SANTA ISABEL



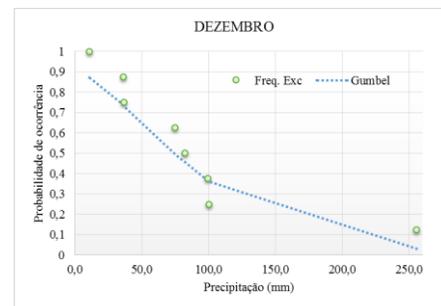
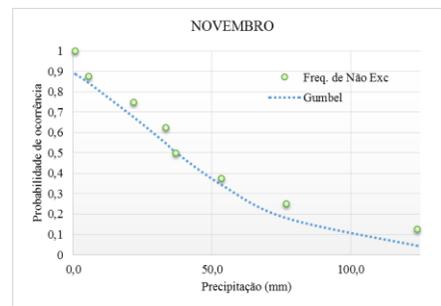
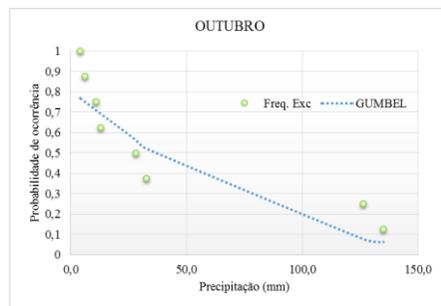
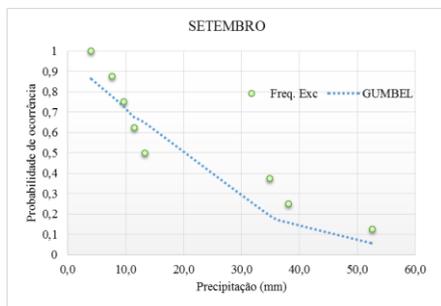
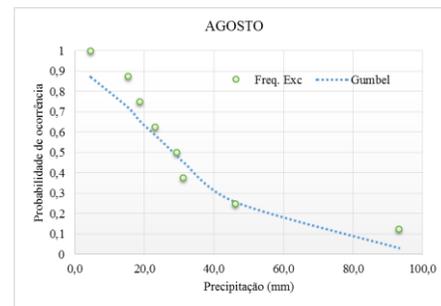
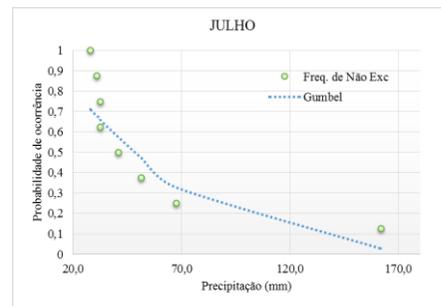
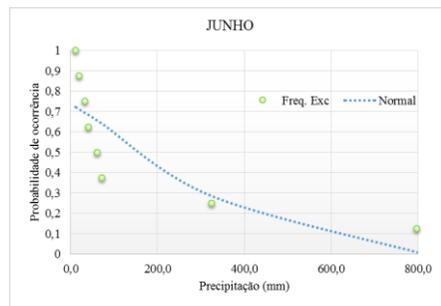
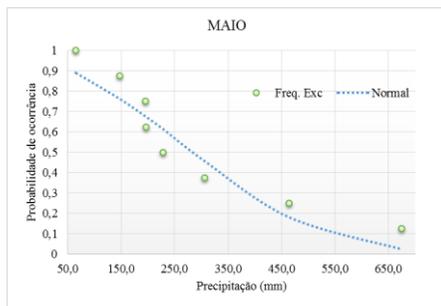
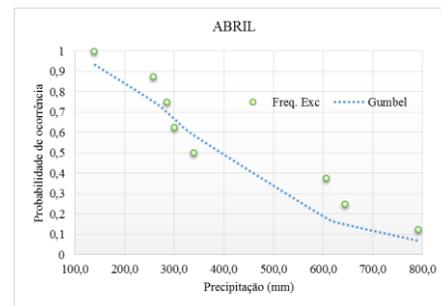
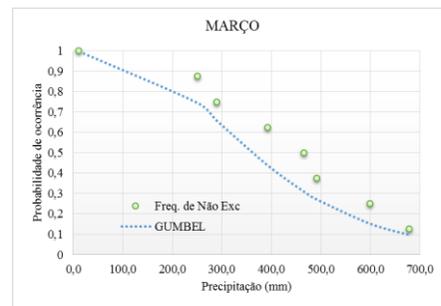
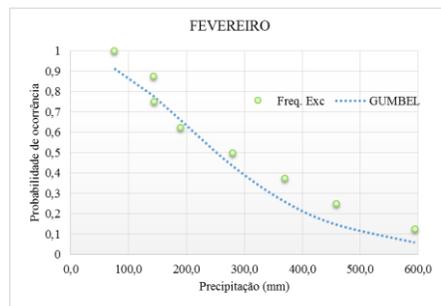
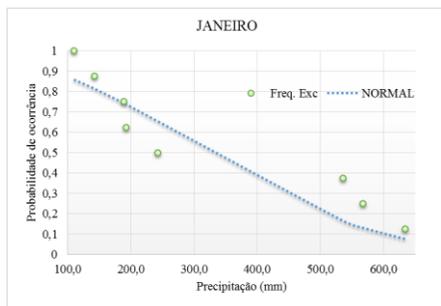
III.8. ANOS DE EL NIÑO: REGIÃO E _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EMBORAI



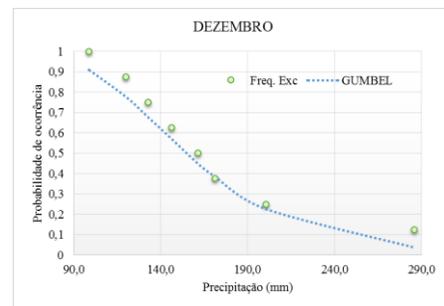
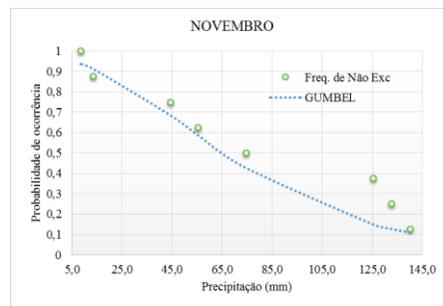
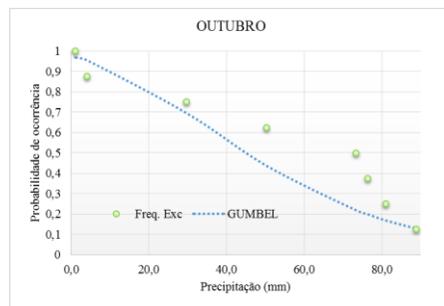
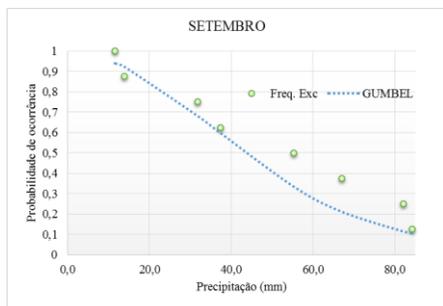
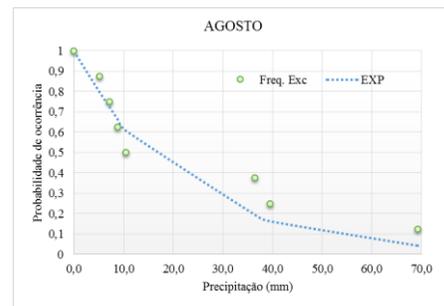
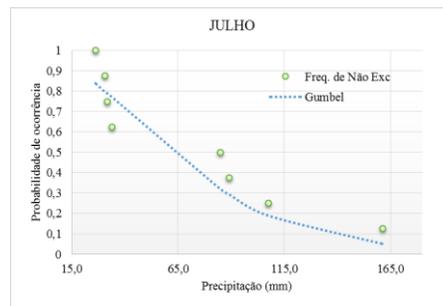
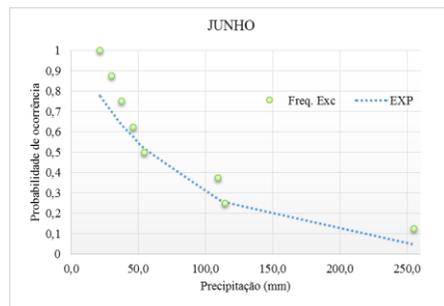
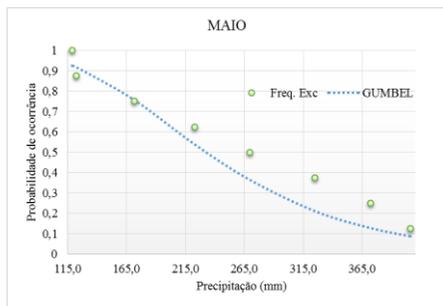
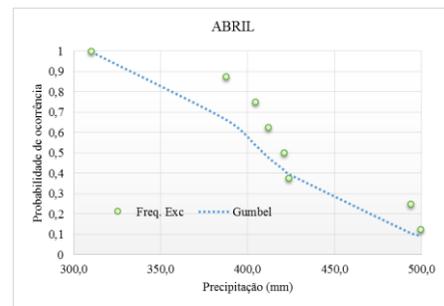
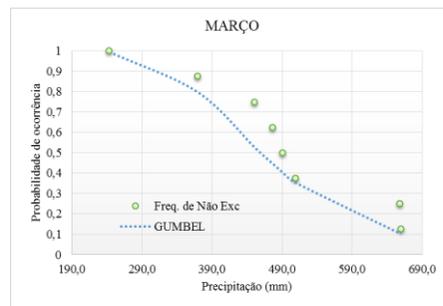
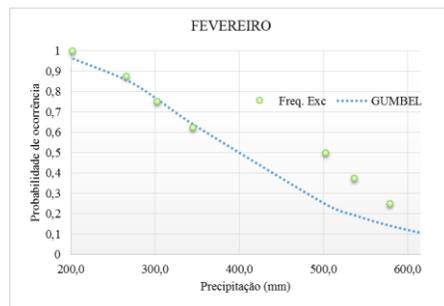
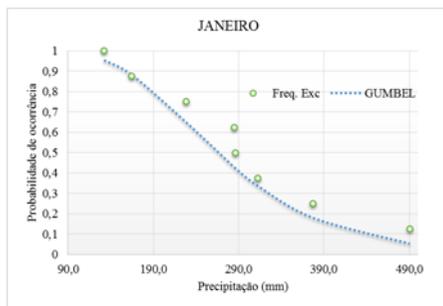
III.9. ANOS DE EL NIÑO: REGIÃO E _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PA-256



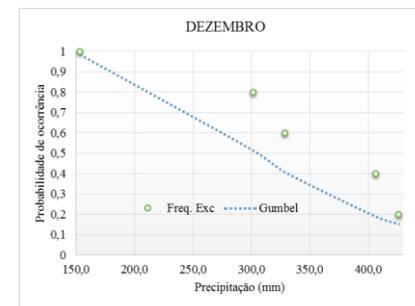
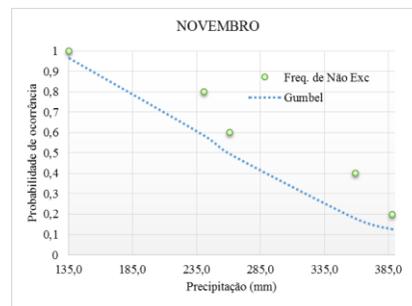
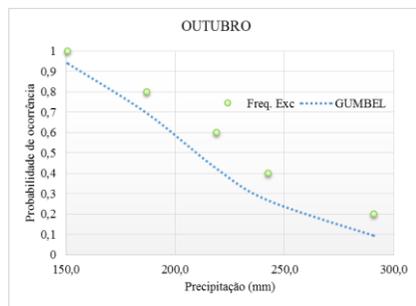
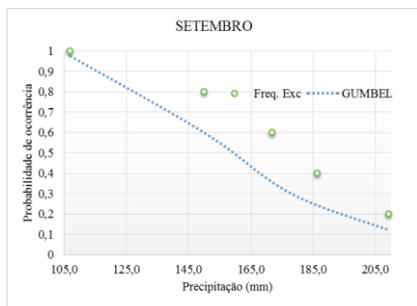
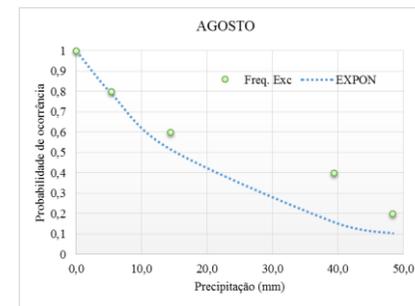
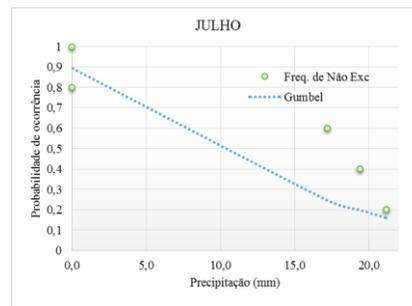
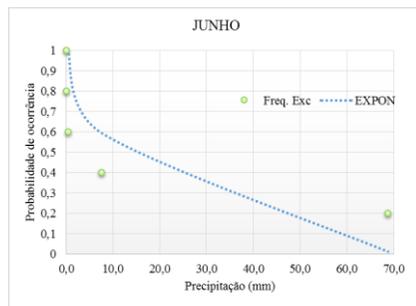
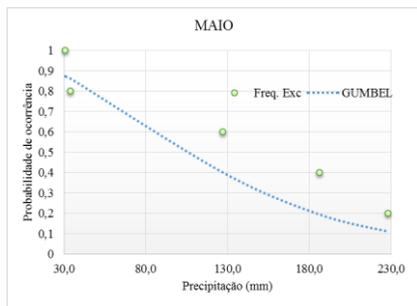
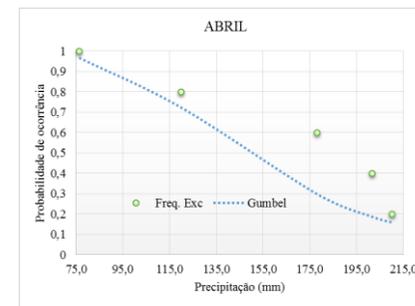
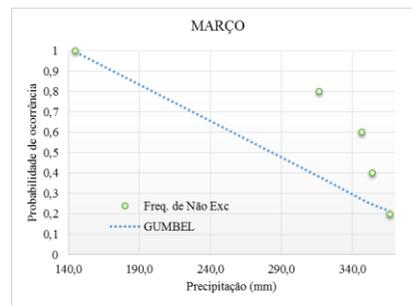
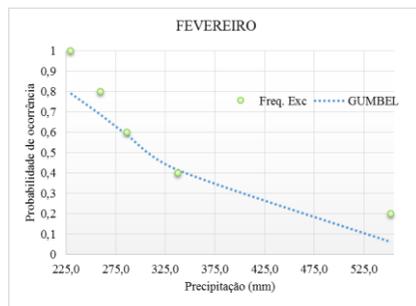
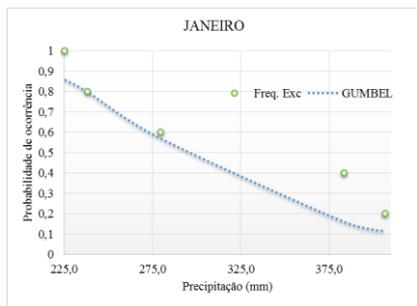
III.10. ANOS DE EL NIÑO: REGIÃO E _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA FAZENDA SÃO RAIMUNDO



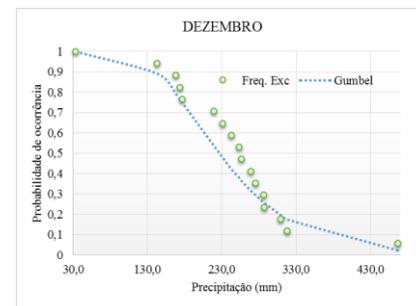
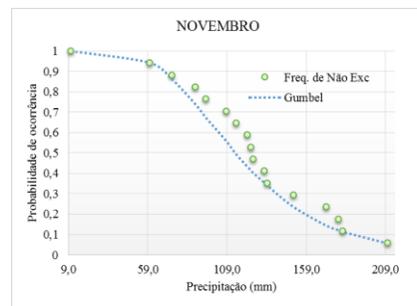
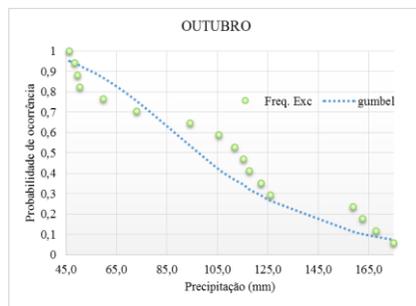
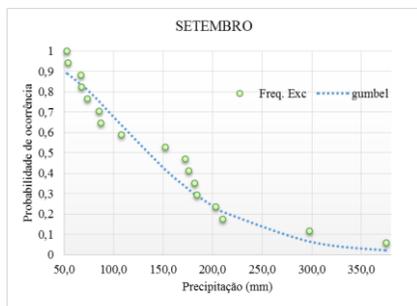
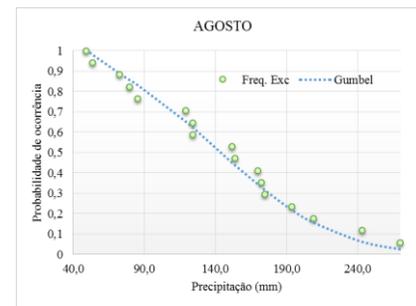
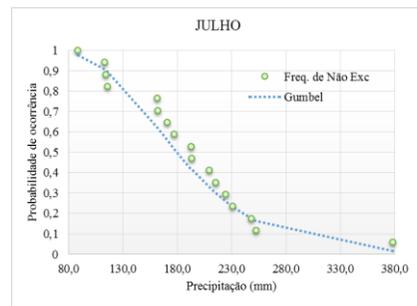
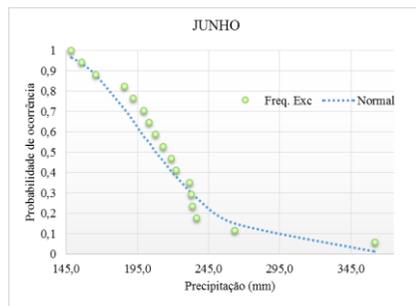
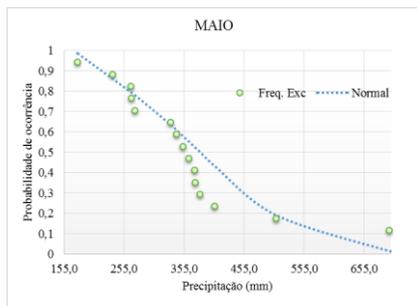
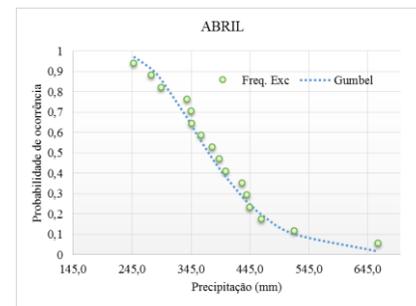
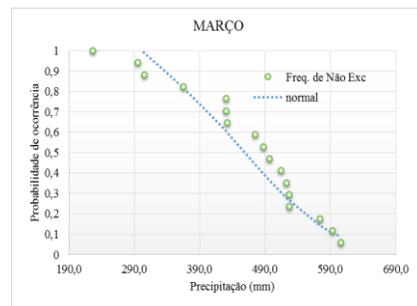
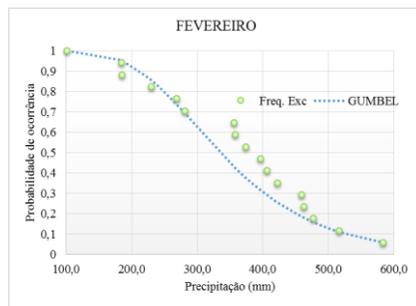
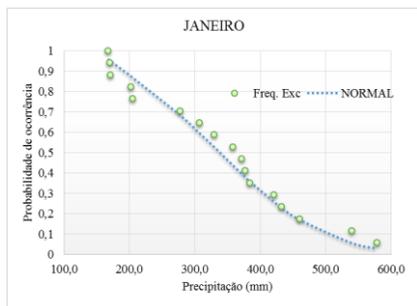
III.11. ANOS DE LA NIÑA: REGIÃO A _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SÃO FELIX DO XINGÚ



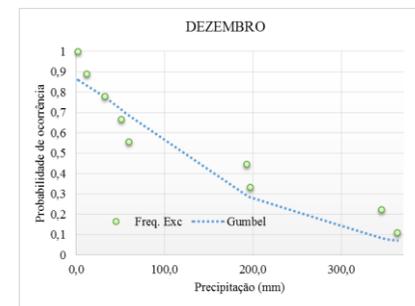
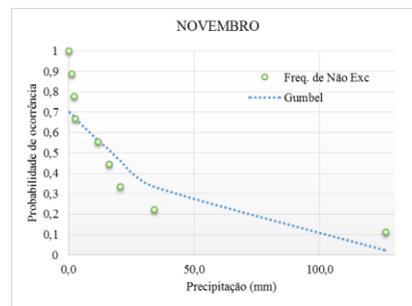
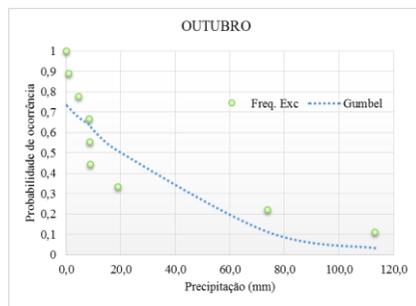
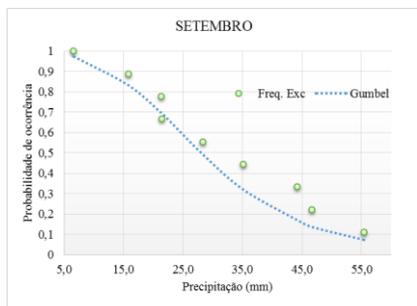
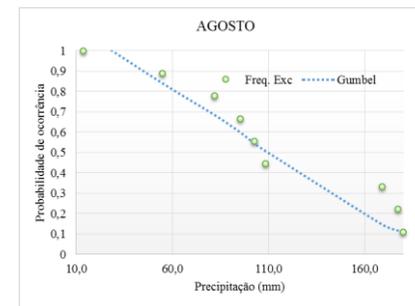
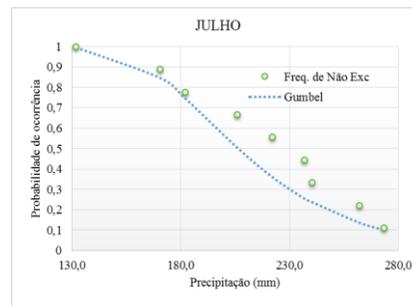
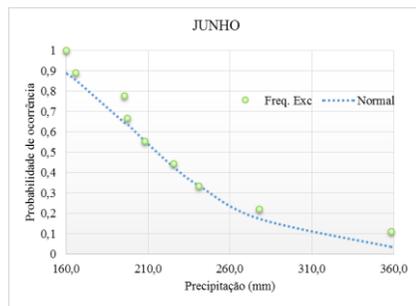
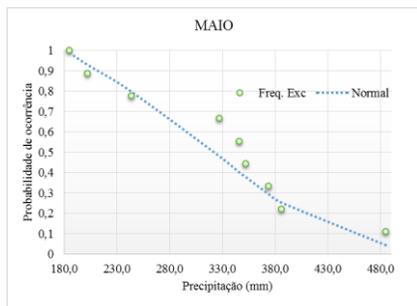
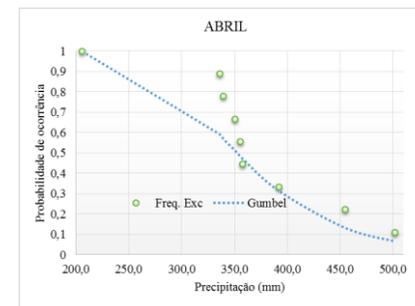
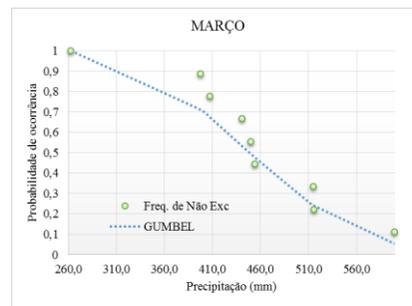
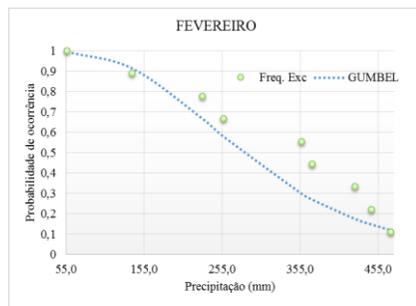
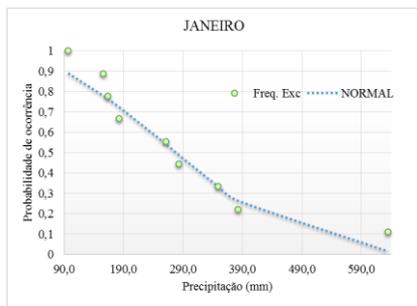
III.12. ANOS DE LA NIÑA: REGIÃO A _ ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA FAZENDA CUMARÚ DO NORTE



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

