



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS**  
**DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

Nº de ordem: MET-UFAL-MS/024

**"ESTUDO HIDROMETEOROLÓGICO NA BACIA DO RIO MUNDAÚ,  
ALAGOAS E PERNAMBUCO"**

**MAURÍCIO CASTRO DA COSTA**

Dissertação apresentada à Coordenação de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Maceió-AL  
2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**Nº de ordem: MET-UFAL – MS-024**

**“ESTUDO HIDROMETEOROLÓGICO NA BACIA DO RIO MUNDAÚ,  
ALAGOAS E PERNAMBUCO”**

**MAURÍCIO CASTRO DA COSTA**

**MAURÍCIO CASTRO DA COSTA**

**“ESTUDO HIDROMETEOROLÓGICO NA BACIA DO RIO MUNDAÚ,  
ALAGOAS E PERNAMBUCO”**

Dissertação apresentada à Coordenação de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador:

Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos de Amorim

Coorientador:

Prof. Msc. José Carvalho de Moraes

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

Maceió – AL  
Agosto, 2004.

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

C837 Costa, Maurício Castro da.  
"Estudo hidrometeorológico na bacia do rio Mundaú, Alagoas e Pernambuco".  
/ Maurício Castro da Costa. -- Maceió, 2004.  
87p. : il. , graf. , tabs.

Orientador: Ricardo Ferreira Carlos de Amorim.  
Co-orientador: José Carvalho de Moraes.

Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas  
Centro de Ciências Exatas e Naturais. Departamento de Meteorologia. Maceió.  
2004.

Bibliografia p. 82-87

1 Hidrometeorologia. 2. Recursos hídricos – Alagoas. 3. Recursos hídricos –  
Pernambuco. 4 Mundaú, Rio (AL). 5 Mundaú, Rio (PE) I Título

CDU: 551.579(813.4/.5)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO**

*“ESTUDO HIDROMETEOROLÓGICO NA BACIA DO RIO MUNDAÚ,  
ALAGOAS E PERNAMBUCO”*

**MAURÍCIO CASTRO DA COSTA**

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários a obtenção do grau de Mestre em Meteorologia N.º de ordem: MET-UFAL-MS-024

Aprovado pela banca examinadora composta por:

*Rf M. C.*

Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos de Amorim  
(Orientador)

*João Batista Miranda Ribeiro*  
Prof. Dr. João Batista Miranda Ribeiro  
(Relator Externo)

*Paulo Ricardo Petter Medeiros*  
Prof. Dr. Paulo Ricardo Petter Medeiros  
(Membro)

Maceió - Al.

Agosto - 2004

À *Karina Ferreira da Costa* minha esposa e *Maurício Filho*, meu filho, pela participação singular em todo decorrer desta longa jornada.

A todos os meus familiares, sem este porto seguro, nada seria possível.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que me concedeu o dom divino da sabedoria;

Ao meu Orientador Prof. Dr. Ricardo Ferreira Carlos de Amorim, que me ajudou e contribuiu bastante com sua orientação;

Ao meu Co-orientador Prof. MSc. José Carvalho de Moraes, o qual devotou todo o seu empenho para que esse trabalho se realizasse, mostrando-se não somente um grande profissional como também um grande amigo;

A prof. Maria do Carmo F. de Oliveira, que contribuiu com seu apoio amizade e companheirismo;

A (ADA), Agencia de Desenvolvimento da Amazônia, através do profissional Meteorologista “Pedro Rolim”, que apoiou contribuindo para a realização do Trabalho em questão;

Ao meu grande amigo e irmão “Antonio Ferreira Azevedo”, bem como a sua esposa Francisca e sua filha Carolina, que nos momentos mais difíceis mostraram-me que ainda podemos encontrar pessoas boas e verdadeiras;

A toda minha família (Mãe, Pai, Tia - Lucinda Ferreira), Irmãos, Cunhados, Esposa (Karina), Filho (Maurício Filho), sogro, Sogra, Cunhado (Waldir Junior), e a todos os demais que me apoiaram.

Ao Núcleo de Hidrometeorologia de Alagoas que sempre estiveram me dando apoio.

Ao meu amigo e grande matemático, Alexandre pelo seu apoio e grande ajuda.

Ao Professor Dr. Manuel da Rocha Toledo Filho por todo apoio e incentivo.

A “Dona Ana”, Secretária do Mestrado da UFAL, por toda dedicação e empenho em me ajudar, na reta final deste trabalho.

*A carreira é orientada pelo objetivo, mas a  
vocação focaliza-se no propósito de sua vida*

(Autor desconhecido)

## RESUMO

O presente trabalho foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, localizada nos Estados de Alagoas e Pernambuco, tomando-se como base, dados de 14 estações pluviométricas e uma estação fluviométrica localizada nesta bacia, no período de (1965 – 1985) para os dados de precipitações e de (1965 – 2002) para os dados de vazões. Foi calculada através do método de Thiessen a precipitação média da bacia, assim como o regime de precipitação da área de estudo, logo após foi calculada a precipitação máxima provável, através da Distribuição de Probabilidade de Gumbel ou de Valores Extremos, verificando-se *também o período de retorno. Foi analisada a distribuição espacial da precipitação na área da bacia, através do software Surfer 7.0, bem como o regime de vazão da bacia, analisando suas variações anuais, mensais, sazonais, o cálculo da vazão máxima provável através da Distribuição de Valores Extremos de Gumbel e o período de retorno para as vazões máximas observadas. Calculou-se a curva chave para o Rio Mundaú, a qual mostrou-se bastante confiável, devido à boa correlação encontrada. Todos esses resultados foram importantes para entender melhor o comportamento hidrometeorológico da Bacia, dando subsídios ao seu uso e manejo.*

## ABSTRACT

The work was carried through in the Hydrographical Basin of the River Mundaú, located in the States of Alagoas and Pernambuco, being overcome as base, given of fourteen pluviometrics and a station for measure fluvial, located in this basin, the period of 1965 until 1985 for precipitations and period of 1965 until 2002 for outflows. The average precipitation of the basin was calculated through the method of Thiessen, as well as the precipitation regimen of the study area, then after, was calculated probable maximum precipitation, through the Distribution of Probability of Gumbel or Extreme Values, verifying also the period of return. Also the space distribution of the precipitation in the area of the basin was analyzed, through figures generated for software to Surfer version 7.0. The regimen of outflow of the basin was observed, analyzing it 's annual, monthly and sazonais variations, became the calculation of probable the maximum outflow, through the Distribution of Extreme Values of Gumbel and was analyzed the period of return for the observed maximum outflows. A was created one Curva-Chave (Key-Curve) for in the River Mundaú, in which revealed sufficiently trustworthy, due the good joined correlation. All these results will make with that let us can understand this ecosystem better and to try to modify the process anthropomorphous in which the basin comes passing.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
<b>3. MATERIAS E MÉTODOS</b> .....	30
3.1 Características Físicas da Bacia do Rio Mundaú .....	30
3.1.1 Relevo da Bacia do Rio Mundaú .....	32
3.1.2 Rede de Drenagem da Bacia do Rio Mundaú .....	33
3.1.3 Vegetação e uso do solo .....	34
3.1.4 Tipos de solo na região da Bacia do Rio Mundaú .....	34
3.2 Precipitação média da Bacia do Rio Mundaú .....	34
3.2.1 Método dos quadriculos .....	36
3.2.2 Método da pesagem .....	36
3.3 Regime de precipitação da Bacia do Rio Mundaú .....	37
3.4 Distribuição espacial da precipitação da Bacia do Rio Mundaú .....	37
3.5 Precipitação máxima provável .....	38
3.5.1 Método dos momentos .....	39
3.5.2 Método de regressão .....	41
3.5.3 Método da máxima verossimilhança .....	42
3.6 Período de retorno da precipitação .....	43
3.7 Regime de vazão da Bacia do Rio Mundaú .....	45
3.8 Vazão máxima provável .....	45
3.9 Período de retorno de vazão máxima .....	47
3.10 Curva – Chave .....	47
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	49
4.1 Precipitação média da Bacia do Rio Mundaú .....	49
4.2 Regime de Precipitação (Variação de precipitação anual, variação média mensal e variação sazonal) da Bacia do Rio Mundaú .....	50
4.3 Distribuição espacial da precipitação na Bacia do Rio Mundaú .....	55

4.4 Precipitação máxima provável .....	62
4.4.1 Método dos momentos .....	62
4.4.2 Método de regressão.....	64
4.4.3 Método da máxima verossimilhança.....	68
4.5 Período de retorno da precipitação para valores máximos observados.....	70
4.6 Regime hidrológico (variação anual de vazão, variação média mensal e variação sazonal).....	71
4.7 Vazão máxima provável.....	73
4.7.1 Método dos momentos .....	73
4.7.2 Método de regressão.....	74
4.7.3 Método da máxima verossimilhança.....	76
4.8 Período de retorno de vazão máxima.....	77
4.9 Curva-Chave do Rio Mundaú.....	78
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>80</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>82</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b> - Tipos de vegetação e uso do solo para a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú.....	34
<b>Tabela 02</b> – Localização geográfica das estações pluviométricas utilizadas para o cálculo da precipitação média da Bacia do Rio Mundaú.....	35
<b>Tabela 03</b> - Estações utilizadas no regime de precipitação da bacia.....	37
<b>Tabela 04</b> - Precipitações médias máximas anuais das estações de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns na Bacia do Rio Mundaú, no período de (1965 – 1985).....	38
<b>Tabela 05</b> – Valores máximos de precipitação pluviométrica média anual em ordem crescente para as estações de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns no Período de 1965 a 1985.	40
<b>Tabela 06</b> – Vazões médias máximas anuais da estação hidrométrica da Fazenda Boa Fortuna no Município de Rio Largo–AL, no período de (1974 – 2001).....	45
<b>Tabela 07</b> - Valores de vazões máximas anuais organizadas em ordem crescente da Fazenda Boa Fortuna, em Rio Largo AL período de (1974 – 2001).....	46
<b>Tabela 08</b> – Valores de Cotas e Vazões da Estação da Fazenda Boa Fortuna, no Município de Rio Largo AL, no período de (1974 – 2001).....	48
<b>Tabela 09</b> – Áreas de influência dos postos pluviométricos obtidos através do método dos quadrículos e suas respectivas precipitações médias .....	49
<b>Tabela 10</b> – Áreas de influência dos postos pluviométricos obtidos através do Método da Pesagem.....	50
<b>Tabela 11</b> - Precipitação média máxima anual da estação pluviométrica de Santana do Mundaú, ajustadas a distribuição de valores extremos pelo método dos momentos .....	63
<b>Tabela 12</b> - Precipitação média máxima anual da estação pluviométrica de Rio largo, ajustadas à distribuição de valores extremos pelo método dos momentos.....	63
<b>Tabela 13</b> - Precipitação média máxima anual da estação pluviométrica de Garanhuns, ajustadas a distribuição de valores extremos pelo método dos momentos.....	64
<b>Tabela 14</b> – Valores dos parâmetros $\alpha$ ; $\beta$ e da precipitação máxima provável, através do método dos momentos.....	64

<b>Tabela 15</b> – Cálculo para obtenção das estimativas e parâmetros de regressão para Santana do Mundaú .....	65
<b>Tabela 16</b> –Cálculo para obtenção das estimativas e parâmetros de regressão para Rio Largo	65
<b>Tabela 17</b> – Cálculo para obtenção das estimativas e parâmetros de regressão para Garanhuns.....	66
<b>Tabela 18</b> – Valores de $a$ e $b$ e dos parâmetros $\alpha$ e $\beta$ para as estações de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns pelo método da regressão .....	66
<b>Tabela 19</b> – Precipitações médias máximas anuais para a estação de Santana do Mundaú, ajustada à distribuição de valores extremos pelo método de regressão .....	67
<b>Tabela 20</b> – Precipitações médias máximas anuais para a estação de Rio Largo, ajustadas à distribuição de valores extremos pelo método de regressão. ....	67
<b>Tabela 21</b> – Precipitações médias máximas anuais para a estação de Garanhuns, ajustadas à distribuição de valores extremos pelo método de regressão. ....	67
<b>Tabela 22</b> – Valores dos parâmetros $\alpha$ e $\beta$ e precipitações máximas prováveis para (90% , 95% e 99%) dos casos, para as estações de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns na Bacia do Rio Mundaú.....	68
<b>Tabela 23</b> – Precipitação anual máxima para Santana do Mundaú, ajustada à distribuição de valores extremos pelo método da máxima verossimilhança .....	68
<b>Tabela 24</b> – Precipitação anual máxima para Rio largo, ajustada à distribuição de valores extremos pelo método da máxima verossimilhança.....	69
<b>Tabela 25</b> – Precipitação anual máxima para Garanhuns, ajustada a distribuição de valores extremos pelo método da máxima verossimilhança.....	69
<b>Tabela 26</b> – Precipitações médias máximas prováveis para as estações de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns na Bacia do Rio Mundaú .....	69
<b>Tabela 27</b> – Períodos de retornos de chuvas intensas para as estações de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns na Bacia do Rio Mundaú.....	70
<b>Tabela 28</b> - Vazão máxima anual da estação hidrométrica Fazenda Boa Fortuna, ajustada a distribuição de valores extremos pelo método dos momentos .....	73
<b>Tabela 29</b> – Vazão máxima provável para (90%, 95% e 99%) na estação da Fazenda Boa Fortuna, município de Rio Largo –AL.....	73

<b>Tabela 30</b> – Cálculo para obtenção das estimativas e parâmetros de regressão.....	74
<b>Tabela 31</b> – Valores dos parâmetros <b>a</b> , <b>b</b> , $\alpha$ e $\beta$ pelo método da regressão.....	75
<b>Tabela 32</b> - Vazão anual máxima ajustada à distribuição de valores extremos pelo método de regressão.....	75
<b>Tabela 33</b> –Vazão máxima provável pelo método da regressão .....	75
<b>Tabela 34</b> – Vazão máxima anual, ajustada à distribuição de valores extremos pelo método da máxima verossimilhança.....	76
<b>Tabela 35</b> – Vazão máxima provável para $F(X)$ igual a (90%, 95% e 99%) pelo método da máxima verossimilhança.....	76
<b>Tabela 36</b> – Período de retorno de vazões intensas para a estação da Fazenda Boa Fortuna no município de Rio Largo-AL no período de (1965 a 2001).....	77
<b>Tabela 37</b> – Valores dos Coeficientes de Determinação do ajuste da Curva-Chave para a Estação da Fazenda Boa Fortuna, Rio Largo-AL.....	78.

## LISTA DE FIGURAS

1 – Localização Geográfica da Bacia do Rio Mundaú.....	30
2 – Altitude 3D da Bacia do Rio Mundaú A.....	33
3 – Áreas de influência encontradas pelo método dos Polígonos de Thiessen na Bacia do Rio Mundaú.....	35
4 – Variação média anual da precipitação pluviométrica das estação de Garanhuns, no período de 1965 – 1985.....	51
5 – Variação média anual da precipitação pluviométrica da estação de, Santana do Mundaú no período de 1965 – 1985.....	51
6 – Variação média anual da precipitação pluviométrica da estação de Rio Largo no período de 1965 – 1985.....	52
7 – Variação média mensal da precipitação pluviométrica na estação de Garanhuns, Santana do Mundaú e Rio Largo, no período de 1965 – 1985.....	53
8 – Variação sazonal da precipitação pluviométrica para a estação de Garanhuns, no período de 1965 – 1985.....	54
9 – Variação sazonal da precipitação pluviométrica para a estação de Santana do Mundaú, no período de 1965 – 1985.....	54
10 – Variação sazonal da precipitação pluviométrica para a estação de Rio Largo, no período de 1965 – 1985.....	55
11 e 12 – Distribuição espacial da precipitação pluviométrica média da região da Bacia do Rio Mundaú, para os meses de janeiro, fevereiro.....	56
13 e 14 - Distribuição espacial da precipitação pluviométrica média da região da Bacia do Rio Mundaú, para os meses de março abril.....	57
15 e 16 - Distribuição espacial da precipitação pluviométrica média da região da Bacia do Rio Mundaú, para os meses de maio e junho.....	58
17 e 18 - Distribuição espacial da precipitação pluviométrica média da região da Bacia do Rio Mundaú, para os meses de julho e agosto.....	59
19 e 20 - Distribuição espacial da precipitação pluviométrica média anual da região da Bacia do Rio Mundaú para os meses setembro e outubro.....	60
21 e 22 - Distribuição espacial da precipitação pluviométrica média da região da Bacia do Rio Mundaú, para os novembro e dezembro.....	61

23 – Variação anual da vazão na estação da Fazenda Boa Fortuna, Rio Largo-AL para o período de (1974 –2002). .....	63
24 – Variação média mensal da vazão na estação da Fazenda Boa Fortuna, Rio Largo-AL para o período de (1974 a 2002). .....	71
25 – Variação sazonal da vazão na estação da Fazenda Boa Fortuna, Rio Largo-AL, para o período de (1974 a 2002). .....	72
26 – Relação Cota (m) X Vazão (m <sup>3</sup> /s), (Curva – Chave) da estação da Fazenda Boa Fortuna no Rio Mundaú, com dados do período de (1965-2001). .....	72
27 – Relação cota x vazão (curva-chave) da estação da fazenda Boa Fortuna no Rio Mundaú, município de Rio Largo-AL, no período de 1965 a 2001 .....	78

## 1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Rio Mundaú ocupa a parte centro - norte - oriental do Estado de Alagoas, drenando as microrregiões homogêneas da Mata Alagoana e de Macció. É um rio que nasce a oeste da cidade pernambucana de Garanhuns, na parte sul do Planalto da Borborema e integra-se a Alagoas na Cachoeira da Escala, ao sul da cidade pernambucana de Correntes e noroeste da cidade alagoana de Santana do Mundaú, atravessando a área central da Mata Alagoana, chegando ao litoral, com sua foz afogada formando a Lagoa Mundaú (Gomes-2002).

Esta bacia apresenta uma importância sócio-econômico-cultural para todos os municípios dos dois estados a qual ela faz parte, pois o Rio Mundaú e seus afluentes representam para os ribeirinhos, fonte de alimentação, renda e lazer a qual está integrada a vida dessas pessoas.

Os conhecimentos de algumas variáveis hidrometeorológicas são fundamentais para se entender melhor o funcionamento desse ecossistema de maneira a minimizar efeitos climáticos negativos, como secas, inundações, assoreamento, etc.

Um dos fatores importantes é a antropização das bacias hidrográficas, ou seja, a ação desordenada do homem nessas bacias, modificando todo o ecossistema, construindo nas margens dos rios, desmatando, queimando etc. Isso tudo acarreta numa maior compactação do solo, fazendo com que o escoamento superficial aumente, contribuindo com um maior volume de água nos rios, que trazem quantidades significativas de materiais sólidos provocando o assoreamento, proporcionando maiores ocorrências de inundações.

Devido à importância que a Bacia do Rio Mundaú representa para a população e para o equilíbrio do micro-clima local, faz-se necessário o estudo do regime de precipitação, assim como de seus valores médios na bacia, além dos valores extremos e do volume de água que escoam sobre os leitos dos rios.

Precipitação constitui o ramo descendente do ciclo hidrológico, cujo regime é determinado por suas características físicas, topográficas, geológicas, e por seu clima. A precipitação é importante devido apresentar uma distribuição espacial e temporal com

influência na evaporação, na vazão de rios, no escoamento superficial e em diversas atividades humanas, como na agricultura, na qual a chuva determina os períodos de plantio e colheitas e outras (Amorim, 2002). Dela depende toda a vida animal e vegetal do planeta. Além disso, o estudo da precipitação é essencial para se compreender o regime hidrológico de uma região. O conhecimento das características das precipitações máximas apresenta interesse de ordem técnica por sua freqüente aplicação nos projetos de obras hidráulicas tais como projetos de vertedores de barragens, de dimensionamento de canais e definição de obras de desvio de cursos de água (Galvêncio, 2002).

*O dimensionamento de obras hidráulicas deveria ser feito, conhecendo-se a capacidade máxima da vazão absoluta do escoamento, que é sempre conhecido segundo (VILLELA E MATTOS 1975).*

Um dos fatores marcantes da região Nordeste do Brasil é a distribuição espacial da sua precipitação pluviométrica, que caracteriza desde o clima semi-árido no interior, com precipitação acumulada inferior a 350 mm/ano, até um clima chuvoso, sendo observado principalmente na costa leste da região com precipitação acumulada em torno de 1500 mm / ano.

A precipitação do Nordeste possui uma variação sazonal, com pelo menos três regimes de precipitação para três áreas diferentes:

1º - Uma área mais ao Norte, onde as precipitações significativas ocorrem no período de março - maio; devendo-se ao deslocamento anual da ZCIT para latitudes mais ao sul no Hemisfério Norte, o que afeta o NE do Brasil, principalmente nos meses de abril e maio. (Quadro, 2000).

2º - A faixa litorânea leste do Nordeste, que se estende desde o Rio Grande do Norte até o sul da Bahia, com período chuvoso de maio – julho, está ligado a maior atividade de circulação de brisa que advecta bandas de nebulosidade média para o continente e a ação das frentes frias remanescentes que se propagam ao longo da costa (QUADRO, 2000).

3º - Finalmente a região que abrange grande parte da Bahia e que tem máximos de precipitação nos meses de novembro e dezembro, estando associado à penetração de frentes frias provenientes do sul que alcançam latitudes mais baixas. (QUADRO, 2000).

Essa grande variabilidade ocorre segundo vários autores devido a mecanismos de circulação geral e principalmente oceânicas, haja visto, que a influência da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical exercem fundamental importância na qualidade da estação chuvosa da região, bem como no balanço de energia, afetando diretamente as variáveis hidrometeorológicas.

A precipitação é um dos fatores principais no comportamento de vazão das bacias hidrográficas da região, destacando-se a importância na quantificação e correlação da precipitação dessas áreas distintas do nordeste brasileiro.

Portanto, esse trabalho teve como objetivo principal, determinar um estudo hidrometeorológico na Bacia do Rio Mundaú, levando-se em consideração os dados de precipitação observados em 14 postos distribuídos entre Alagoas e Pernambuco e 1 posto de medição de vazão. Dentre tal objetivo, analisou-se a precipitação e vazão máxima na bacia, período de retorno e determinação da curva chave da mesma.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ADRADE e NERY (2002), analisaram de forma preliminar a precipitação pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí-PR, utilizando dados de precipitação obtidos através da Agência Nacional de Energia Elétrica. Eles analisaram 13 séries de precipitação, considerando a distribuição temporal e espacial das séries climatológicas. Também fizeram a análise estatística dos parâmetros e utilizaram-se do “Software Surfer” para construção de isoietas de precipitação e para a elaboração de mapas com as localizações dos postos de coletas de dados, confirmando que a região de estudo sofre influência dos fenômenos El Niño e La Niña na sua precipitação.

ALVES, L.M. et al. (2000) analisaram a intensidade máxima de chuvas no Estado da Paraíba, utilizando dados pluviográficos do banco de dados da (SUDENE), para 11 postos dentro do Estado. Os dados dos pluviogramas foram digitalizados, servindo como base para o procedimento das intensidades para as várias durações. Foi desenvolvido um programa para realizar a homogeneização das durações para o cálculo da intensidade.

Observaram que no período estudado (1981 - 1987), o ano de 1985 se destaca pelo fato de que quase todos os postos apresentam o maior número de casos de chuva moderada e de chuvas fortes, enquanto que de 1981 a 1983 há poucos casos das duas categorias. Também notaram que os postos do Litoral, Agreste e Alto Sertão, apresentam maior número de casos de chuvas moderadas em comparação com as demais regiões.

ALVES & REPELLI (1997) – comentam em seus estudos que o fenômeno EL NIÑO provoca na circulação de grande escala da atmosfera terrestre uma grande diferença de pressão entre os setores Centro-Leste (Tahiti) e Oeste (Darwin), no Oceano Pacífico Tropical, induzindo também o aquecimento dessas águas geralmente frias, causando anomalias climáticas em várias regiões do globo.

AMORIM et al (2002), determinaram o período de retorno da precipitação pluviométrica por meio da distribuição de Gumbel para a região de Cascavel – PR, através de totais anuais de precipitação, esses dados foram plotados no papel de percentagem de distribuição de Gumbel para ajustar a série de valores anuais de precipitação segundo a curva normal. Observaram que a precipitação da região é bastante influenciada pelos fenômenos El

Niño e La Niña, constataram também que a intensidade máxima de precipitação esperada para essa região é de 5420 mm com um período de retorno de 10 000 anos, com 99,99%, de 4220 mm para um período de retorno de 50 anos, com 98 % de probabilidade.

ASSIS et.al. (1996), define como período de retorno o tempo médio decorrido entre as ocorrências de um evento que excede ou iguala-se a uma certa magnitude, ou seja, o período de retorno é o inverso da probabilidade de ocorrência de um determinado evento.

ATAÍDE et al (2002), realizaram um balanço hídrico e estimaram o micro-clima da *Bacia do Rio Urucu (AM)*. A capacidade de água disponível no solo adotados foi de 125mm, com base na não especificidade da cultura a ser plantada e por ser um valor médio entre a necessidade hídrica de uma cultura sensível e uma plantação de floresta. Após a organização dos dados, obtiveram a média mensal para os parâmetros de temperatura e precipitação, os quais foram inseridos no programa BALHÍDRICO, de onde saíam os resultados do micro-clima da região.

BARBOSA & FILL (2001), aplicaram um modelo de previsão de vazão baseado no hidrograma unitário. Esse modelo foi dividido em várias etapas devido os problemas e dificuldades na obtenção dos parâmetros envolvidos. Foram testados três modelos, do SCS , modelo de chuva de infiltração e um modelo de coeficiente de escoamento para o cálculo da precipitação efetiva, foi proposto o modelo de atualização das previsões, feita pela correlação do escoamento de base.

Eles observaram que o hidrograma unitário, apesar das restrições ofereceu bons resultados particularmente no caso de cheias de pequena e média magnitude, sendo que nas bacias de grandes magnitudes houveram erros devido a grande heterogeneidade da bacia e também devido à área de drenagem ser muito grande além de existirem erros na estimativa da precipitação média da bacia, e a utilização de um único hidrograma unitário e adoção de coeficiente de escoamento constante para a determinação da chuva efetiva.

BRANDÃO & FERREIRA (2000), fizeram o estudo da melhor compreensão do comportamento hidrológico da bacia do rio Pararangaba-SP. Para tanto, foram determinadas as principais características físicas da bacia e foi realizado um estudo empírico para avaliar o impacto da urbanização. Os resultados encontrados serviram de base para a elaboração da segunda parte do estudo, que trata do estabelecimento de critérios de amostragem temporal para a observação simultânea de chuva e vazão. Os valores encontrados para o fator de forma

e para o coeficiente de compactidade indicam que a bacia do Pararangaba não é muito sujeita a inundações devido à sua forma alongada. Porém, os índices de drenagem indicam que a bacia do Pararangaba é muito bem drenada, o que concorre para a rápida concentração da água da chuva no leito dos rios. Isto, em conjunto com os valores encontrados para os índices de declividade e com o tamanho da bacia, faz do Rio Pararangaba uma área sujeita a inundações.

BERNADO, S. O. (1999), tentou reunir uma descrição dos fenômenos responsáveis pelo clima singular da Costa Leste do Nordeste brasileiro, incluindo seus meses mais chuvosos e menos chuvosos e os sistemas responsáveis pela pluviometria dessa região.

BRUSA & CLARKE (1999), utilizaram registros de sete postos pluviométricos localizado na bacia hidrográficas do Rio Ibicuí – RS, sendo que para cada estação existiam pares de valores cota – vazão obtidos mediante medidas de vazão em campo. Procuram expurgar erros nos dados realizando duas filtragens com a finalidade de eliminar observações que foram realizados no mesmo dia ou muito próximos. Após estas filtragens os pesquisadores consideraram inicialmente o problema de determinação do intervalo de confiança que era de 95%, para estimativa de  $Q_{m\acute{a}x}$ , a descarga máxima ( $h_{m\acute{a}x}$ ) que foram utilizados para definir a curva – chave. Os resultados obtidos mostraram que as incertezas expressam em termos de um intervalo de confiança de 95% para as vazões estimadas, não são pequenas, e as incertezas são maiores ainda quando é levada em consideração a incerteza na estimativa de outros parâmetros.

CARDOSO & DIAS (2002), verificaram a relação de alguns rios do Estado de São Paulo e anomalias de TSM no Atlântico e Pacífico, utilizando médias mensais de TSM do Coprehesive Ocean - Atmosfere Data Set (COADS), com resolução espacial de  $1^\circ$  por  $1^\circ$  e médias mensais de dados climatológicos de vazão de rios, oriundos do Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE). Eles basearam-se em métodos estatísticos explorando o uso de análise de correlação simples para avaliar a relação entre as vazões desses rios e a TSM dos Oceanos Atlântico e do Pacífico e verificar as áreas onde ocorrem essas relações. Utilizaram-se também da análise de componentes principais sobre médias sazonais de TSM do Oceano Atlântico e Pacífico, para reduzir de forma eficiente o número de variáveis. Os autores observaram que em geral houve uma boa correlação entre a TSM e as vazões desses rios, sendo que as áreas dos oceanos que mais apresentaram correlações foram toda a faixa tropical do Oceano Pacífico e a parte sudoeste do Oceano Atlântico.

COELHO & OLIVEIRA (2000), aplicaram um dentre vários métodos hidrológicos presentes na literatura usual, para transportar com certo grau de segurança o excesso de precipitação resultante, principalmente, de tempestades em pequenas áreas urbanas, objetivando estimar a vazão máxima de drenagem pluvial da microbacia urbana, situada no bairro da Pajuçara em Maceió – Alagoas. Para isso, foram adotadas as precipitações intensas com tempo de retorno de seis meses e tempo de concentração da bacia igual à duração da tempestade. O método utilizado apenas estimou as vazões, considerando que parâmetros de grande complexidade foram resumidos, quando assumiram que 70% da chuva seria transformada em vazão.

COSTA et al. (1998), estudaram a variabilidade diária da precipitação em áreas de pastagem e floresta na região amazônica, utilizando-se dos dados obtidos no projeto ABRACOS em Ji-paraná -PA, durante o trimestre mais chuvoso (janeiro/fevereiro/março). Os resultados encontrados indicaram que ocorre uma maior precipitação (em volume de água) na área de floresta, em relação à área de pastagem, de aproximadamente 28%. Na área de pastagem, ocorreu uma concentração acentuada de eventos chuvosos entre 13-18HL, com 33,5% dos casos. Na área de floresta, a maior concentração observada foi à tarde, no entanto há um equilíbrio entre o período diurno (7-18 HL) e noturno (19 – 6 HL) com respectivamente 51,2% e 48,8% dos casos.

DIAS et al. (2000), estudaram o ciclo diário e sistemas produtores de precipitação em Rondônia, analisando a variabilidade diária de precipitação que ocorreu durante o experimento LBA-TRMM (janeiro e fevereiro de 1999), com ênfase em caracterizar os períodos de maior frequência de precipitação, e também o de associar a ocorrência de alguns eventos chuvosos importantes com mecanismos meteorológicos atuantes na região.

Eles elaboraram gráficos de isoietas para os dias críticos, utilizando-se o programa Surfer, que permitiu uma análise complementar de como a distribuição de precipitação ocorreu na região. A impossibilidade de identificar a propagação de mecanismos produtores de precipitação deve ser associada ao fato de que muitos eventos de precipitação são formados na região e não oriundos de fora.

DICKINSON, R. E.; HENDERSON-SELLERS (1998), mostraram que uma drástica mudança na cobertura vegetal de uma região resulta na alteração do balanço de energia e conseqüentemente pode gerar mudanças no balanço hídrico local, como por exemplo, a

Amazônia que vem sofrendo alterações no seu ciclo hidrológico devido o grande desmatamento de extensas áreas.

GALVÍNIO & SOUSA (2003), obtiveram a regionalização da precipitação sobre a bacia hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa -PB, utilizando média anuais de precipitação em 20 postos pluviométricos, localizados na bacia, durante o período de 1965 a 1996. Tais dados foram cedidos pelo Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG e Laboratório de Meteorologia e Sensoriamento Remoto (LMRS) do Estado da Paraíba. Fizeram análise de agrupamento, de acordo com o método utilizado na bacia hidrográfica, a qual possui dez (10) sub - regiões pluviometricamente homogêneas, e que esse estudo foi essencial para a identificação do comportamento anual da precipitação pluvial média da bacia em estudo.

GALVÍNIO & SOUSA (2002), determinaram a precipitação máxima provável com duração de um dia no Estado da Paraíba, utilizando para isso os valores de precipitação máximas diárias e anuais com amostras de 33 a 75 anos, em 72 postos distribuídos na área do Estado da Paraíba.

Utilizaram-se do método estatístico de HERSFIELD (1951), adaptado por CHOW (1961), para a estimativa da precipitação máxima provável, a qual sugere a aplicação da fórmula de distribuição de frequência para análise hidrológica. Os mesmos utilizaram o teste de Menn - Kendall, para verificar a não homogeneidade nas precipitações máximas diárias e anuais dos 72 postos estudados. Os pesquisadores constataram que dos postos pluviométricos observados 80% das precipitações máximas diárias e anuais eram menores que 100 mm, também perceberam que o coeficiente de variação (CV %), é diferente mesmo em postos vizinhos. Obtiveram as precipitações máximas prováveis para estimar um fator de frequência (K) de cada posto e concluíram que não se deve usar as estimativas de valores de precipitação máximas prováveis como base no fator de frequência local, para dimensionar extravaso de barragens de terra e concreto, pois o período de retorno é muito pequeno. Logo pode-se utilizar, por exemplo, para galerias de águas pluviais.

GOMES (1996 - 1997), constatou um aumento de vazão para o ano de 1977, para a estação fluviométrica da Fazenda Boa Fortuna, em Rio Largo-AL, e mostrou que houve uma maior incidência de chuvas nesse mesmo período, sendo o mês de maio responsável por quase 25% do total anual.

JUNIOR (1999), mostrou que à medida que, nos afastamos da costa litorânea, os índices pluviométricos diminuem, fazendo com que haja uma maior variabilidade espacial da precipitação em relação a regiões litorâneas e regiões no interior do continente.

JUNIOR (2001), mostrou que a época de ocorrência de maior frequência dos valores mais elevados de chuva diária em Maceió-AL, corresponde ao trimestre consecutivo mais chuvoso de abril, maio e junho, equivalente a 50% do total anual de chuva e o trimestre menos chuvoso outubro novembro e dezembro, equivalente a 8% do total anual. Observou também que outras regiões situadas no extremo leste do nordeste do Brasil, Maceió não apresenta relação entre o regime de chuvas com os fenômenos de EL NIÑO e LA NIÑA.

JÚNIOR & PACHECO (2001), Analisaram a distribuição de probabilidade, período de retorno e risco permissível de valores extremos de descarga máxima de 24 horas da estação hidrométrica de Belo Horizonte, localizada na Bacia do Rio Xingu-Pa. Observaram os valores extremos de descargas máximas, utilizando-se da distribuição de probabilidade de Fisher-Tippel ou distribuição de Gumbel, levando em consideração quatro métodos diferentes para o cálculo dos parâmetros de probabilidade.

MARQUES & PINHEIRO (2000), fizeram análises das chuvas máximas em 24 horas na área do Maracanã (RJ). Foram utilizados registros diários de chuva a partir de anotações realizadas no período de fevereiro de 1991 a março de 2000. Para cada mês identificaram as chuvas máximas, gerando-se listagens de valores decrescentes das chuvas máximas. O mesmo procedimento foi adotado para a obtenção da chuva máxima em 24 horas para cada ano da série. Eles mostraram algumas características climatológicas de precipitação, especificamente a chuva, incluindo a estimativa de probabilidades de ocorrências dos valores extremos observados a cada ano.

MEDEIROS & MOLION (2002), estudaram a influência do clima global nas descargas da Bacias hidrográficas do Estado de Alagoas. Os autores utilizaram dados mensais de uma série histórica de vazão (1978 - 1998), sendo que para a Bacia do Rio Mundaú, foi utilizada uma série de 25 anos (1974 - 1998), obtidos através da agência Nacional de águas (ANA), para três bacias, (Bacia do Rio Cururipe, Bacia do Rio Mundaú e Bacia do Rio Paraíba). Os autores citaram um índice de descarga do rio (IDR), baseados nas vazões das séries, fazendo logo após uma correlação utilizando as séries de IDR e Índices de Oscilação Sul (IOS), (IDR X IOS), objetivando a verificação de possíveis influências da circulação de

grande escala nas vazões e determinar um possível algoritmo que permita utilizar o IOS como previsor de cheias e secas para esses rios, concluindo que o IOS parece não oferecer, de maneira geral, potencial preditor para as vazões dos rios alagoanos.

MELO (1987), analisando as características da precipitação de Maceió-AL, observou que a precipitação média diária não é representativa em decorrência da grande variação de distribuição temporal da mesma, entretanto, verificou que a precipitação máxima diária contribui de forma significativa para o acumulado mensal.

MELLO et al (1994), comentaram que o impacto ambiental decorrente de chuvas intensas diárias tem sido motivo de grande preocupação para técnicos e administradores ligados ao planejamento e à ocupação do espaço geográfico, seja ele rural ou urbano

MELO et. al (2003), mostraram que há uma tendência significativa de incremento do total de precipitação no verão em Araras-SP, e que existe tendência significativa de redução do número de dias de chuva em cada ano e também do aumento do valor médio anual de precipitação, em  $\text{mm.dia}^{-1}$ , durante o período de pesquisa. Fizeram sugestões de para uma estudo mais abrangente da área para que se possa verificar se as tendências são observadas em períodos maiores em uma região maior do Estado de São Paulo.

MOURA et al. (2003), mostraram que a maioria dos estados do nordeste brasileira sofre influências dos ENOS e do Dipolo, com a Bahia e Sergipe apresentando o menor impacto, mostrando também que uma avaliação sinótica da circulação troposférica sobre o Oceano Atlântico Sul e Oceano Pacífico, subsidiada com maiores informações, que é de importância fundamental para um melhor monitoramento da precipitação do setor leste do nordeste brasileiro.

NERY et. al (2003), caracterizaram a precipitação na Bacia do Rio Ivai -PR. Utilizaram vários parâmetros estatísticos, a fim de explicar a variabilidade pluviométrica na bacia. Também efetuaram o balanço hídrico através do método de THORNTHWAITE & MATER, de algumas localidades para demonstrar a influência dos eventos EL NIÑO e LA NIÑA na disponibilidade hídrica da região. Os pesquisadores concluíram que a bacia do Rio Ivai é influenciada pela variabilidade interanual (EL NIÑO e LA NIÑA).

NERY et. al. (2003). fizeram o estudo do dias de chuva na Bacia d'ório Uruguai -RS, utilizando dados de precipitação diária no período de 1972 a 2001, os quais foram fornecidos

pela Agência Nacional de Águas (ANA). Os pesquisadores realizaram cálculos de números de dias de chuva para o período de estudo e para alguns anos de EL NIÑO e LA NIÑA, trabalhando esses dados em programa de linguagem C e FORTRAN, além de traçarem isoietas utilizando o Software Surfer, a partir do método de interpolação de Kriging, para uma melhor distribuição das mesmas. Foi observado que a frequência de chuvas na Bacia é máxima nos meses de janeiro e fevereiro na sua montante e o trimestre de janeiro a março apresenta maior frequência de chuvas, para o período estudado. Também notaram que o número médio de precipitação pluvial em seus valores anuais sofre alterações positivas durante os eventos EL NIÑO, especialmente a montante da bacia, enquanto que os eventos LA NIÑA, apresentou pequena variação negativa, também a montante.

NERY (1996), estudou diversas situações de precipitações extremas envolvendo casos de El Niño/Oscilação Sul e as anomalias climáticas associadas com o mesmo, chegando a encontrar diferentes regiões de precipitação mensal associadas com o ENSO, com relação a outros autores. Os pesquisadores realizaram cálculos de números de dias de chuva para o período de estudo e para alguns anos de EL NIÑO e LA NIÑA. Observaram que a frequência de chuvas na região de estudo, é máxima nos meses de janeiro e fevereiro.

NEVES (2001), aplicou um modelo estatístico de previsão hidrométrica na Bacia do Rio Capim em Badajós –Pa. Utilizou dados de precipitação total diária e mensal, para a estimativa da precipitação média, pelo método de THIESSEN, para um período de 10 anos (1990 – 1999) e também utilizou dados fluviométricos para a estimativa das características mensais e anuais do regime hidrológico, num período de 18 anos (1982 – 1999).

Esses dados foram utilizados para a calibração da curva – chave. Assim como dados diários de níveis pluviométricos e de precipitação de 1997 – 1999. Na elaboração dos modelos estatísticos, foram utilizadas as precipitações médias diárias com defasagem de 2 a 4 dias. O autor mostrou que a utilização dos métodos estatísticos de correlação linear simples e múltipla, forneceram bons resultados de previsão de níveis com média de 2,4 dias de antecedência, com erros desprezíveis. Coeficiente de correlação em torno de 0,98, justificando o uso da técnica para a previsão na Bacia do Rio Capim.

OLIVEIRA (1985), observou que o trimestre mais chuvoso para o nordeste brasileiro foi registrado nos meses de maio, junho e julho, e que o trimestre mais seco para a região do

sertão do São Francisco se fizeram em setembro, outubro e novembro, e para a região do agreste, litoral e zona da mata foram nos meses de outubro, novembro e dezembro.

PONTES et. Al (2003). fizeram o monitoramento das chuvas máximas na Bacia do Rio Paraíba do Norte, utilizando dados totais diários da precipitação pluviométrica, durante o período de 1994 a 2001, de aproximadamente 70 localidades distribuídas na bacia. Eles escolheram o maior valor total diário de precipitação pluviométrica de cada mês para cada localidade. Com esses dados foram elaborados arquivos com máximos diários de precipitação. Os meses de Janeiro e Maio apresentaram maiores valores de precipitação máxima diária, por outro lado às chuvas do mês de Abril são pouco intensas, porém frequentes.

RAMOS & CONDE (1998), determinaram a precipitação máxima provável em Belém do Pará. Os autores utilizaram dados meteorológicos da estação meteorológica da Universidade Federal do Pará de 1983 a 1993.

Os autores fizeram uma seleção das 10 maiores precipitações ocorridas na área ou que poderiam ter ocorrido sob condições meteorológicas diferentes. Fizeram também a maximização dessas precipitações em virtude de condições meteorológicas críticas que poderiam ocorrer na região. Com base nesses valores, calcularam os valores críticos da altura e duração, definindo a precipitação máxima provável para uma certa área. Observaram que a precipitação máxima provável (PMP), obtida por esta sistemática, ou por métodos análogos, aproximam-se do limite físico que se procura definir para a precipitação de uma área e que o valor e o grau de confiança dos resultados são funções, por um lado, do número e da qualidade dos dados básicos, e por outro lado, do conhecimento imprescindível das características meteorológicas da região e das leis da meteorologia em geral.

RATISBONA (1964), mostrou que o nordeste brasileiro, de acordo com o índice de umidade criado por Thornthwaite (1948), foi dividido em três zonas com climatologia distintas, a caatinga, a semi-árida e a árida.

REICHARDT et. al. (1995), mostraram que a precipitação apresenta uma grande variabilidade espacial e temporal. No caso da variabilidade espacial é importante conhecer que uma estação meteorológica é apenas um ponto de amostragem, que muitas vezes tem uma determinada representatividade.

ROCHA ( 1985), constatou que a precipitação média total anual no Estado de Alagoas apresentou grandes amplitudes, variando entre 476,3 mm na cidade de Piranhas, até 1812,6 mm em Quebragulhos.

ROSSATO et al (2003), fizeram uma comprovação científica na região central do Rio Grande do Sul, na qual já era observada por antigos moradores da região (crença popular) de que as enchentes de setembro ocorrem próximo ao dia de “São Miguel” o que, historicamente, comprometia a realização de festas religiosas nas comunidades rurais da região. Dai surgiu a percepção de que em setembro acontecem essas enchentes, tornando-se importante o conhecimento popular da região de estudo.

SÁ (2002), gerou mapas mostrando o grau de degradação ambiental para cada um dos estados do nordeste brasileiro e enfatizou o nível de severidade com que eles aparecem, utilizando-se de análise e integração de informações científicas já existentes, bem como, de outras levantadas para este fim. Observou que a área afetada por degradação ambiental a nível elevado é de mais de 20 milhões de ha, ou seja, cerca de 12% da área do NE.

SANTOS; et al. (2003), aplicaram a modelagem e caracterizaram morfométricamente a Bacia do Rio Turvo Sujo, Minas Gerais, com dados gerados no Software IDRISI, através de uma mesa digitalizadora, além de cartas topográficas da região. Os pesquisadores digitalizaram os dados utilizando o AUTOCAD, armazenando no formato DXF. Os autores observaram que existe menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda a extensão da bacia, e juntamente com o fato da contribuição dos tributários atingirem o curso d'água principal em vários pontos, a Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo constitui uma área não muito sujeita a enchentes, observando também que a modelagem do terreno resultou em eficiência e confiabilidade, permitindo realizar a modelagem hidrológica e a análise morfométrica da bacia.

SANTOS, (2001), afirmou que o conhecimento da ocorrência de chuvas máximas diárias é de suma importância para o planejamento das atividades da pecuária, pois dependendo da distribuição e intensidade da precipitação durante o ano, podendo inundar abruptamente as áreas mais baixas do Pantanal. Estas áreas possuem forrageiras de melhor qualidade para alimentação bovina, o que trás efeito direto à produtividade animal.

SERIANO & GALDINO (2003), analisaram as chuvas máximas na sub – região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso, utilizando dados diários de precipitação coletados na

estação climatológica de Nhumirim, que tem convênio com o INEMET (7º DISME), considerando 26 valores de chuva máxima de 24 horas anual relativos ao período de 1977 a 2002. Foi utilizado o método dos momentos para estimar os parâmetros da função de probabilidade de Gumbel, e o período de retorno de chuvas máximas. Notaram que, em média a cada 100 anos ocorrerá na área de estudo uma chuva diária que corresponde a 12,7% do total médio anual para a sub – região da Nhecolândia.

SEPLAN –AL (1994), mostra que os problemas de enchentes são freqüentes na Bacia do Rio Mundaú, e mesmo sendo as cabeceiras dos rios são temporárias, mostra também que a coincidência de marés altas e o aumento do escoamento nos rios agravam as inundações, aumentando o perigo para as cidades localizadas às margens da lagoa, a qual o Rio Mundaú deságua.

SILVA, et, al.; (2000), analisaram os valores extremos máximos de precipitação de 24 horas para a Cidade de Belém – Pa, utilizando a distribuição de probabilidade de Fisher – Tippett ou distribuição de Gumbel, proporcionando subsídios aos profissionais de diversas áreas, como Engenharia, Hidrologia e Climatologia em suas obras. Utilizaram uma série climatológica de 30 anos de precipitação da cidade de Belém, correspondente aos anos de 1967 a 1996. Os autores certificaram-se de que os métodos utilizados proporcionam aos profissionais uma total confiabilidade.

SILVA & TUCCI (1998), utilizaram duas metodologias para determinar a relação entre a vazão máxima instantânea e a maior das duas leituras diárias. A primeira metodologia apresenta com base a organização dos dados de quatro estados brasileiros (38 sub-bacias). A segunda metodologia apresenta um modelo hidrológico, que considera a precipitação e as principais características da bacia. Inicialmente os autores pré-selecionaram 59 bacias hidrográficas nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo, onde resultaram em 38 postos após uma seleção mais detalhada. Os resultados com base nos dados disponíveis foram frustrantes à medida que não produziram uma relação definida para a utilização na região em análise. Na avaliação do coeficiente com base em modelo hidrológico, inicialmente foram formulados cada um dos elementos da modelagem para após ser definida a referida equação de tais parâmetros (de precipitação e da bacia). Os resultados mostraram que a metodologia apresentada é uma alternativa promissora, apesar de algumas limitações tais como: baseia-se na estrutura de um modelo matemático, o que implica na introdução de outro tipo de incerteza e a definição do período de retorno com base na precipitação, que é diferente

do período de retorno da vazão. Dados observados e para algumas cidades brasileiras mostraram que o método matemático pode ser utilizado para reduzir as incertezas na determinação da vazão máxima instantânea.

SILVA et. al (2003), monitoraram as chuvas máximas na Bacia do Rio Piranhas – PB, através de dados de totais diários de precipitação do período de 1994 a 2002, oriundo do banco de dados do Laboratório de Meteorologia e Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto (LMRS), do Estado da Paraíba, fazendo um levantamento da maior precipitação diária de cada mês, num total de 96 meses, onde foi escolhida a maior precipitação total diária de cada mês do ano, finalmente elaboraram um arquivo contendo os maiores valores diários de precipitação de cada localidade da bacia. Observaram que a precipitação máxima diária que segue o ciclo médio anual das chuvas, onde o mês de janeiro apresentou valores superiores aos de fevereiro e maio superiores ao de abril. Enquanto o ciclo anual médio as chuvas de fevereiro foram superiores ao de janeiro e as de abril superiores a de maio, devido à atuação dos vórtices ciclônicos da alta troposfera. Em janeiro, devido à interação da Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT) e dos sistemas de Leste. Enquanto em maio, ocorreu a formação de convecção de mesoescala.

SILVAPALAN e BLOSCHL. (1998), comentaram em seu trabalho sobre a importância das curvas de intensidade, duração e frequência da precipitação para o uso da derivação empírica de áreas reduzidas, e que as curvas de intensidade, duração e frequência se adaptaram bem a distribuição de valores extremos de Gumbel.

SOUZA (1989), comentou que a distribuição da precipitação em Alagoas acontece com os maiores valores sendo observados no litoral, seguido da região do agreste e logo após do sertão, mostra também que o horário de ocorrência de precipitação, no litoral acontece no período entre 21 e 09 horas, ou seja, no período noturno.

SOUZA-FILHO (2002), comentou que os estudos climáticos relacionados à sua influência na vulnerabilidade do cultivo agrícola e intermitência hidrológica interanual dos reservatórios hídricos do NEB tem tido uma evolução significativa nesses últimos anos. O entendimento de como fatores climáticos-sazonais extra-região, como por exemplo: fontes e sumidouros térmicos nos oceanos Pacífico e Atlântico tropicais associado aos fenômenos El Niño e La Niña e Dipolo de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), estão relacionados a variabilidades desses dois sistemas hoje são mais conhecidos em sua íntegra.

TESHIMA & SILVA (1999), avaliaram a distribuição de probabilidade de valores extremos da precipitação máxima de 24 horas de Belém –Pa. calcularam os valores extremos de precipitação baseado na distribuição de Gumbel ou de Fisher – Tippet. Fizeram estimativas dos parâmetros da distribuição realizada para quatro métodos diferentes: (Método dos Momentos; Método da Regressão; Método de Lieblein e Método da Máxima Verossimilhança), obtendo a precipitação máxima provável para 90% e 95% dos casos.

VIANELO (1991), afirmou que a região do nordeste brasileiro apresenta uma constante termal e um clima semi-árido, assim como caracteriza-se por apresentar uma variabilidade interanual na sua distribuição pluviométrica, e que essa variabilidade é a responsável pelas secas e enchentes que prejudicam sensivelmente a atividade econômica da região.

VILLELA e MATOS (1975), afirmam que a precipitação varia geograficamente e que, o conhecimento da distribuição e das variações das precipitações, tanto no tempo como no espaço, são importantes para o planejamento de recursos hídricos e para estudos hidrológicos. Destacam que os registros de precipitação sugerem uma tendência de aumentar ou de diminuir, considerando uma tendência central à média da amostra.

YAMAZAKI, Y. e RAO V.B (1997), disseram que as ondas de leste são perturbações, em geral de pequena amplitude, observadas nos ventos alísios e atuam no leste do estado e do nordeste brasileiro, principalmente no período de maio a agosto. Também destacaram que o deslocamento dessas ondas se dá de leste para oeste a partir do Oceano Atlântico, daí advindo sua denominação. Apesar da sua pequena amplitude, as ondas de leste podem produzir chuvas intensas e inundações.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA DO RIO MUNDAÚ.

Procurou-se representar alguns aspectos físicos com: Relevo; Rede de Drenagem; Vegetação e Solo, para caracterizar melhor a região da Bacia do Rio Mundaú.

A Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú apresenta uma área total de 4.102,6 Km<sup>2</sup> distribuída em 30 municípios dos Estados de Pernambuco e de Alagoas como mostrado na Figura 01.

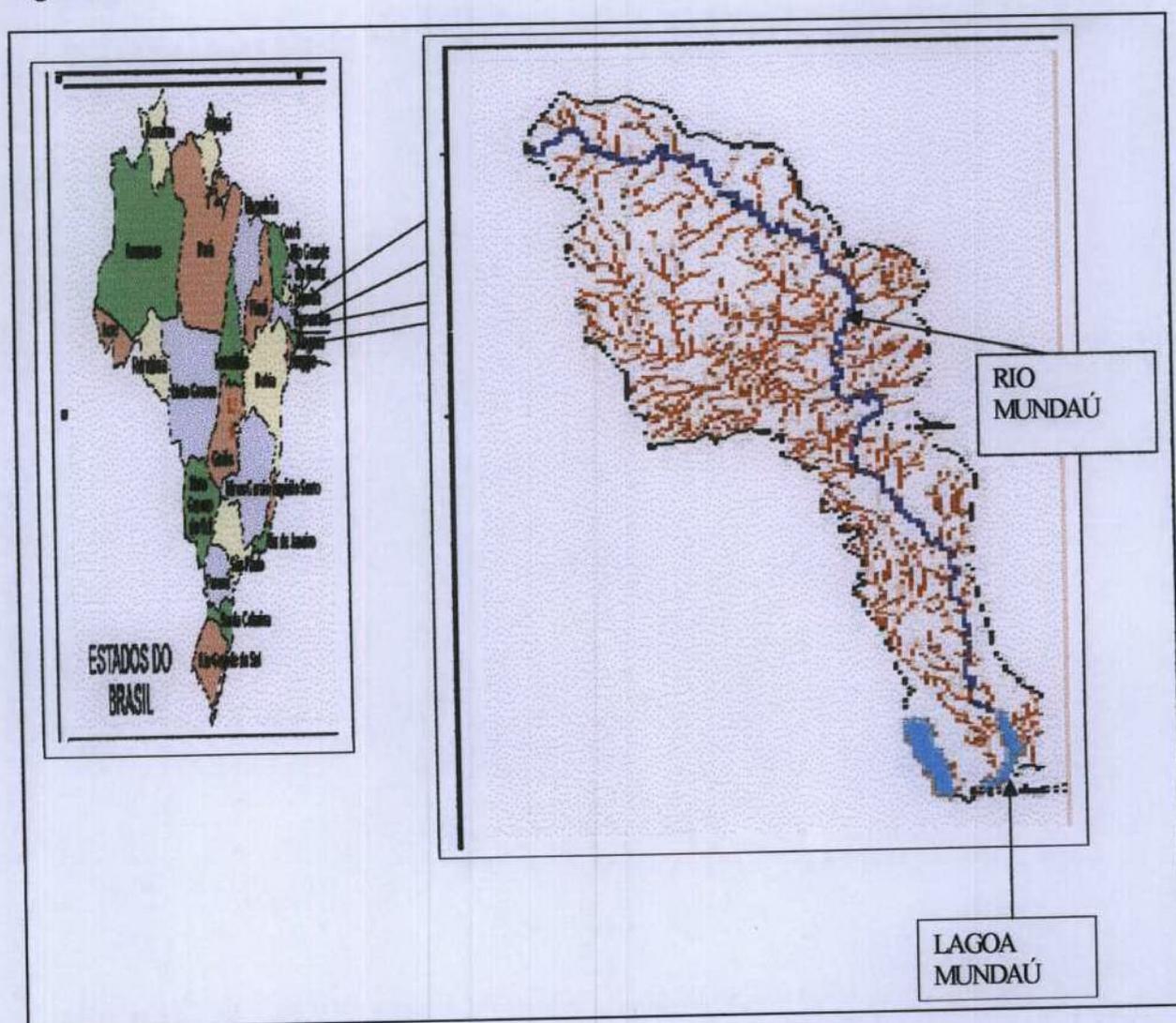


Figura 01 – Localização Geográfica da Bacia do Rio Mundaú.

Em Alagoas a bacia é distribuída pelos seguintes municípios: São José da Laje, Santana do Mundaú, Ibateguara, União dos Palmares, Branquinha, Capela, Murici, Messias, Atalaia, Pilar, Rio Largo, Satuba, Santa Luzia do Norte, Maceió, e Coqueiro Seco. Em Pernambuco os municípios são: Garanhuns, Brejão, Lagoa do Ouro, Correntes, Cactés, Capoeiras, Jucati, Jupi, Calçado, Lagedo, Jurema, Canhotinho, Angelim, São João e Palmeirina.

O Rio Mundaú é perene e tem uma vazão média de 30,6 m<sup>3</sup> /s. Na maior parte da bacia, predomina o clima tipo As ("pseudotropical") segundo Koppen, quente e chuvoso, com verão seco e temperaturas médias anual de 24° C e chuvas acima de 900 mm (MEDEIROS, 2002).

O Estado de Alagoas está localizado na região centro - oriental do nordeste brasileiro, fazendo limite ao norte com. Estados de Pernambuco, ao sul com Sergipe, a oeste com Pernambuco e Bahia e a leste limita-se com o Oceano Atlântico, ocupa uma área de 27.793 Km<sup>2</sup>, divididos em 102 municípios, localizados entre os meridianos de 35° 09'W e 38° 13 'W e os paralelos de 08° 48 'S e 10° 29 'S (Gomes - 1997) Possuindo uma faixa costeira de aproximadamente 230 Km, correspondendo a uma faixa de grande complexidade e dinamismo. (SOUZA et al, 2000).

O clima é caracterizado como tropical e semi-árido na maior parte de seu território. As temperaturas médias anuais são superiores a 24°C e os índices de pluviosidade são inferiores a 1000mm.

Os tipos de vegetação vão da caatinga que constitui a maior parte do território diversificando-se na planície litorânea com o surgimento de mangues e da floresta tropical na região da Zona da Mata.

São três as regiões básicas do relevo alagoano: a região de planalto ao norte, a região de depressão ao centro e a planície litorânea, tendo como ponto mais alto do relevo a Serra de Santa Cruz, que apresenta altitude máxima de 844 metros.

Os principais rios do Estado de Alagoas são o Rio São Francisco, o Rio Mundaú e o Rio Paraíba do Meio (Enciclopédia Digital). Já o Estado de Pernambuco está situado no centro - leste da região nordeste e tem uma área de 98,281 Km<sup>2</sup> mais os 18,2 Km<sup>2</sup> do arquipélago de Fernando de Noronha que, em 1988, foi reincorporado ao seu território.

Limita-se ao norte, com os Estados do Ceará e da Paraíba; a oeste, com o Estado do Piauí; ao sul, com os Estados da Bahia e Alagoas e a leste, com o Oceano Atlântico. Apresenta 184 municípios e está dividido em três grandes regiões geo-econômicas: Litoral / Mata; Agreste e Sertão.

O clima de Pernambuco é caracterizado da seguinte maneira: No Litoral /Zona da Mata, o clima é tropical úmido, com chuvas de outono a inverno, numa média histórica entre 1500 a 2000 mm anuais; na área da caatinga, ou sertão, (que corresponde a dois terços do território estadual), predomina o clima tropical semi - árido, com baixa pluviosidade (média de 600mm anuais), concentrada no verão, mas sujeita a irregularidades que acabam provocando secas prolongadas. A faixa de transição entre a Zona da Mata e o Sertão, a pluviosidade fica entre 650 a 1000 mm anuais.

O Estado dispõe de 13 grandes bacias hidrográficas, mais seis bacias de pequenos rios litorâneos e sete dos chamados pequenos rios interiores. Os rios afluentes do São Francisco (que divide o Estado com a Bahia), como o Rio Moxotó e outros, tem regimes temporários. Os rios que nascem no Planalto da Borborema (como o Capibaribe, Mundaú etc.), são perenes nos seus médios e baixos cursos. ( [www.pernambucodeA-Z.com.br](http://www.pernambucodeA-Z.com.br) )

O trabalho foi realizado utilizando dados diários e mensais de precipitação pluviométrica obtidos de 14 estações na Bacia do Rio Mundaú, correspondentes ao período de 1965 a 1985, cedidos pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), e dados de vazões médias mensais do período de 1974 a 2001 e valores diários de 1965 a 2002, da estação da Fazenda Boa Fortuna, no município de Rio Largo-AL, os quais foram obtidos através da Agência Nacional de Águas (ANA) no período de 1974 a 2001.

### **3.1.1 – RELEVO DA BACIA DO RIO MUNDAÚ.**

As formas de relevo mais comuns são o ondulado a fortemente ondulado, no alto curso do rio. Com algumas “serras” de altitude moderadas inferiores a 1000m, passando a ondulado a suavemente ondulado, no médio curso e finalmente suavemente ondulado a plano no baixo curso (Plano Diretor de Recursos Hídricos PDRH – 1997).

Nas proximidades da costa, o relevo de tabuleiros corresponde principalmente às ocorrências de formação de barreiras que se estendem numa faixa de direção NE-SW.

### 3.1.2 – REDE DE DRENAGEM.

A rede de drenagem do Rio Mundaú é intensa, apresentando seu rio principal com uma extensão estimada de 141 Km. Apresenta como principais tributários em sua parte mais alta, em Alagoas os Rios Canhoto, Jibóia, Inhumas, Caruri e Ingazeira, além de outros rios e riachos localizados no Estado de Pernambuco.

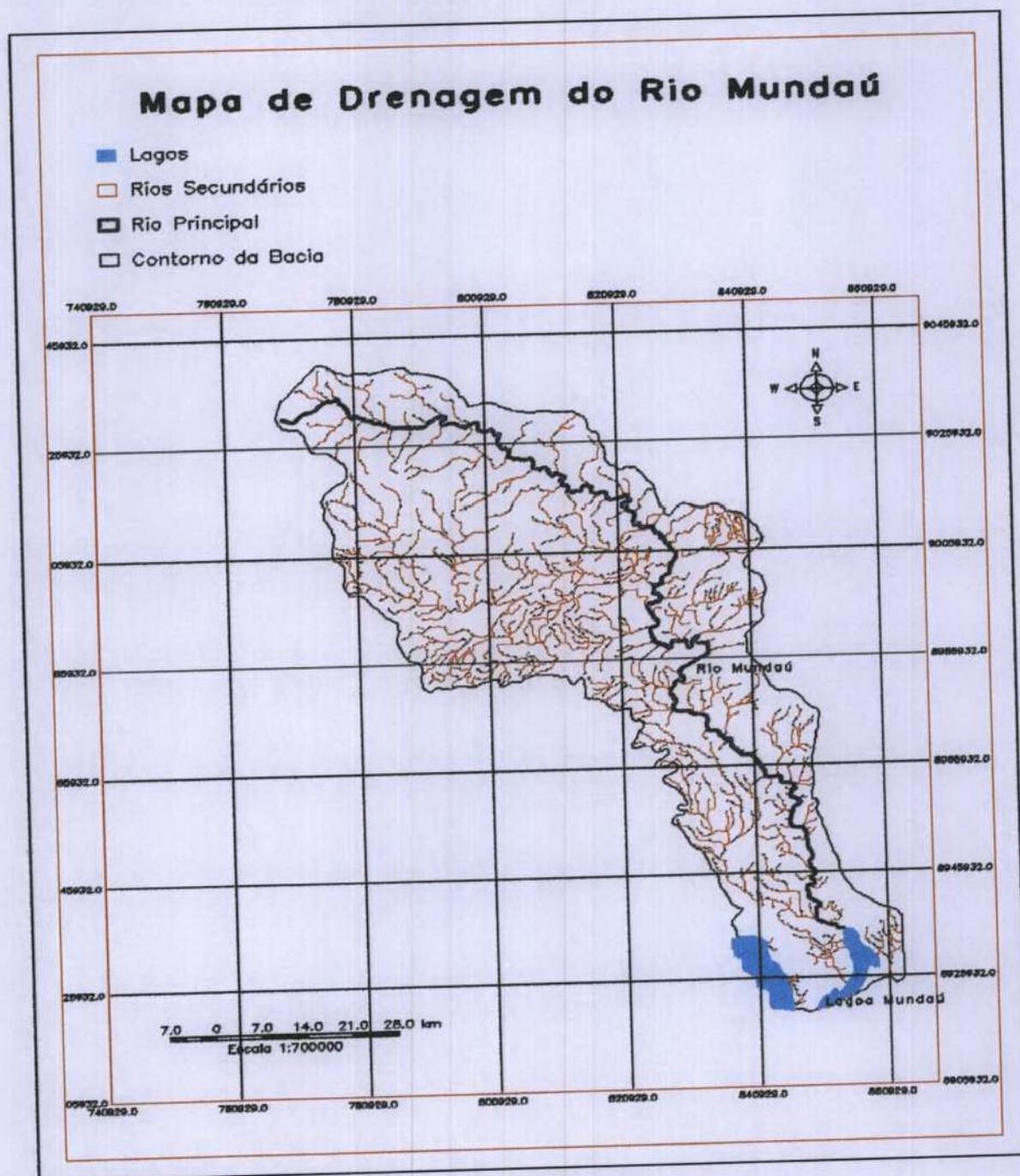


Figura 02 – Rede de Drenagem da Bacia do Rio Mundaú.

### 3.1.3 – VEGETAÇÃO E USO DO SOLO.

A Tabela 01, mostra segundo a (PDRH – 1997), a composição e uso do solo na região da Bacia do Rio Mundaú,

Tabela 01- Tipos de vegetação e uso do solo para a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, com suas classes, áreas (ha) e percentuais (%) correspondentes.

CLASSES	ÁREAS (ha)	PERCENTUAL (%)
Solo Exposto	3.631,05	0,88
Cana Adulta	19.613,79	4,75
Mata	12.475,17	3,02
Veg. Arbórea Fechada	72.380,52	17,54
Cana Jovem	40.521,33	9,82
Veg. Arbustiva Arbórea Aberta	578,88	0,14
Veg. Arbustiva Arbórea Fechada	8.519,85	2,06
Antropismo	215.873,19	52,32
Açude	214,11	0,05
Cana Recém Colida	29.675,07	7,19
Área Urbana	2.934,96	0,71
Uso Não Identificado	6.220,08	1,51

Fonte: PDRH – 1997.

### 3.1.4 - TIPOS DE SOLOS NA REGIÃO DA BACIA DO RIO MUNDAÚ.

A área da bacia comporta diferentes feições fisiográficas, sendo que essa diversidade climática e fisiográfica existente nesta área resultam na ocorrência de solos com características bem distintas conforme a sua posição na bacia, como por exemplo, segundo (PDRH – 1997): Podizólico Vermelho Amarelo Equivalente, Podizólico Vermelho Amarelo Eutrófico, Latosol Vermelho Amarelo Distrófico, Regosol Eutrófico, Regosol Distrófico, Planosol Solódico.

### 3.2 PRECIPITAÇÃO MÉDIA DA BACIA DO RIO MUNDAÚ.

Foi determinada a precipitação média sobre a Bacia do Rio Mundaú, utilizando-se do método dos polígonos de Thiessen. Na aplicação deste método foram utilizadas cinco estações pluviométricas estrategicamente escolhidas, descritas na Tabela 02.

Tabela 02 – Localização geográfica das estações pluviométricas utilizadas para o cálculo da precipitação média da Bacia do Rio Mundaú.

ESTADO	ESTAÇÃO	LATITUDE(°)	LONGITUDE(°)	ALTITUDE(m)
PE	GARANHUNS	08° 53'S	36° 29'W	866
	POÇO COMPRIDO	09° 02'S	36° 25'W	624
	SÃO JOSÉ DA LAGE	09° 01' 67"S	36° 05'W	250
AL	MURICI	09° 31' 67"S	35° 93' 33"W	82
	RIO LARGO	09° 48' 33"S	35° 83' 33"W	62

Fonte: SUDENE

Estas estações foram unidas por linhas retas, que dividiram desta maneira a área total em uma série de triângulos. Foram traçadas linhas perpendiculares ao meio dos lados dos triângulos, formando desta maneira, uma série de polígonos, onde cada polígono possuía um posto pluviométrico, ou seja, qualquer precipitação que houvesse dentro do polígono, seria registrada pelo posto pluviométrico contido nele, resumidamente dizemos que cada polígono é a área de influência de cada posto pluviométrico. As áreas de influência para cada posto estão representadas na Figura 03.

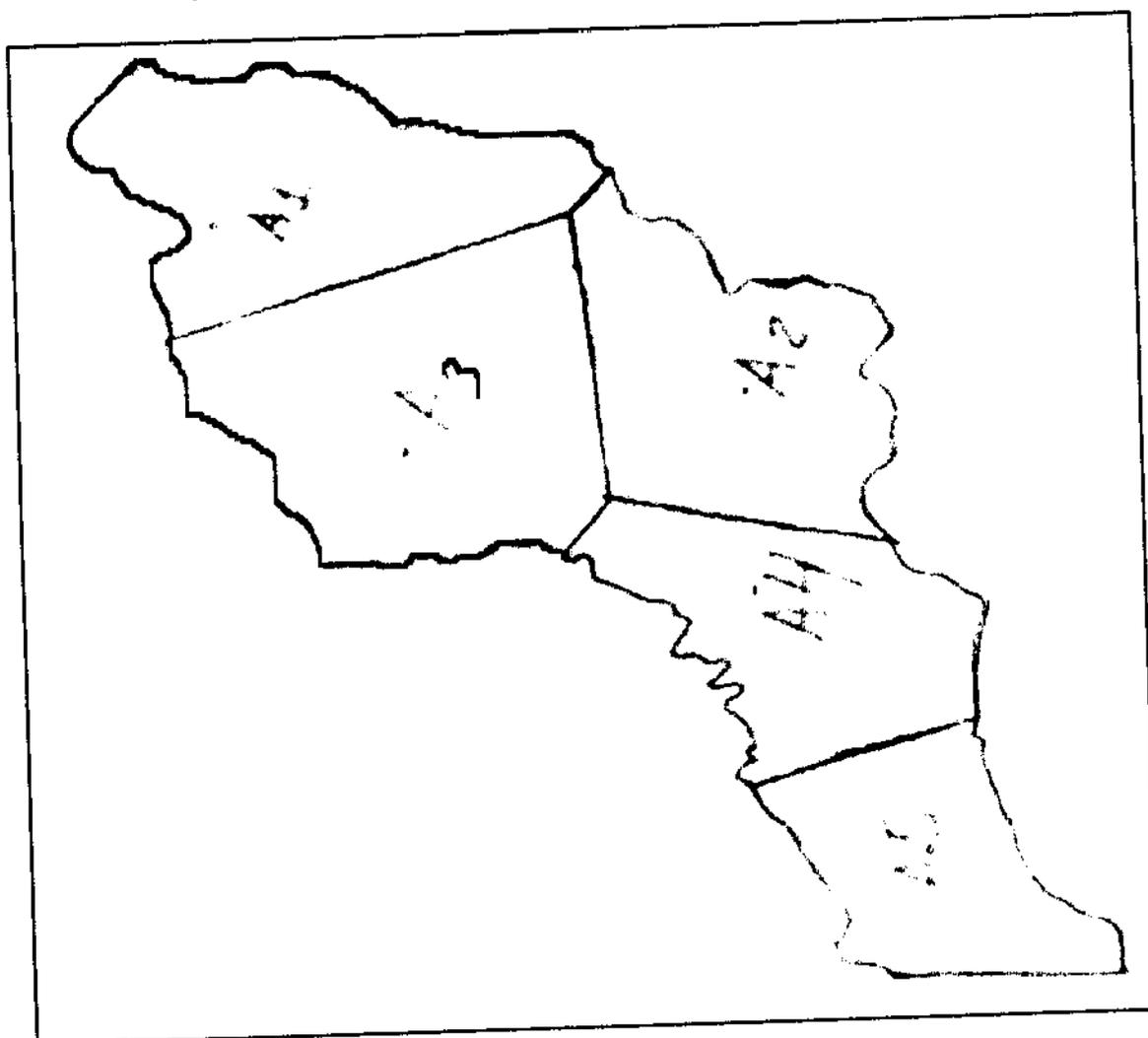


Figura 03 – Áreas de influência encontradas pelo método dos Polígonos de Thiessen na Bacia do Rio Mundaú.

Para o cálculo da área de influência de cada estação foram utilizados dois Métodos:

### 3.2.1-MÉTODO DOS QUADRÍCULOS.

Utilizou-se para este método, uma figura da Bacia digitalizada e impressa em papel A4, na escala de 1: 700000, a qual foi dividida em quadrículos de 2Km de lado. Em seguida foi feita a discretização para a compensação dos quadrículos, tanto para o contorno da Bacia como para a região entre os polígonos. Posteriormente, conferiu-se quantos quadrículos possuía cada área de influência, obtendo-se assim o valor em quilômetros quadrados.

Com os valores das respectivas áreas de influências, e suas precipitações médias, foi aplicado o método dos polígonos de Thiessen, sendo determinado por:

$$P = \frac{A1}{A} . P1 + \frac{A2}{A} . P2 + \dots + \frac{An}{A} . Pn \quad (1)$$

ou

$$\bar{P} = \frac{A1P1 + A2P2 + A3P3 + A4P4 + A5P5}{A_{total}} \quad (2)$$

Onde:

$\bar{P}$  é Precipitação média da bacia, P1, P2, P3, P4 e P5, são as precipitações médias dos postos pluviométricos e A1, A2, A3, A4 e A5, são as áreas de influência de cada posto pluviométrico.

### 3.2.2-MÉTODO DA PESAGEM.

Utilizou-se para este método uma figura da bacia digitalizada e impressa em papel A4, com escala de 1:700.000. Foram recortadas e depois pesadas por uma balança de precisão, tanto a bacia, como as áreas de influências separadamente, sendo que os valores

foram obtidos através de uma regra de três simples, que indica a relação do peso de uma área padrão, pré-estabelecida, com os pesos das áreas de influências da bacia.

Após obter os valores das respectivas áreas de influências, foi aplicado o método dos polígonos de Thiessen, que considera uma variação linear da precipitação entre as estações e designa cada porção da área para a estação mais próxima, sendo determinado pelas equações (1 ou 2).

### 3.3 REGIME DE PRECIPITAÇÃO DA BACIA DO RIO MUNDAÚ.

Após a determinação da precipitação média da bacia, foram elaborados gráficos de variações anuais, variações médias mensais e da variação sazonal da precipitação, utilizando-se de dados de três estações pluviométricas estrategicamente escolhidas, para que representassem de maneira satisfatória a bacia como um todo. As estações estão representadas na Tabela 03:

Tabela 03 - Estações utilizadas para determinação do regime de precipitação média da Bacia do Rio Mundaú e suas latitudes ( ° ), longitudes ( ° ) e altitudes ( m ).

ESTAÇÃO	LATITUDE(°)	LONGITUDE(°)	ALTITUDE( m )
Garanhuns	08° 53'S	36° 29'W	866
Sant. Do Mundaú	09° 10' S	36° 13' W	221
Rio Largo	09° 48' 33"S	35° 83' 33"W	62

### 3.4 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA NA BACIA DO RIO MUNDAÚ.

A distribuição espacial da precipitação na bacia, foi feita através da utilização de dados de médias mensais para 14 estações utilizadas neste trabalho. Foi plotada na área da bacia através do software "surfer (Win 32) versão 7.0", possibilitando a melhor visualização e compreensão da distribuição espacial da precipitação média na área estudada.

### 3.5 - PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL.

A precipitação máxima provável foi determinada utilizando-se 21 anos de dados de precipitação média mensal no período de 1965 a 1985, de três localidades estrategicamente distribuídas na bacia (Garanhuns, Santana do Mundaú e Rio Largo), com o propósito de representar de maneira coerente a precipitação intensa da área de estudo, sendo mostrado na Tabela 04.

Tabela 04 - Precipitações médias máximas anuais das estações de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns na Bacia do Rio Mundaú, no período de (1965 - 1985).

Ano	Precipitação Média Máxima das Estações (mm)		
	Sant. do Mundaú	Rio Largo	Garanhuns
1965	315,00	383,90	211,90
1966	380,00	422,40	259,40
1967	237,00	350,80	152,70
1968	269,00	390,30	126,50
1969	472,00	587,20	182,90
1970	247,00	314,90	142,00
1971	200,00	346,00	164,50
1972	355,40	475,40	212,60
1973	166,10	326,70	120,60
1974	231,40	626,10	144,70
1975	407,30	758,00	251,00
1976	170,60	378,00	177,30
1977	403,40	640,10	276,10
1978	278,70	315,00	213,00
1979	290,90	190,00	122,70
1980	229,50	150,20	139,30
1981	212,10	106,00	297,40
1982	324,60	168,00	224,60
1983	143,80	25,20	98,00
1984	309,50	254,90	236,60
1985	242,80	169,00	216,50

A princípio foi feita a seleção das precipitações máximas mais características das três estações, selecionando-as e escolhendo-as conforme as quantidades médias máximas a serem analisadas. Três critérios poderiam ser utilizados:

- Critério das “séries anuais”, em que as séries são constituídas pelos máximos observados em cada ano, desprezando-se os demais mesmos que sejam superiores às dos demais anos das outras estações;
- Critério das “séries parciais”, em que as séries são constituídas dos  $n$  maiores valores observados para cada duração, sendo  $n$  o número de anos do período analisado;
- Critério das “séries completas”, em que se adotam todos os valores selecionados para a formação das séries.

Foi utilizado o critério das séries anuais para a escolha da série de dados deste trabalho, pois este método mostrou-se mais adequado aos dados para a execução da precipitação máxima provável da bacia, pois a análise de longas séries de observações de precipitações anuais permite a determinação de tendências seculares de precipitação local, assim como, o estudo das variações acidentais ou casuais ocorridas.

A Distribuição de Probabilidade para o cálculo dos valores extremos máximos de precipitações médias anuais, baseou-se na Distribuição de Probabilidade Fisher-Tippet ou Distribuição de Gumbel, que tem como sua função de densidade de probabilidade a forma:

$$f(X) = \{EXP[-(X - \alpha)/\beta] * EXP(-EXP(-[(X - \alpha)/\beta]))\} / \beta, \quad (3)$$

cuja função cumulativa de probabilidade é definida por:

$$F(X) = EXP\{-EXP[\pm(X - \alpha)/\beta]\} \quad (4)$$

Onde  $X$  é a precipitação real do local,  $\alpha$  e  $\beta$  são os parâmetros de estimativas que foram determinados através de três métodos estudados neste trabalho, (Método dos Momentos, Método da Regressão e Método da Máxima Verossimilhança):

### 3.5.1 - MÉTODO DOS MOMENTOS.

As estimativas dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  são baseados nos dois primeiros momentos da amostra, que são a média  $\bar{X}$  e o desvio padrão  $s$ , obtidos pelas seguintes equações:

$$\alpha = \bar{X} - 0,5772\beta \quad (5)$$

e

$$\beta = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s \quad (6)$$

Na Tabela 05, apresentam-se organizados em ordem crescente os valores de precipitação média máxima anual obtidos através da Tabela 04.

Tabela 05 – Valores máximos de precipitação pluviométrica média anual em ordem crescente para as estações de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns, no período de 1965 a 1985.

N	Precipitação média em ordem crescente (mm)		
	Sant. Do Mundaú	Rio Largo	Garanhuns
1	143,80	25,20	98,00
2	166,10	106,00	120,60
3	170,60	150,20	122,70
4	200,00	168,00	126,50
5	212,10	169,00	139,30
6	229,50	190,00	142,00
7	231,40	254,90	144,70
8	237,00	314,90	152,70
9	242,80	315,00	164,50
10	247,00	326,70	177,30
11	269,00	346,00	182,90
12	278,70	350,80	211,90
13	290,90	3780	212,60
14	309,50	383,90	213,00
15	315,00	390,30	216,50
16	324,60	422,40	224,60
17	355,40	475,40	236,60
18	380,00	587,20	251,00
19	403,40	626,10	259,40
20	407,30	640,10	276,10
21	472,00	758,00	297,40

Estas estimativas através do método dos momentos, foi obtida pela função cumulativa de probabilidade para as cidades de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns, respectivamente, da seguinte forma:

$$F(X) = EXP\{-EXP[-(X - 241,05)/67,98]\}; \quad (7)$$

$$F(X) = EXP\{-EXP[-(X - 266,18)/67,98]\}; \quad (8)$$

$$F(X) = EXP\{-EXP[-(X - 163,59)/44,13]\}. \quad (9)$$

As precipitações médias máximas anuais foram obtidas diretamente da equação (10) aplicando-se duas vezes o logaritmo da função, ou seja,

$$-Ln[F(X)] = EXP\left\{-EXP\left[-\frac{(X - \alpha)}{\beta}\right]\right\} \quad (10)$$

para  $F(X) = 90\%, 95\%$  e  $99\%$  dos casos.

### 3.5.2 - MÉTODO DE REGRESSÃO.

O método de regressão foi aplicado igualando-se a expressão  $F(X)$  de Gumbel com a regressão  $n/(N+1)$ , isto é:

$$F(X) = n/(N + 1) \quad (11)$$

Sendo  $N$  o tamanho da amostra e  $n$  o número de ordem, onde aplica-se duas vezes o logaritmo neperiano ( $\ln$ ) resultando em:

$$\ln\left[-\ln\left(\frac{n}{N+1}\right)\right] = \frac{\alpha}{\beta} - \frac{X}{\beta} \quad (12)$$

denotando por:

$$Y = \ln \left[ - \ln \left( \frac{n}{N+1} \right) \right], \quad (13)$$

$$a = \frac{\alpha}{\beta} \quad (14)$$

e

$$b = \frac{1}{\beta} \quad (15)$$

Sendo que a equação (4) apresenta-se na forma de uma equação da reta dada por :

$$Y = a + bX, \text{ onde os parâmetros } a \text{ e } b \text{ foram estimados da seguinte forma: } a = \bar{y} - b\bar{X}, \quad (16)$$

onde  $\bar{y}$  é a média de  $y$  e

$$b = \frac{\sum Xy - \frac{\sum X \sum y}{N}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}} \quad (17)$$

No método de regressão pode-se encontrar os valores de  $a$  e  $b$  e posteriormente determinar os parâmetros de regressão  $\alpha$  e  $\beta$  usando as equações 7, 8 e 9. As estimativas dadas pelo método de regressão, através da função cumulativa de probabilidade foram caracterizadas da seguinte forma, para Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns, respectivamente.

As precipitações médias máximas anuais foram obtidas diretamente de equação cumulativa de probabilidade, aplicando-se duas vezes o logaritmo da função, dado pela equação 10, para  $F(X) = 90\%$ ,  $95\%$  e  $99\%$  dos casos das respectivas estações.

### 3.5.3 MÉTODO DA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA

O método da máxima verossimilhança apresenta características fundamentais para uma estimativa, tais como: Eficiência, com menor variância do que quaisquer outros estimadores; Consistência, isto é, assintoticamente não tendenciosa, com a variância tendendo para zero.

De um modo geral, as estimativas pelo método da máxima verossimilhança são coerentes, quando o tamanho das amostras for considerado uma série longa. Logo, a estimativa da máxima verossimilhança será “próxima” do valor do parâmetro a ser estimado. O mesmo é considerado um método iterativo, no qual as estimativas de  $\alpha$  e  $\beta$  são obtidas pelas seguintes equações:

$$\beta = \bar{X} - \frac{\sum X_i e^{-\frac{X_i}{\beta}}}{\sum e^{-\frac{X_i}{\beta}}} \quad (18)$$

$$\alpha = -\beta \ln \left[ \frac{\sum \exp(-X_i / \beta)}{N} \right] \quad (19)$$

Os valores de  $\beta$ ( inicial), foram calculados pela equação (6).

As precipitações médias máximas anuais foram obtidas diretamente da equação de Gumbel, aplicando-se duas vezes o logaritmo da função, resultando na equação 10 para  $F(X) = 90\%$ ,  $95\%$  e  $99\%$  dos casos das respectivas estações.

As estimativas pelo método da máxima verossimilhança, dado pela função cumulativa de probabilidade, para as estações de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns, respectivamente, foram calculados pelas equações 7, 8 e 9.

### 3.6 PERÍODO DE RETORNO DA PRECIPITAÇÃO.

O período de retorno foi calculado para os maiores valores observados nas estações de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns, com base na Distribuição de Gumbel ou de Valores Extremos, o qual sugere que essa distribuição é apropriada para análise de chuvas intensas, desde que a chuva anual seja considerada maior que de uma amostra proveniente de

365 possibilidades em cada ano. A partir da Distribuição de Gumbel, a probabilidade P que venha a ocorrer enchente com um certo valor igual ou maior que qualquer valor "X", vai ser expresso por:

$$p = 1 - e^{-e^{-b}} \quad (20)$$

$$y' = \frac{1}{e^b} \quad (21)$$

$$y'' = \frac{1}{e^y} \quad (22)$$

$$\text{onde, } b = \frac{1}{0,7797\sigma} (X - \bar{\mu} + 0,45\sigma) \quad (23)$$

portanto,  $\mu$  = média aritmética,  $\sigma$  = desvio Padrão, X = valor de cheia com probabilidade P.

Sendo

$$TR = \frac{1}{P} \quad (24)$$

$$P = 1 - y'' \quad (25)$$

Neste caso, foi calculado o período de retorno para os valores de maior precipitação para cada estação, levando-se em consideração as equações acima mostradas.

### 3.7 REGIME DE VAZÃO DA BACIA DO RIO MUNDAÚ.

Foram elaborados gráficos de variações anuais, variações médias mensais e da variação sazonal da vazão, utilizando-se do Software “Microsoft Excel” para dados da estação fluviométrica da Fazenda Boa Fortuna, localizada no Município de Rio Largo-AL, na latitude de  $-9^{\circ} 28' 03''$ , longitude de  $-35^{\circ} 51' 23''$  e 42 m de altitude, correspondendo a um período de 28 anos (1974 a 2001):

### 3.8 VAZÃO MÁXIMA PROVÁVEL

Os dados de vazões médias mensais, utilizados neste trabalho foram fornecidos pela ANA (Agência Nacional de Água), dos quais foram selecionados dados de vazões médias máximas anuais mais intensas ocorridas na estação fluviométrica da Fazenda Boa Fortuna, para uma série de 28 anos, correspondentes ao período de 1974 a 2001, os quais constam na Tabela 06.

Tabela 06 – Vazões médias máximas anuais da estação hidrométrica da Fazenda Boa Fortuna no Município de Rio Largo – AL, no período de 1974 – 2001.

Ano	Vazão Max. ( m <sup>3</sup> /s)	Ano	Vazão Max. ( m <sup>3</sup> /s)
1974	91,00	1988	201,00
1975	178,20	1989	116,90
1976	41,70	1990	70,10
1977	206,20	1991	123,30
1978	102,20	1992	85,20
1979	78,70	1993	41,90
1980	62,20	1994	123,40
1981	43,20	1995	71,60
1982	125,50	1996	104,20
1983	30,00	1997	100,60
1984	127,70	1998	35,50
1985	120,10	1999	21,80
1986	109,30	2000	141,20
1987	66,30	2001	67,50

O critério utilizado para estabelecer as séries de vazões máximas foi o mesmo utilizado na formação da série de precipitação, ou seja, critério das séries anuais.

Determinou-se a Distribuição de Probabilidade de Fisher – Tippett ou Distribuição de Gumbel, para o cálculo dos valores extremos máximos das vazões médias anuais, através das equações 3 e 4.

Os parâmetros de estimativas que foram determinados através dos mesmos métodos utilizados para a precipitação máxima provável: Método dos Momentos, Método da Regressão e Método da Máxima Verossimilhança.

As vazões máximas foram obtidas diretamente da equação de Gumbel, aplicando-se duas vezes o logaritmo da função, ( equação 10), para  $F(X) = 90\%, 95\%$  e  $99\%$  dos casos.

A Tabela 07 mostra as vazões máximas observadas em cada ano na estação da Fazenda Boa Fortuna.

Tabela 07 - Valores de vazões médias máximas anuais organizados em ordem crescente da Fazenda Boa Fortuna, em Rio Largo AL período de (1974 – 2001).

Ano	Vazão Max (m <sup>3</sup> /s)	Ano	Vazão Max. (m <sup>3</sup> /s)
1974	21,80	1988	100,60
1975	30,00	1989	102,20
1976	35,50	1990	104,20
1977	41,70	1991	109,30
1978	41,90	1992	116,90
1979	43,20	1993	120,10
1980	62,20	1994	123,30
1981	66,30	1995	123,40
1982	67,50	1996	125,50
1983	70,10	1997	127,70
1984	71,60	1998	141,20
1985	78,70	1999	178,20
1986	85,20	2000	201,00
1987	91,00	2001	206,20

### 3.9 PERÍODO DE RETORNO DE VAZÃO MÁXIMA

O período de retorno foi calculado para os máximos valores observado na estação da Fazenda Boa Fortuna, com base na Distribuição de Gumbel ou de Valores Extremos, utilizando-se das mesmas equações utilizadas no período de retorno da precipitação.

#### 3.10 - CURVA – CHAVE.

As medidas diretas de vazão são seguras, devido a utilização de equipamentos modernos e da facilidade de utilização desses equipamentos, porém calcular a vazão de um rio requer tempo e dinheiro, pois esses equipamentos têm um custo muito elevado. Contudo algumas medidas indiretas apresentam resultados bastante coerentes e apesar de uma margem de erros existir, este é considerado aceitável. Uma dessas medidas indiretas para se obter a vazão de um rio é através chama Curva-Chave, que estabelece uma relação Cota X Vazão, onde basta termos o valor da cota para encontrarmos o valor de vazão. Este método vem sendo bastante utilizado por vários meios, facilitando a obtenção desses dados.

Foi verificada a relação de dados diários de Cota x Vazão, do período correspondente de 1965 – 2002, plotando-se os pares de pontos e em seguida fazendo-se o ajuste a uma equação, de forma que o resultado correspondesse à tendência da serie, como sugerido por VILELLA E MATTOS (1975). Entretanto, foram testados os seguintes ajustes: linear, curvas exponenciais, de potência e polinomiais de 2º e 3º graus. Após a escolha do melhor ajuste foram identificados e analisados os pontos destoantes da estação fluviométrica da Fazenda Boa Fortuna, no Município de Rio Largo / AL, mostrado na Tabela 8.

Tabela 08 – Valores de Cotas e Vazões da Estação da Fazenda Boa Fortuna, no Município de Rio Largo AL, no período de (1974 – 2001).

Cota (m)	Vazão (m3/s)										
4,64	15,70	5,02	43,10	6,22	144,00	4,52	11,60	4,75	20,00	4,43	7,35
4,56	12,30	4,92	33,70	6,34	165,00	4,73	22,70	4,64	17,80	4,82	27,80
4,56	11,80	4,91	33,00	5,32	63,00	4,56	12,50	4,58	14,00	4,51	9,83
4,54	11,20	4,82	28,10	5,15	49,80	4,42	6,84	5,11	48,80	4,38	4,03
4,54	11,50	4,81	25,90	5,04	39,60	4,42	6,90	4,67	19,50	4,40	5,23
4,64	17,10	4,86	31,30	4,97	35,20	4,56	13,10	4,44	9,40	4,63	16,20
4,64	16,40	4,81	26,40	4,98	35,80	5,17	42,40	4,38	4,00	5,11	45,09
4,59	13,60	4,85	28,10	5,08	43,90	4,80	17,90	4,55	12,00	5,55	81,20
4,58	13,00	4,75	23,00	5,02	39,70	5,00	36,40	5,38	64,00	5,72	122,26
4,56	12,00	4,66	17,50	4,84	25,60	5,78	109,00	4,69	22,90	4,54	11,30
4,55	11,20	4,66	18,30	4,81	26,10	4,83	27,30	4,64	6,52	4,54	11,25
4,54	11,00	4,66	18,10	4,94	34,00	4,69	18,80	4,46	8,30	4,74	27,90
4,52	9,72	4,72	21,20	4,94	33,70	4,58	14,60	5,07	46,00	4,74	27,87
4,51	9,19	4,71	21,20	4,90	30,80	5,04	43,80	5,09	55,30	4,52	15,00
4,50	9,12	5,04	45,70	4,90	31,20	5,13	49,20	4,56	12,50	4,52	15,04
4,49	8,82	5,17	49,00	5,20	53,40	5,18	55,20	5,11	45,40	4,41	8,82
4,48	8,02	5,16	45,30	5,28	59,60	4,62	15,40	4,56	14,70	6,15	159,00
4,47	8,33	5,03	39,80	5,21	52,50	4,72	23,00	4,56	14,70	5,02	51,00
4,46	8,02	4,97	38,30	5,18	53,20	5,49	78,30	4,42	4,94	5,34	76,19
4,46	7,53	4,95	35,20	5,18	52,10	4,81	29,60	4,81	25,40	4,44	9,86
4,5	9,77	6,73	199,00	5,00	39,60	4,58	13,80	4,44	8,13	4,50	11,64
4,50	9,26	6,89	223,00	5,68	89,30	4,40	5,73	4,40	6,13	4,54	14,83
4,47	7,89	6,95	237,00	5,34	63,50	4,36	3,20	4,71	20,40		
4,47	7,94	5,75	92,60	5,22	57,00	5,04	42,80	5,14	47,80		
4,44	7,01	5,79	96,50	5,21	59,30	5,08	38,70	5,15	47,80		
4,44	6,78	5,89	99,30	5,01	44,20	4,50	10,60	4,44	7,75		
4,43	6,83	5,45	70,70	4,99	41,70	4,47	8,19	4,90	31,30		
4,43	6,95	5,26	55,90	4,42	18,20	4,55	12,30	4,98	38,40		
4,43	6,99	5,16	50,10	4,60	14,20	4,57	11,70	4,90	38,40		
4,43	6,85	5,10	42,50	4,69	17,70	4,34	2,89	4,68	19,90		
4,83	28,00	5,15	44,40	5,11	40,40	4,32	2,58	4,46	6,88		
4,86	27,70	5,04	41,90	4,95	34,90	4,43	4,69	5,18	55,80		
5,35	64,90	4,78	24,60	5,29	55,40	4,68	19,90	4,92	34,60		
5,35	65,20	4,88	32,60	4,81	26,60	4,44	0,73	5,12	47,80		
4,96	36,90	4,88	32,90	4,45	7,16	4,90	32,50	4,73	23,00		
4,99	38,60	4,46	12,10	4,30	1,910	4,53	12,00	4,77	23,60		
4,69	22,30	4,50	13,90	4,58	15,10	4,60	18,00	5,36	68,90		
4,69	20,70	5,24	63,60	6,00	120,00	4,56	11,00	4,90	29,20		
5,07	44,80	5,45	75,10	5,29	60,30	4,50	9,18	4,60	14,80		
5,00	41,20	5,36	54,60	4,52	11,40	4,74	23,80	4,46	9,10		

Fonte: Agencia Nacional de Águas ( ANA)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL DA BACIA DO RIO MUNDAÚ.

Utilizando-se o método dos quadriculos obteve-se os valores das áreas de influência dos postos pluviométricos representados na Tabela 09.

Tabela 09 – Áreas de influências dos postos pluviométricos obtidos através do método dos quadriculos e suas respectivas precipitações médias.

ÁREAS	Nº DE QUADRÍCULOS	VALOR EM km2	PRP Méd (mm)
A1	218	872	863,5
A2	244	976	834,4
A3	284	1136	1552,4
A4	174	696	1335,6
A5	125	500	1607,01
TOTAL	1045	4180	

Aplicando-se o método do polígono de Thiessen, para os valores da tabela acima obteve-se o seguinte resultado:

$$\bar{P} = 1211,4mm$$

Onde  $\bar{P}$  é a precipitação média da bacia.

Pelo método de pesagem obteve-se os valores das áreas de influência de cada posto pluviométrico, representados na Tabela 10, aplicando-se o método dos Polígonos de Thiessen tendo como resultado a seguinte precipitação média:

$$\bar{P} = 1215,4mm$$

Tabela 10 – Áreas de influência dos postos pluviométricos obtidos através do Método da Pesagem.

Área Padão	Valor ( Km2 )	Peso ( mg )
AP	400	132
A1	821,2	271
A2	924,2	305
A3	1100	363
A4	669,7	221
A5	484,9	160
TOTAL	4000	

Os dois métodos para cálculo de áreas de influência mostram-se eficientes com valores bem próximos, implicando em valores de precipitação média da bacia com diferenças desprezíveis, porém o Método da Pesagem está mais sujeito a erros inerentes a precisão da balança utilizada, pois qualquer fator influencia na sua medida, desde o recorte impreciso das áreas, até mesmo a influências de vento no local da pesagem. Esses resultados foram considerados relevantes, pois correspondem a valores encontrados na região por outros autores como ROCHA (1985), que caracterizou a região com valores próximos ao encontrado.

#### **4.2 – REGIME DE PRECIPITAÇÃO (VARIACÃO DE PRECIPITAÇÃO ANUAL, VARIACÃO MÉDIA MENSAL E VARIACÃO SAZONAL) DA BACIA DO RIO MUNDAÚ.**

A Figura 04, 05 e 06 mostram as variações das precipitações médias anuais nas estações de Garanhuns, Santana do Mundaú e Rio Largo, respectivamente. Observamos que os máximos valores de precipitação pluviométrica foram encontrados nos anos de 1978, 1969 e 1974, para as referidas estações, enquanto que os mínimos valores foram encontrados no ano de 1983 para as mesmas.

Não foi observada nenhuma relação significativa entre os valores de máximos e mínimos e os fenômenos de escala global EL NIÑO e LA NIÑA, com exceção ao ano de 1983, que foi fortemente influenciado, em todas as estações pelo fenômeno EL NIÑO de

(1982 – 1983), considerado o mais forte do século, como informado por vários autores como MEDEIROS & MOLION (2002). Já para os máximos valores, como não houve uma boa relação com esses fenômenos, pode-se afirmar que foram causados por sistemas de escalas menores atuantes na região, como: Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, Perturbações Ondulatórias de Leste, Efeito de Brisas e outros, conforme citado por BERNADO (1999).

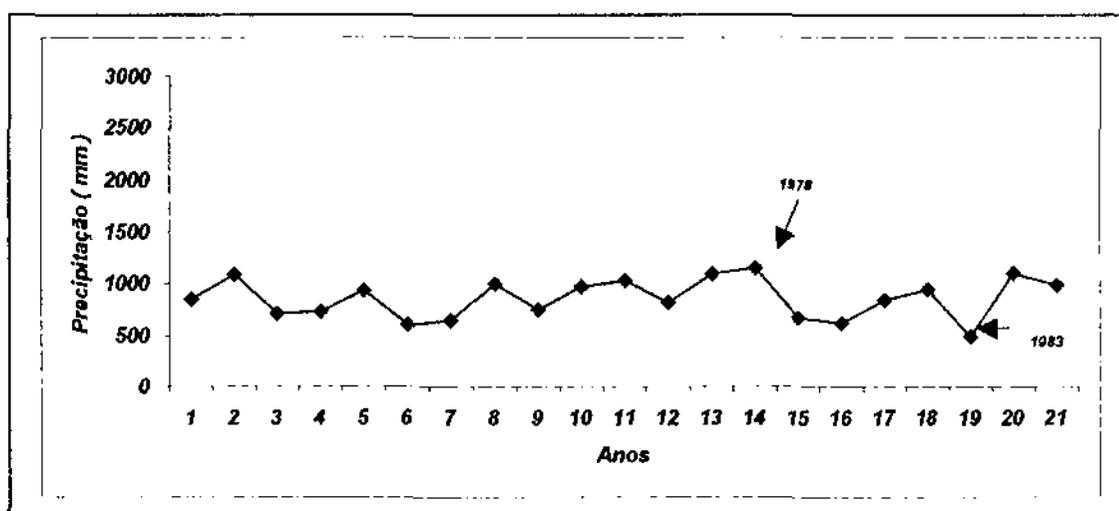


Figura 04 – Variação média anual da precipitação da estação de Garanhuns no período de (1965 – 1985).

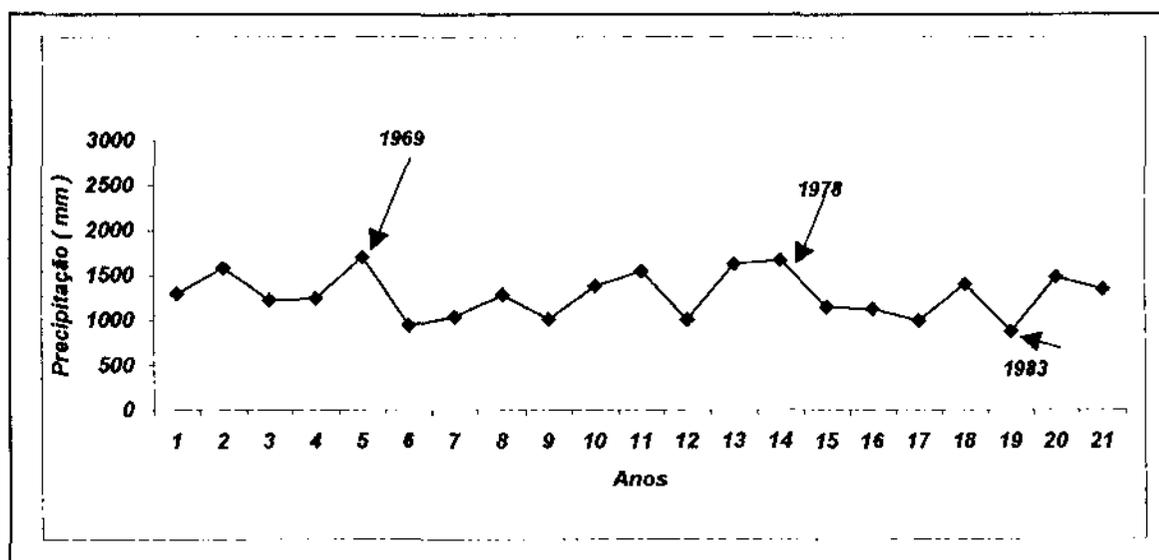


Figura 05 – Variação média anual da precipitação na estação de Santana do Mundaú no período de (1965 – 1985).

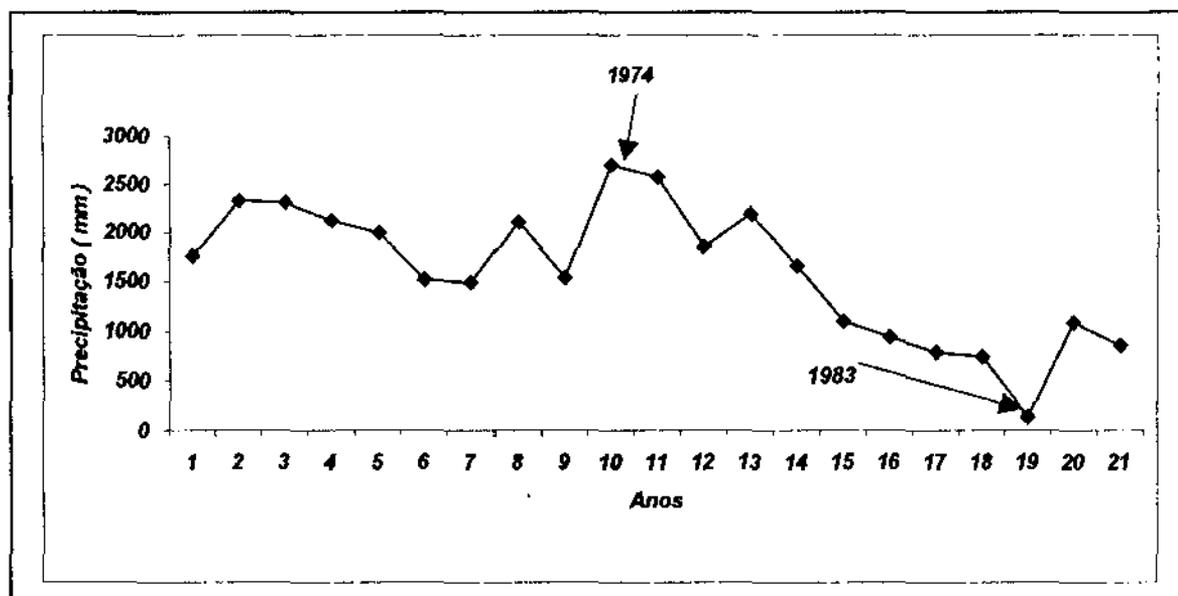


Figura 06 – Variação média anual da precipitação na estação de Rio Largo no período de (1965 a 1985).

A Figura 07 mostra as variações médias mensais das precipitações das estações de Garanhuns, Santana do Mundaú e Rio Largo para o período de 1965 a 1985.

Nota-se que o semestre mais chuvoso corresponde aos meses de fevereiro a julho, com aproximadamente 72,6% de toda precipitação anual para toda as estações, apresentando como mês mais chuvoso julho para as estações de Garanhuns e Santana do Mundaú, com aproximadamente 15% e 17% do toda chuva anual, respectivamente, e o mês de junho para a estação de Rio Largo com 17% de toda precipitação anual. Já o mês menos chuvoso foi o mês de novembro com cerca de 2% da precipitação anual, sendo este mês comum para todas as estações.

Esses resultados vem reforçar o que já foi mostrado por outros autores como (Kousky – 1979), tornando esses valores fundamentais para um planejamento agrícola e para outras atividades que necessitem dos mesmos.

Nota-se que o período chuvoso da região de estudo, coincide com a época em que esta região está sujeita a atuações de distúrbios de leste, chamados de Ondas de Leste, que

somados com sistemas de escala local (Convergência dos Alísios e Brisas Terrestres), intensificam as chuvas, principalmente à noite nesta área.

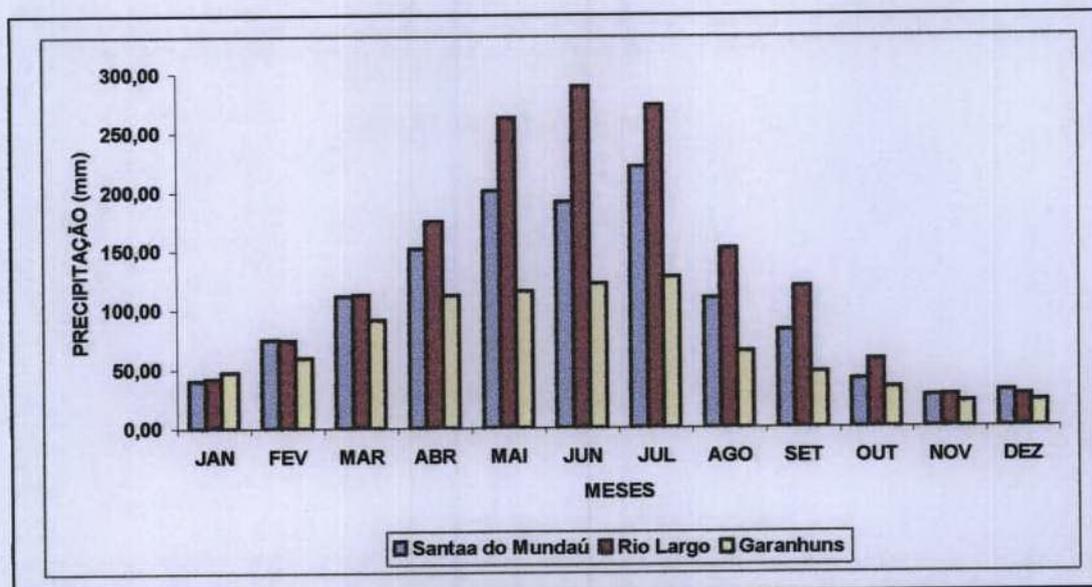


Figura 07 – Variação média mensal da precipitação pluviométrica nas estações de Garanhuns, Santana do Mundaú e Rio Largo no período de (1965 – 1985).

A Figura 08, 09 e 10 mostram a variação sazonal da precipitação nas estações de Garanhuns, Santana do Mundaú e Rio Largo para o período de 1965 a 1985. Observa-se que o trimestre mais chuvoso da região corresponde a abril, maio e junho, com cerca de 40%, 43% e 41% de toda precipitação anual para as respectivas estações, e apresentando como trimestre menos chuvoso os meses de outubro, novembro e dezembro com cerca de 10%, 7% e 8% para Garanhuns, Santana do Mundaú e Rio Largo respectivamente, O que coincidem com os resultados encontrados por BERNADO ( 1999 ).

Nota-se que o período chuvoso da região está relacionado com a variação sazonal dos ventos, relacionada com a posição da Alta Subtropical do Atlântico Sul, que começa a se intensificar nas estações frias e alcança seu máximo no mês de julho. Os ventos nesta época sopram perpendicularmente à costa, favorecendo a ocorrência da zona de Convergência Noturna associada à Brisa Terrestre, como já observado por (Kousky –1979).

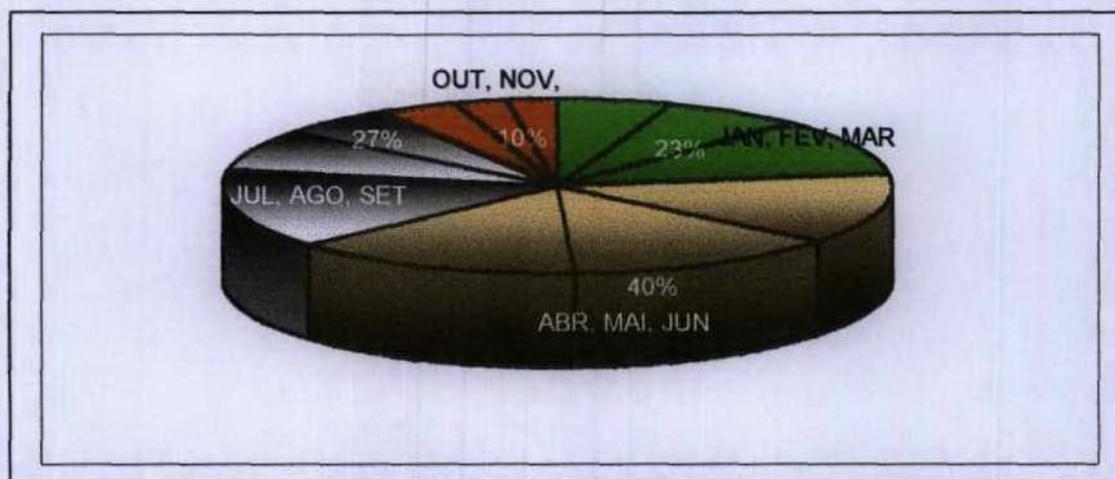


Figura 08 – Variação sazonal da precipitação pluviométrica para a estação de Garanhuns no período de (1965 – 1985).

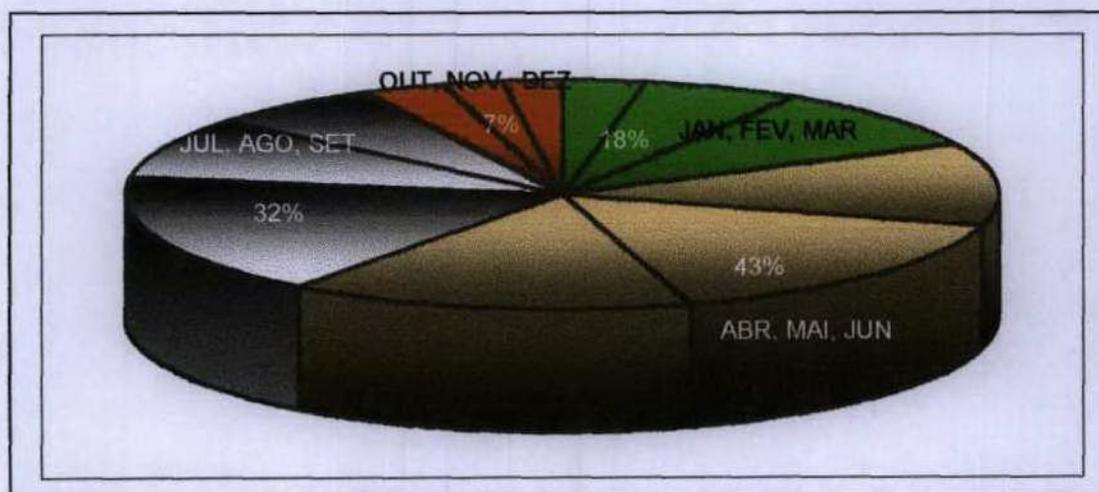


Figura 09 - Variação sazonal da precipitação pluviométrica na estação de Santana do Mundaú no período de (1965 – 1985).

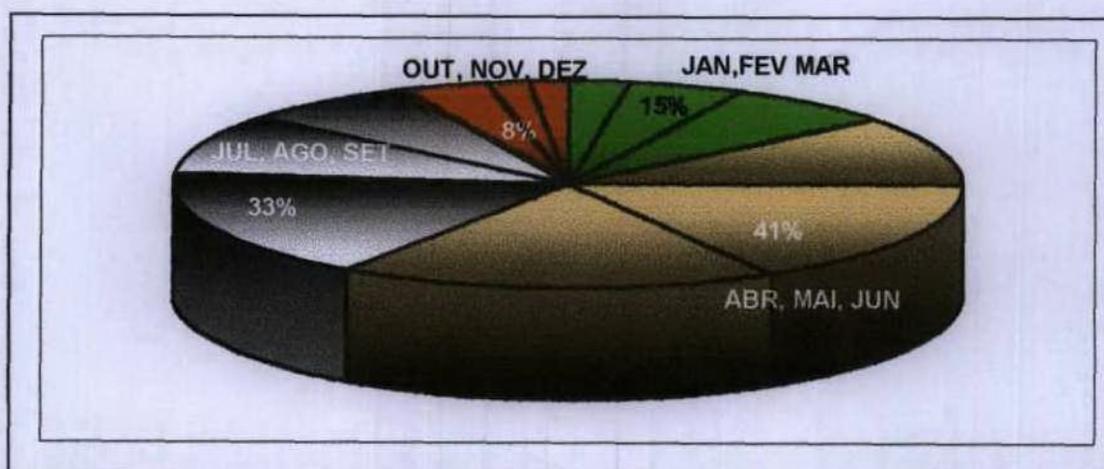


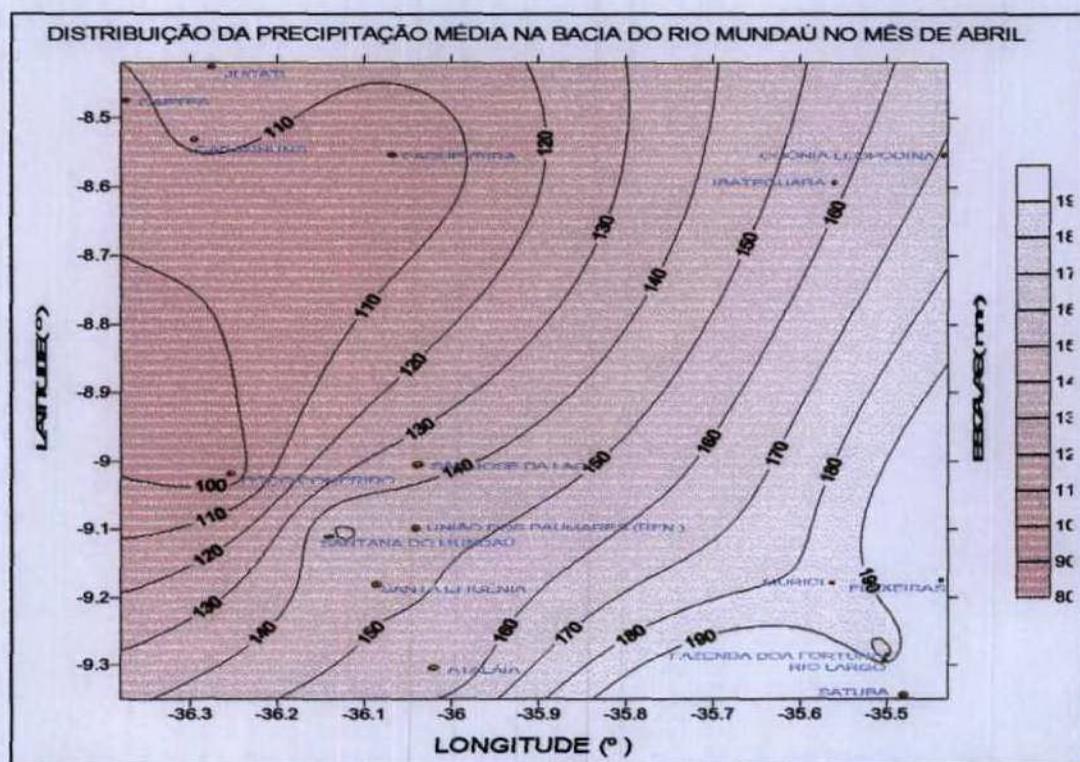
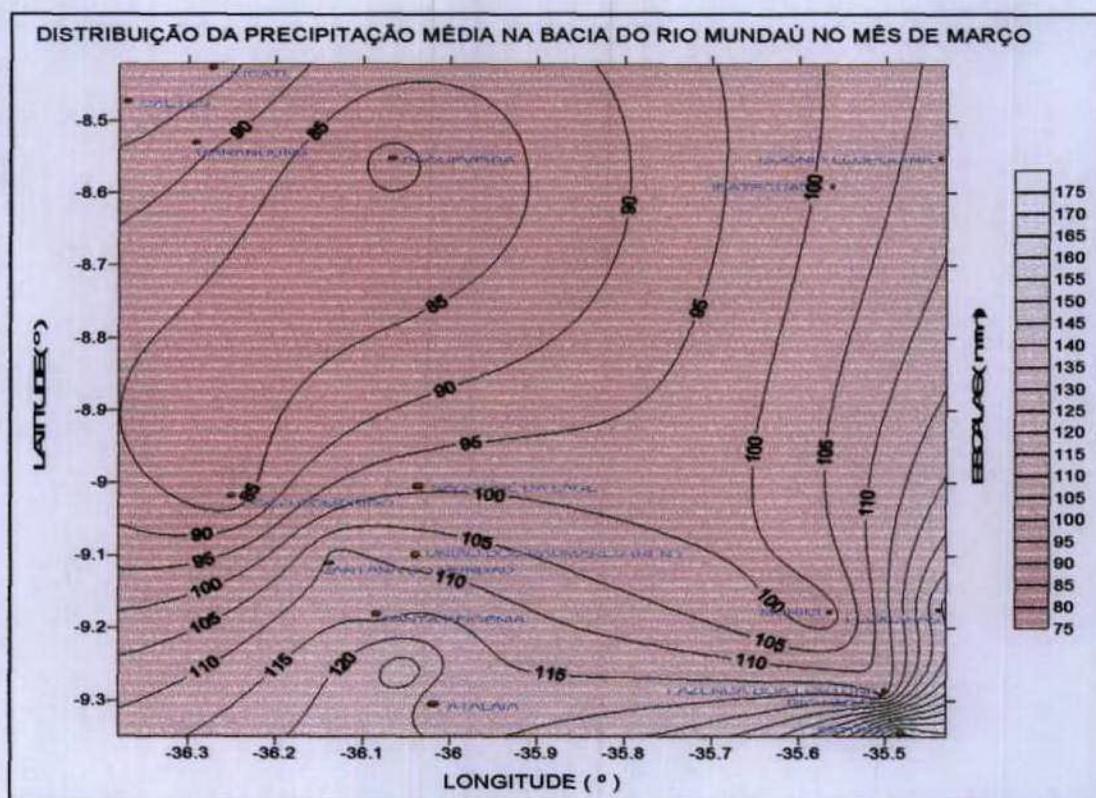
Figura 10 - Variação sazonal da precipitação pluviométrica na estação de Rio Largo no período de (1965 – 1985).

#### 4.3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO MUNDAÚ.

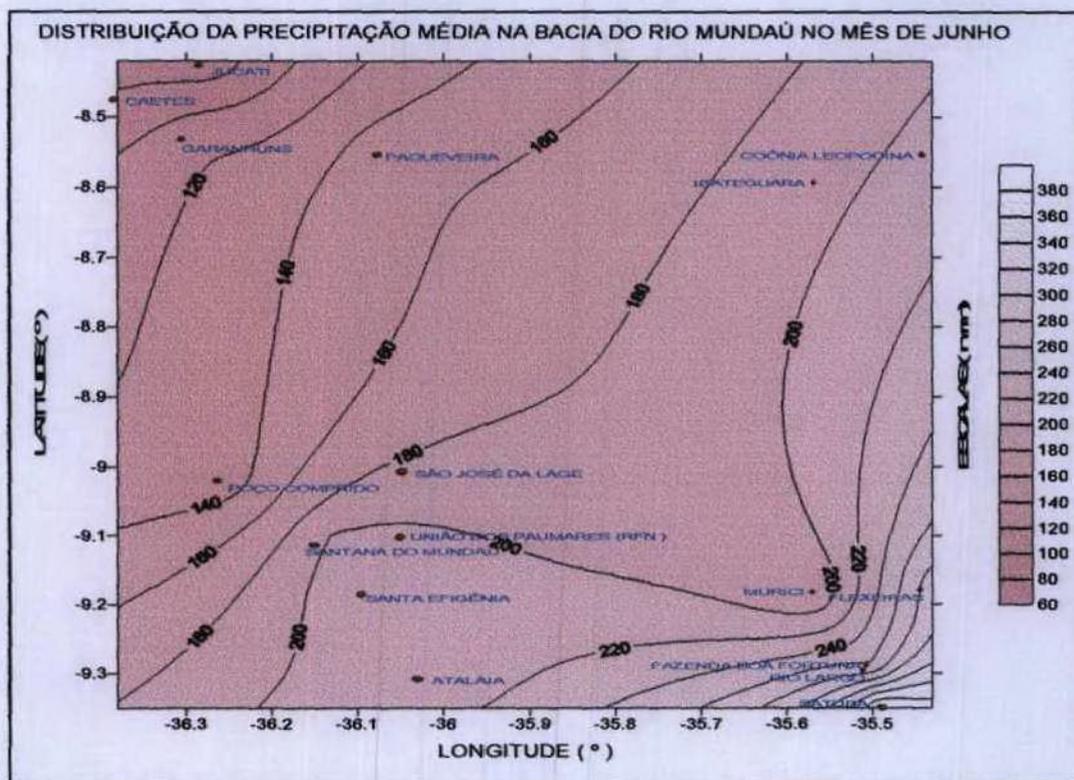
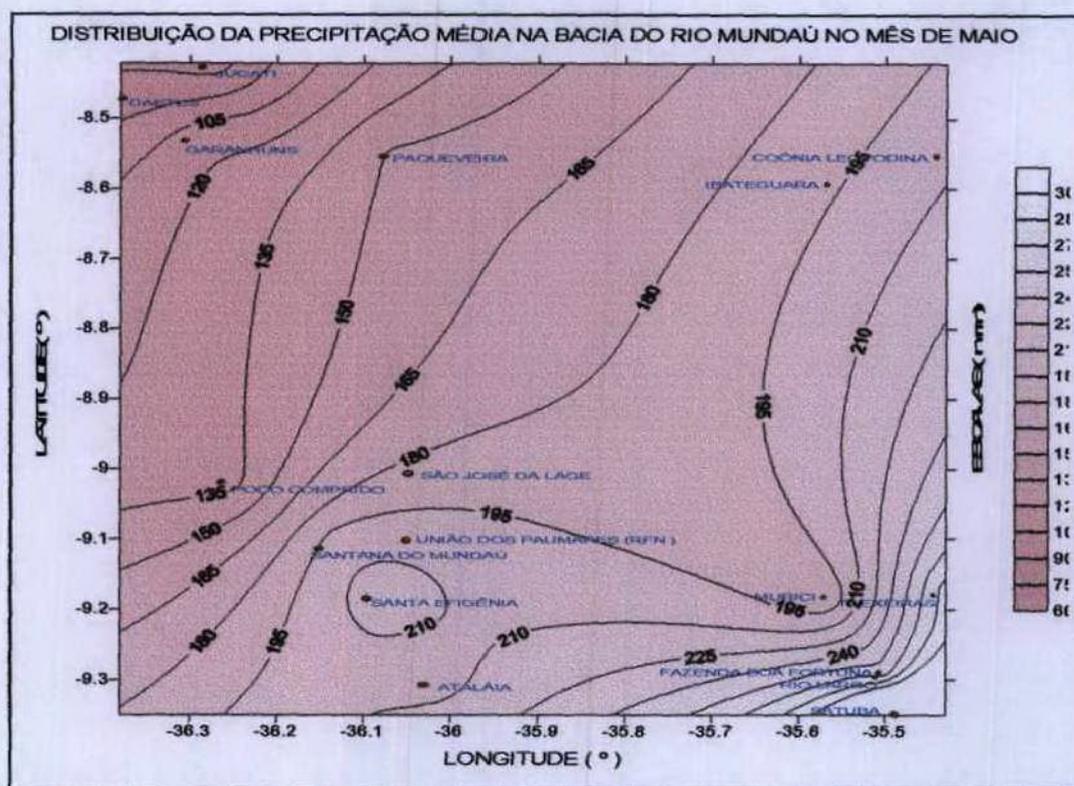
A distribuição espacial da precipitação na região da Bacia do Rio Mundaú, mostra que os máximos valores de precipitação estão concentrados próximos a região litorânea, com médias entorno de 2.000 mm que é uma consequência de influências de brisas, que advectam bandas de nebulosidade provocando uma maior concentração de chuvas nesta área, verifica-se uma diminuição na precipitação a medida que penetramos no continente, devido à aproximação da região do polígono das secas. Observamos também que no semestre menos chuvoso (outubro a março), há presença de baixas de precipitação, no alto curso da bacia, provocadas pela presença da orografia nesta área, enquanto que no período chuvoso isso não fica bem visível, como mostram as Figuras: 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22 e 23.

Esses dados concordaram com trabalhos realizados por outros autores os quais foram aplicados para diferentes áreas no nordeste brasileiro, como (SOUZA,1989) e (JUNIOR, 1999) que encontraram os mesmos resultados para a região.

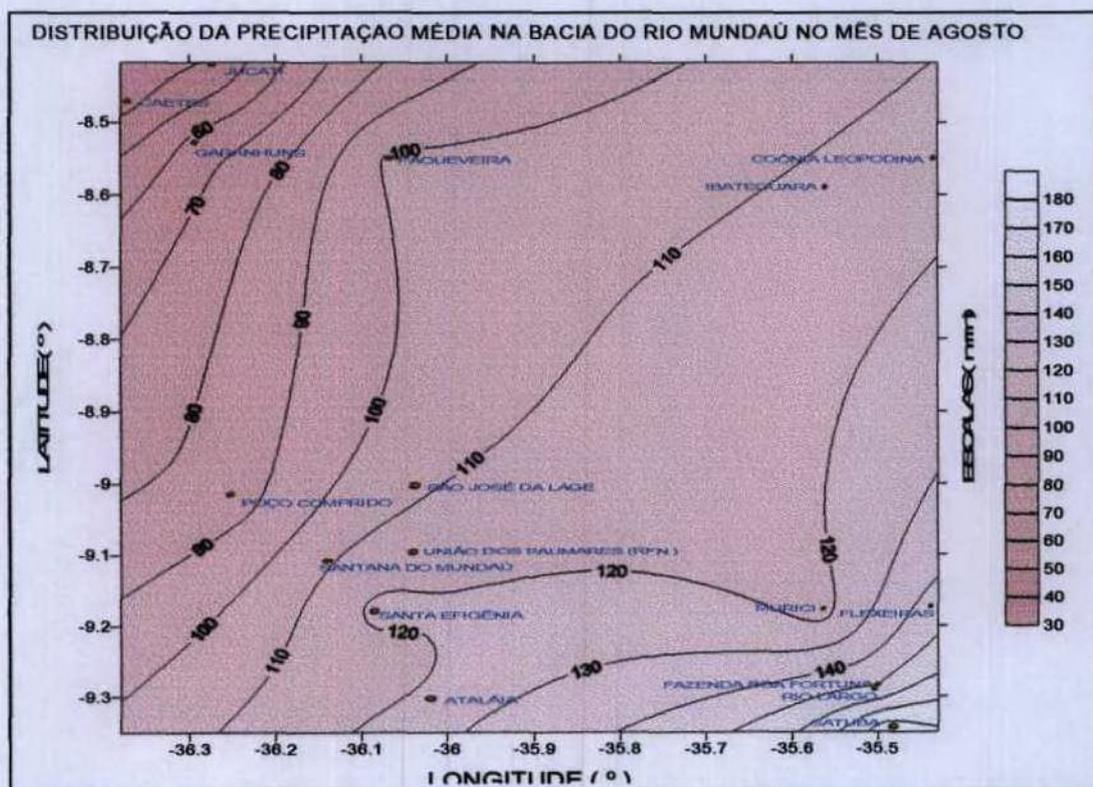
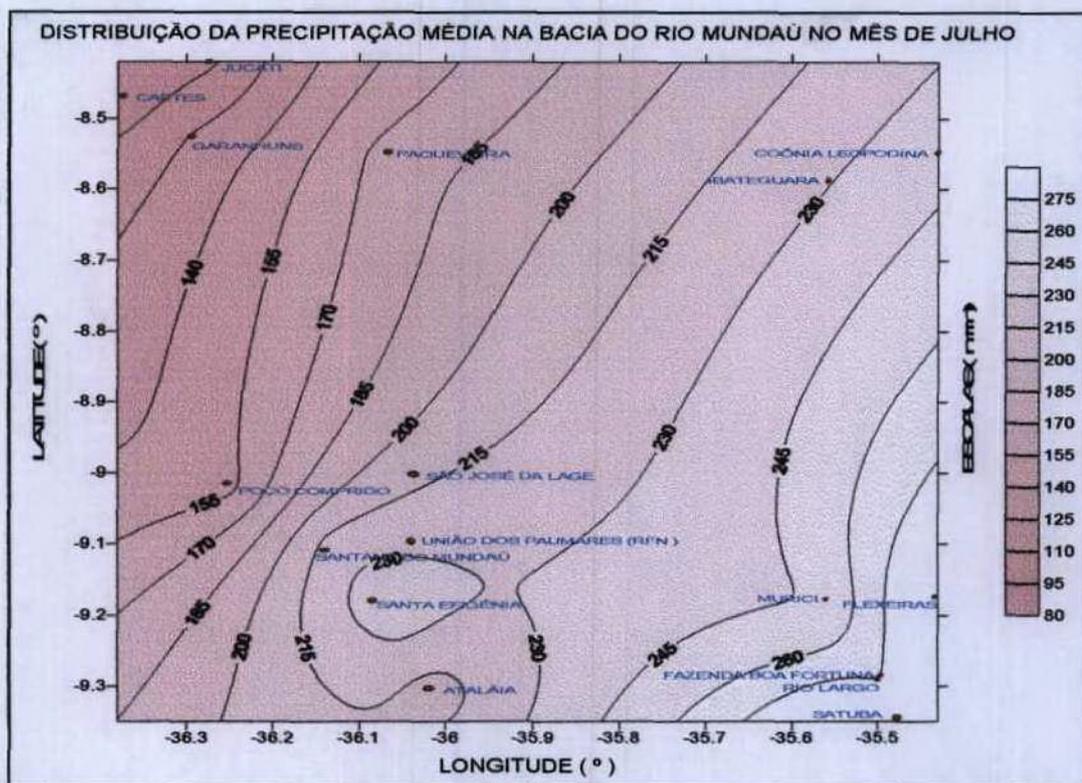




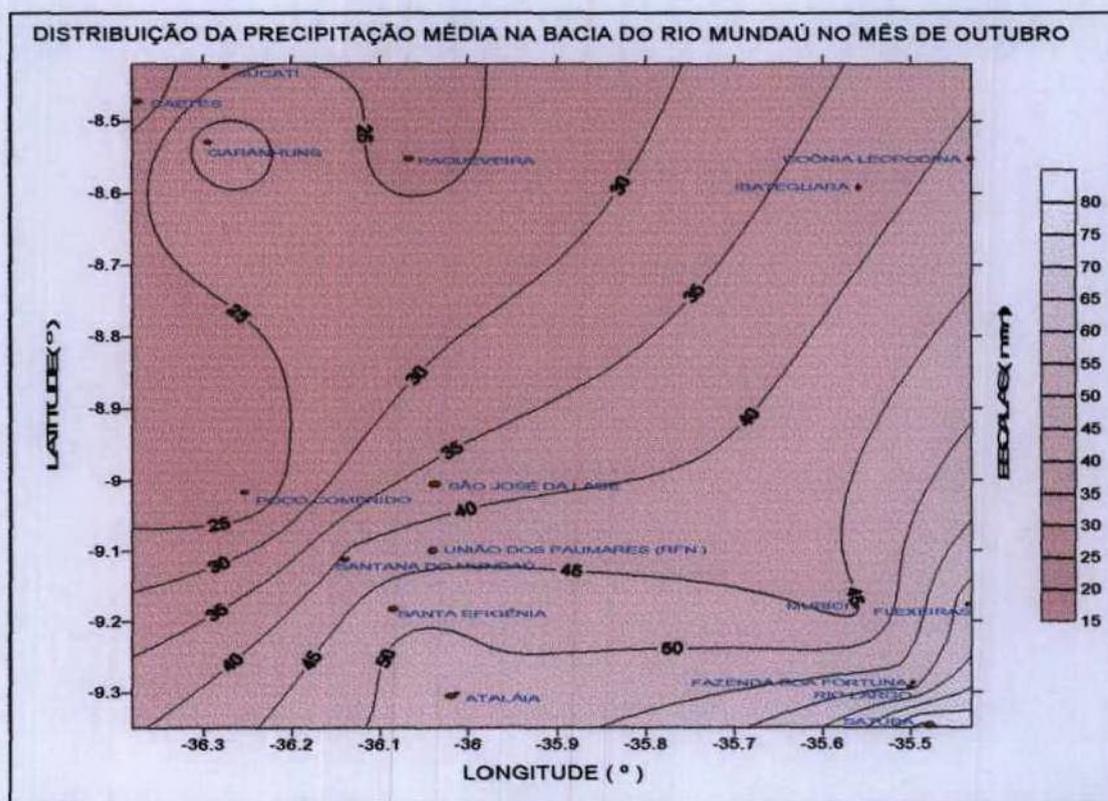
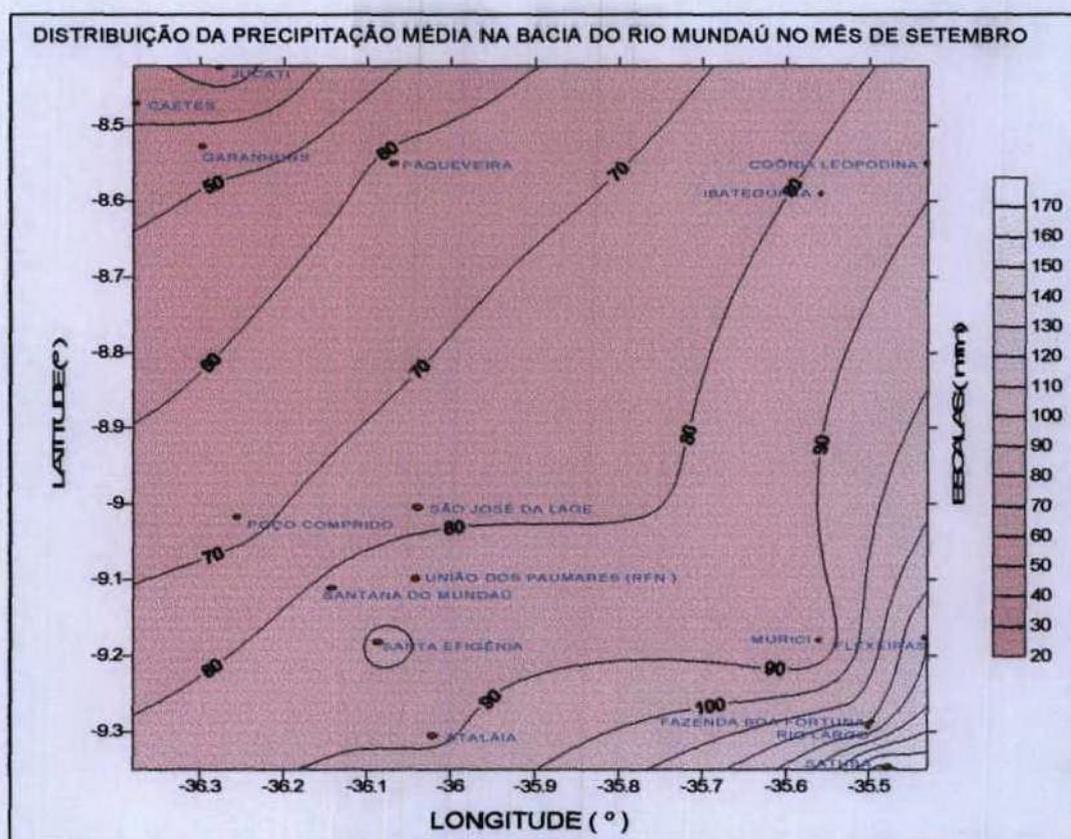
Figuras 13 e 14 – Distribuição espacial da precipitação média da região da Bacia do Rio Mundaú, para os meses de março e abril.



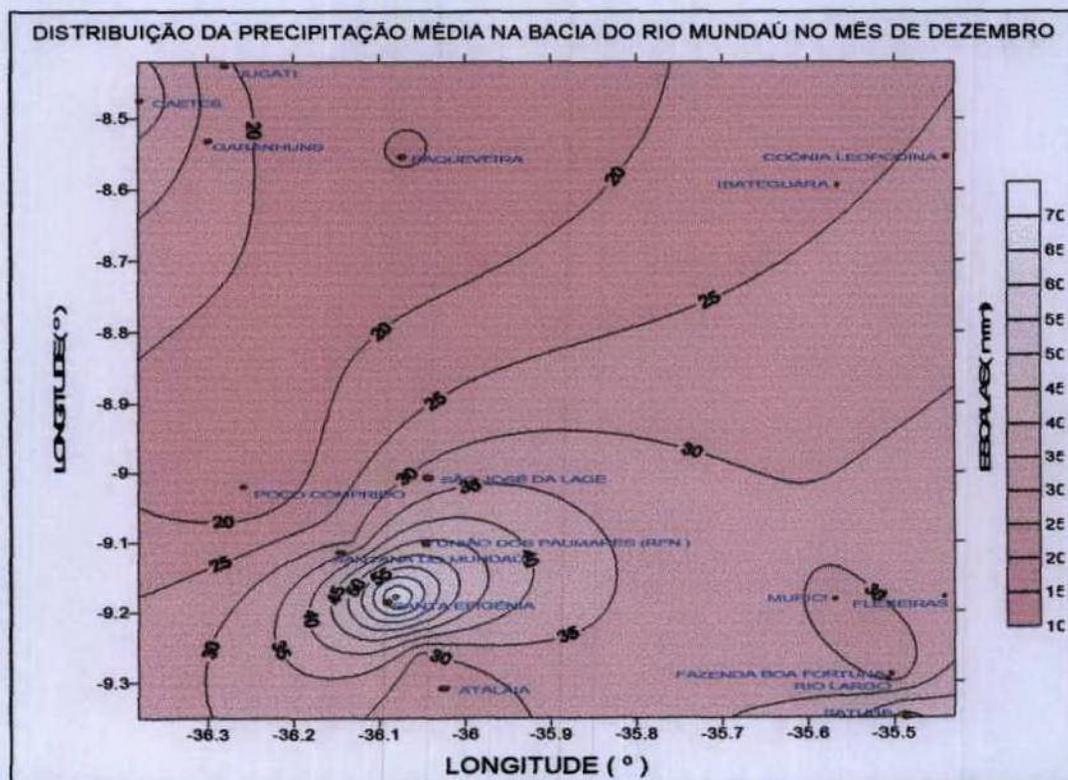
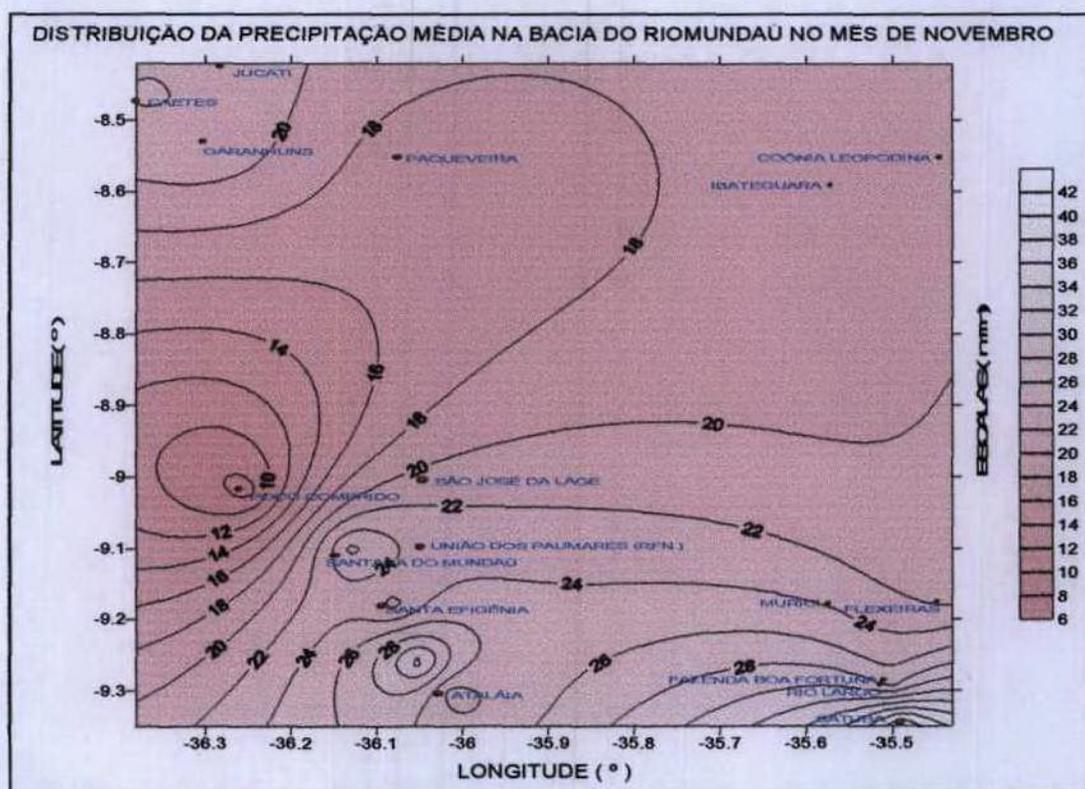
Figuras 15 e 16 - Distribuição espacial da precipitação média da região da Bacia do Rio Mundaú, para os meses de maio e junho.



Figuras 17 e 18 - Distribuição espacial da precipitação média da região da Bacia do Rio Mundaú, para os meses de julho e agosto



Figuras 19 e 20 - Distribuição espacial da precipitação média da região da Bacia do Rio Mundaú, para os meses de setembro e outubro.



Figuras 21 e 22 - Distribuição espacial da precipitação média da região da Bacia do Rio Mundaú, para os meses de novembro e dezembro.

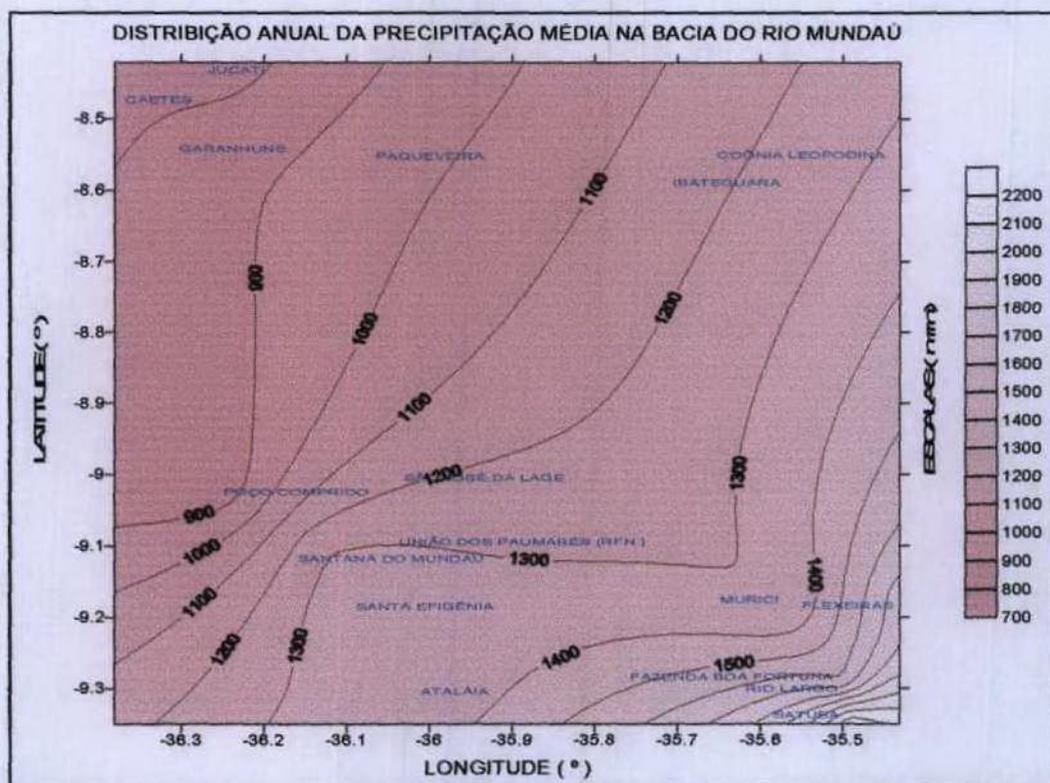


Figura 23 - Distribuição espacial da precipitação média anual da região da Bacia do Rio Mundaú.

#### 4.4 PRECIPITAÇÃO MÁXIMA PROVÁVEL

Os valores de precipitação máxima provável estão descritos a seguir para os métodos utilizados neste trabalho:

##### 4.4.1 - MÉTODO DOS MOMENTOS

Usando a Tabela 05 obteve-se para os dois momentos da amostra os seguintes valores para Santana do Mundaú; Rio Largo e Garanhuns, onde  $\bar{X}$  é a média e  $s$  é o desvio padrão da amostra.

$$\text{Santana do Mundaú, } \bar{X} = 280,29 \text{ m}^3/\text{s}, \quad s = 87,19 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Rio Largo, } \bar{X} = 351,34 \text{ m}^3/\text{s}, \quad s = 189,22 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Garanhuns, } \bar{X} = 189,06 \text{ m}^3/\text{s}, \quad s = 56,60 \text{ m}^3/\text{s}$$

Substituindo esses valores nas equações 5 e 6, encontramos os seguintes valores de estimativas pelo método dos momentos:

Santana do Mundaú,  $\alpha = 241,05$  ,  $\beta = 67,98$

Rio Largo,  $\alpha = 266,18$  ,  $\beta = 147,54$

Garanhuns,  $\alpha = 163,59$  ,  $\beta = 44,13$

As Tabelas 11, 12 e 13 mostram as precipitações médias anuais máximas das estações pluviométricas de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns, respectivamente, ajustadas à distribuição de valores extremos pelo método dos momentos.

Tabela 11 - Precipitação média máxima anual da estação pluviométrica de Santana do Mundaú, ajustadas a distribuição de valores extremos pelo método dos momentos.

Classes	Pmédio	Observada	F(X)	Fe
143,80 - 190,69	167,25	3	0,051755627	1
190,69 - 237,56	214,13	5	0,22630319	5
237,56 - 284,46	261,01	4	0,474457384	4
284,46 - 331,34	307,9	4	0,687933403	4
331,34 - 378,23	354,79	1	0,828888574	3
378,23 - 425,11	401,67	3	0,997280631	4
425,11 - 472,00	448,56	1	1,048378638	0
Total		21		21

Tabela 12 - Precipitação média máxima anual da estação pluviométrica de Rio largo, ajustadas à distribuição de valores extremos pelo método dos momentos.

Classes	P. médio	Observ	F(X)	Fe
25,20 - 129,89	77,55	2	0,028	1
129,89 - 234,89	182,39	4	0,171	3
234,89 - 339,27	287,08	4	0,420	5
339,27 - 443,96	391,62	6	0,652	5
443,96 - 548,65	496,31	1	0,810	4
548,65 - 653,34	601	3	0,902	2
653,34 - 758,00	705,67	1	0,950	1
Total		21		21

Tabela 13 - Precipitação média máxima anual da estação pluviométrica de Garanhuns, ajustadas à distribuição de valores extremos pelo método dos momentos.

Classes	P. médio	Observ	F(X)	Fe
98,00 - 126,49	112,245	3	0,0407352	1
126,49 - 154,98	140,735	5	0,1866801	3
154,98 - 183,47	168,225	3	0,4064620	5
183,47 - 211,96	197,715	1	0,6303354	5
211,96 - 240,45	226,205	5	0,7850543	4
240,45 - 268,94	254,695	2	0,8808210	2
268,94 - 297,43	283,185	2	0,9356217	1
	Total	21		21

Onde: Pmédio = Ponto médio das classes; Fe = Frequência esperada

Os valores encontrados para  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $F(X)$ , estão representados na Tabela 14.

Tabela 14 – Valores dos parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e da precipitação máxima provável, através do método dos momentos.

Localidade	alfa	Beta	F(90%)	F(95%)	F(99%)
Santana do Mundaú	241,0513	67,9819	394,01	442,97	553,78
Rio Largo	266,1804	147,5359	598,20	704,39	944,87
Garanhuns	163,5881	44,1335	262,9046	294,67	366,61

Significando que, em 90%, 95% e 99% dos casos pelo método dos momentos a precipitação máxima nas estações não excederão os valores mostrados na Tabela 05.

#### 4.4.2 - MÉTODO DE REGRESSÃO

Nas Tabelas 15, 16 e 17 apresentam-se organizados em ordem crescente os valores da máxima precipitação média anual ( $X$ ), os valores de  $n/(N+1)$ , os valores de  $\ln(n/(N+1))$ , valores de  $\ln(\ln^*)$  ( $Y$ ), além de valores de  $x^2$  e  $X*Y$ , onde  $n$  representa o número de ordem,  $N$  é o tamanho da amostra.

Tabela 15 – Cálculo para obtenção das estimativas e parâmetros de regressão para Santana do Mundaú .

N	MA (X)	$n/(N+1)$	$\ln(n/(N+1))$	$\ln(\ln^*) (Y)$	$x^2$	$X*Y$
1	143,80	0,0455	-3,0910	1,1285	20678,4400	162,27951
2	166,10	0,0909	-2,3979	0,8746	27589,2100	145,26963
3	170,60	0,1364	-1,9924	0,6894	29104,3600	117,60398
4	200,00	0,1818	-1,7047	0,5334	40000,0000	106,68347
5	212,10	0,2273	-1,4816	0,3931	44986,4100	83,38195
6	229,50	0,2727	-1,2993	0,2618	52670,2500	60,085983
7	231,40	0,3182	-1,1451	0,1355	53545,9600	31,35937
8	237,00	0,3636	-1,0116	0,0115	56169,0000	2,7335905
9	242,80	0,4091	-0,8938	-0,1123	58951,8400	-27,25509
10	247,00	0,4545	-0,7885	-0,2377	61009,0000	-58,70621
11	269,00	0,5000	-0,6931	-0,3665	72361,0000	-98,59198
12	278,70	0,5455	-0,6061	-0,5007	77673,6900	-139,5315
13	290,90	0,5909	-0,5261	-0,6423	84622,8100	-186,8384
14	309,50	0,6364	-0,4520	-0,7941	95790,2500	-245,7758
15	315,00	0,6818	-0,3830	-0,9597	99225,0000	-302,3183
16	324,60	0,7273	-0,3185	-1,1443	105365,1600	-371,4327
17	355,40	0,7727	-0,2578	-1,3555	126309,1600	-481,7299
18	380,00	0,8182	-0,2007	-1,6061	144400,0000	-610,3142
19	403,40	0,8636	-0,1466	-1,9200	162731,5600	-774,5376
20	407,30	0,9091	-0,0953	-2,3506	165893,2900	-957,407
21	472,00	0,9545	-0,0465	-3,0679	222784,0000	-1448,036

Tabela 16 – Cálculo para obtenção das estimativas e parâmetros de regressão para Rio Largo.

N	mA (X)	$n/(N+1)$	$\ln(n/(N+1))$	$\ln(\ln^*) (Y)$	$x^2$	$X*Y$
1	25,20	0,045454545	-3,091042453	1,128508398	635,04	28,438412
2	106,00	0,090909091	-2,397895273	4591383	11236	92,706687
3	150,20	0,136363636	-1,992430165	0,689355082	22560,04	103,54113
4	168,00	0,181818182	-1,704748092	0,533417353	28224	89,614115
5	169,00	0,227272727	-1,481604541	0,39312565	28561	66,438235
6	190,00	0,272727273	-1,299282984	0,261812562	36100	49,744387
7	254,90	0,318181818	-1,145132304	0,13552018	64974,01	34,544094
8	314,90	0,363636364	-1,011600912	0,011534137	99162,01	3,6320998
9	315,00	0,409090909	-0,893817876	-0,112253243	99225	-35,359771
10	326,70	0,454545455	-0,78845736	-0,237676951	106732,89	-77,64906
11	346,00	0,5	-0,693147181	-0,366512921	119716	-126,81347
12	350,80	0,545454545	-0,606135804	-0,50065122	123060,64	-175,62845
13	378,00	0,590909091	-0,526093096	-0,642277094	142884	-242,78074
14	383,90	0,636363636	-0,451985124	-0,794106012	147379,21	-304,8573
15	390,30	0,681818182	-0,382992252	-0,959740519	152334,09	-374,58672
16	422,40	0,727272727	-0,318453731	-1,144278086	178421,76	-483,34306
17	475,40	0,772727273	-0,257829109	-1,355458281	226005,16	-644,38487
18	587,20	0,818181818	-0,200670695	-1,606090045	344803,84	-943,09607
19	626,10	0,863636364	-0,146603474	-1,920023791	392001,21	-1202,1269
20	640,10	0,909090909	-0,09531018	-2,350618656	409728,01	-1504,631
21	758,00	0,954545455	-0,046520016	-3,067872615	574564	-2325,4474

Tabela 17 – Cálculo para obtenção das estimativas e parâmetros de regressão para Garanhuns.

n	mA (X)	n/(N+1)	Ln(n/(N+1))	Ln(Ln*) (Y)	x <sup>2</sup>	X*Y
1	98,00	0,045454545	-3,091042453	1,128508398	9604	110,593823
2	120,60	0,090909091	-2,397895273	0,874591383	14544,36	105,4757208
3	122,70	0,136363636	-1,992430165	0,689355082	15055,29	84,58386856
4	126,50	0,181818182	-1,704748092	0,533417353	16002,25	67,4772952
5	139,30	0,227272727	-1,481604541	0,39312565	19404,49	54,76240301
6	142,00	0,272727273	-1,299282984	0,261812562	20164	37,17738375
7	144,70	0,318181818	-1,145132304	0,13552018	20938,09	19,60977004
8	152,70	0,363636364	-1,011600912	0,011534137	23317,29	1,761262726
9	164,50	0,409090909	-0,893817876	-0,112253243	27060,25	-18,46565842
10	177,30	0,454545455	-0,78845736	-0,237676951	31435,29	-42,1401234
11	182,90	0,5	-0,693147181	-0,366512921	33452,41	-67,03521317
12	211,90	0,545454545	-0,606135804	-0,50065122	44901,61	-106,0879935
13	212,60	0,590909091	-0,526093096	-0,642277094	45198,76	-136,5481101
14	213,00	0,636363636	-0,451985124	-0,794106012	45369	-169,1445805
15	216,50	0,681818182	-0,382992252	-0,959740519	46872,25	-207,7836224
16	224,60	0,727272727	-0,318453731	-1,144278086	50445,16	-257,0048581
17	236,60	0,772727273	-0,257829109	-1,355458281	55979,56	-320,7014292
18	251,00	0,818181818	-0,200670695	-1,606090045	63001	-403,1286014
19	259,40	0,863636364	-0,146603474	-1,920023791	67288,36	-498,0541715
20	276,10	0,909090909	-0,09531018	-2,350618656	76231,21	-649,0058108
21	297,40	0,954545455	-0,046520016	-3,067872615	88446,76	-912,3853158

De acordo com as equações 11, 12, 13 e 14 e utilizando-se dos valores das Tabelas 15, 16 e 17 obtivemos os seguintes valores, mostrados na Tabela 18.

Tabela 18 – Valores de a e b e dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  para as estações de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns pelo método da regressão.

Estações	A	b	$\alpha$	$\beta$
Santana do Mundaú	2,9803	-0,012507	238,3	79,96
Rio Largo	1,4848	-0,005721	259,53	174,79
Garanhuns	3,076541	-0,019051	161,49	52,49

As Tabelas 19, 20 e 21, mostram as precipitações médias máximas anuais para as estações de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns, ajustadas à distribuição de valores extremos pelo método de regressão.

Tabela 19 – Precipitações médias máximas anuais para a estação de Santana do Mundaú, ajustada à distribuição de valores extremos pelo método de regressão

classes	P. médio	observada	F(X)	Fê
143,80 – 190,69	167,25	3	0,0879	2
190,69 - 237,56	214,13	5	0,2585	4
237,56 - 284,46	261,01	4	0,4711	5
284,46 - 331,34	307,9	4	0,6579	4
331,34 – 378,23	354,79	1	0,7922	3
378,23 – 425,11	401,67	3	0,8784	2
425,11 - 472,00	448,56	1	0,9304	1
Total		21		21

Tabela 20 – Precipitações médias máximas anuais para a estação de Rio Largo, ajustadas à distribuição de valores extremos pelo método de regressão.

Classes	P. médio	Observ	F(X)	Fê
25,20 - 129,89	77,55	2	0,0589	2
129,89 – 234,89	182,39	4	0,2112	3
234,89 – 339,27	287,08	4	0,4256	5
339,27 – 443,96	391,62	6	0,6252	4
443,96 – 548,65	496,31	1	0,7726	3
548,65 – 653,34	601	3	0,8678	2
653,34 – 758,00	705,67	1	0,9251	2
Total		21		21

Tabela 21 – Precipitações médias máximas anuais para a estação de Garanhuns, ajustadas à distribuição de valores extremos pelo método de regressão.

Classes	P. médio	Observ	F(X)	Fê
98,00 - 126,49	112,245	3	0,0777	2
126,49 - 154,98	140,735	5	0,2265	4
154,98 - 183,47	168,225	3	0,4149	4
183,47 - 211,96	197,715	1	0,6056	4
211,96 - 240,45	226,205	5	0,7472	3
240,45 - 268,94	254,695	2	0,8442	2
268,94 - 297,43	283,185	2	0,9063	2
Total		21		21

Os valores dos parâmetros  $\alpha$ ,  $\beta$  e da precipitação máxima provável pelo método da regressão estão representados na Tabela 22.

Tabela 22 – Valores dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  e precipitações máximas prováveis para (90% , 95% e 99%) dos casos, para as estações de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns na Bacia do Rio Mundaú.

	F(90%)	F(95%)	F(99%)	$\alpha$	$\beta$
Santana do Mundaú	418,2275	475,7827	606,1087	238,2953	79,9568
Rio Largo	652,8778	778,6972	1063,5986	259,5337	174,7910
Garanhuns	279,6172	317,4021	402,9607	161,49215	52,491467

Isso significa que, em 90 % dos casos, pelo método de regressão as chuvas máximas não excedem 418,23mm, 652,88mm e 279,62mm para Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns, respectivamente. Já em 95% dos casos, pelo método da regressão, as chuvas máximas, não excedem 475,78mm, 778,70mm e 317,40mm para Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns, respectivamente. Também foram detectados que em 99% dos casos, pelo método de regressão as chuvas máximas não excedem 606,11mm, 1063,60mm e 402,96mm para Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns, respectivamente.

#### 4.4.3 MÉTODO DA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA

Os valores obtidos usando as equações (7, 8 e 9) estão apresentados nas Tabelas 23, 24 e 25.

Tabela 23 – Precipitação anual máxima para Santana do Mundaú, ajustada à distribuição de valores extremos pelo método da máxima verossimilhança.

Classes	P. médio	Observ	F(X)	Fê
143,80 -190,69	167,25	3	0,0318	1
190,69 – 237,56	214,13	5	0,1607	3
237,56 – 284,46	261,01	4	0,3796	5
284,46 – 331,34	307,9	4	0,5985	5
331,34 -378,23	354,79	1	0,7619	4
378,23 -425,11	401,67	3	0,8658	2
425,11 – 472,00	448,56	1	0,9265	1
	TOTAL	21		21

Significando que, em 10 % dos casos, há chance de que pelo método da máxima verossimilhança as chuvas máximas venham a exceder 424,80 mm, 680,41 mm e 295,4 mm para Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns, respectivamente. Já em 5% dos casos, pelo método da máxima verossimilhança, as chuvas máximas, poderão exceder 477,94 mm, 803,07 mm e 331,59 mm, para Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns, respectivamente. Também foram detectados que em 1% dos casos, pelo método da máxima verossimilhança as chuvas máximas poderiam ultrapassar o valor de 598,28 mm, 1080,81mm e 413,42 mm, para Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns, respectivamente.

Os dados de precipitação máxima provável encontrados neste trabalho, mostram que o método da máxima verossimilhança pode ser usado com maior confiabilidade neste caso, assemelhando-se a estudos feitos na região amazônica por TESHIMA, A; R; SILVA, M. M ( 1999), que encontraram valores confiáveis para a região a qual estudaram através deste método.

#### 4.5 PERÍODO DE RETORNO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PARA VALORES MÁXIMOS OBSERVADOS.

Utilizando-se das equações 19, 20, 21, 22, 23 e 24 obteve-se os períodos de retorno, representados na Tabela 27.

Tabela 27 – Períodos de retornos de chuvas intensas para as estações de Santana do Mundaú, Rio Largo e Garanhuns na Bacia do Rio Mundaú.

Estações	PMO	B	Y'	Y''	P	TR ( anos)
Sant. Do Mundaú	472,00	3,3971480	0,0334686	0,9670853	0,0329147	30,4
Rio Largo	758,00	3,3334795	0,0356688	0,9649599	0,0350401	28,5
Garanhuns	297,40	3,0321076	0,0482139	0,9529299	0,0470701	21,2

Onde PMO é a precipitação máxima observada da série de dados.

#### 4.6 REGIME HIDROLÓGICO (VARIACÃO ANUAL DE VAZÃO, VARIACÃO MÉDIA MENSAL E VARIACÃO SAZONAL).

A Figura 24 mostra a variação de vazão anual na estação fluviométrica da Fazenda Boa Fortuna, localizada no município de Rio Largo –AL, entre  $-9^{\circ} 28' 03''$  de Latitude sul e  $-35^{\circ} 51' 23''$  de Longitude oeste e com 42 metros de Altitude.

Podemos notar que os máximos valores de vazão foram encontrados nos anos de 1977 e 1978 com médias de  $62,1\text{m}^3/\text{s}$  e  $54,5\text{m}^3/\text{s}$  anuais respectivamente, onde podemos notar que esses valores máximos coincidem com os valores de máxima precipitação na bacia, principalmente nas estações de Pernambuco. O menor valor correspondeu ao ano de 1999 com  $10,5\text{m}^3/\text{s}$ , o qual não podemos relacionar com o regime de precipitação, pois somente temos dados até o período de 1985.

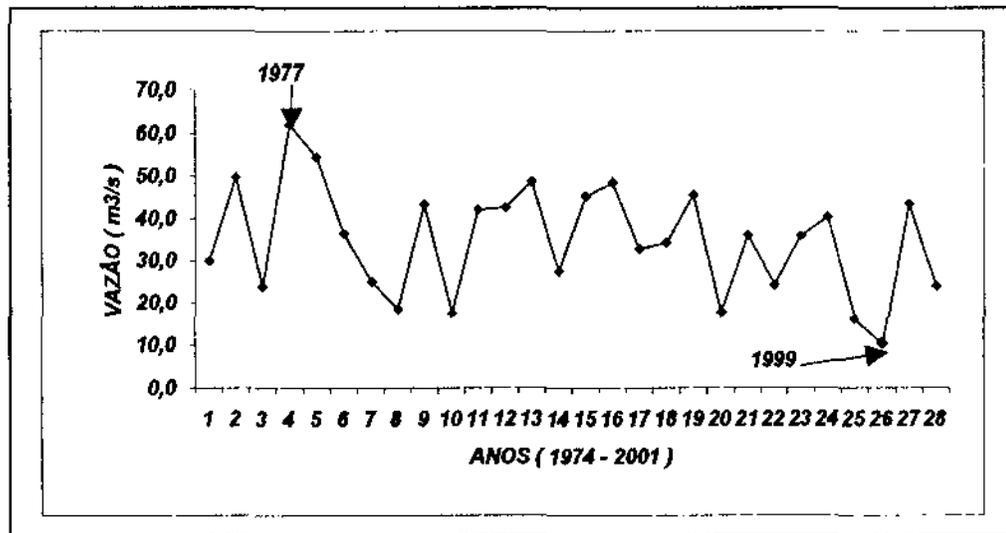


Figura 24 – Variação anual da vazão na estação da Fazenda Boa Fortuna, Rio Largo-AL para o período de (1974 –2001).

A Figura 25 mostra que o semestre que apresenta as maiores vazões ocorre de abril a setembro, com 76% de toda vazão anual, apresentando o mês de julho como o de maior vazão, com aproximadamente 20% de toda vazão anual e o mês de menor valor corresponde ao mês de janeiro com apenas 3% do total anual.

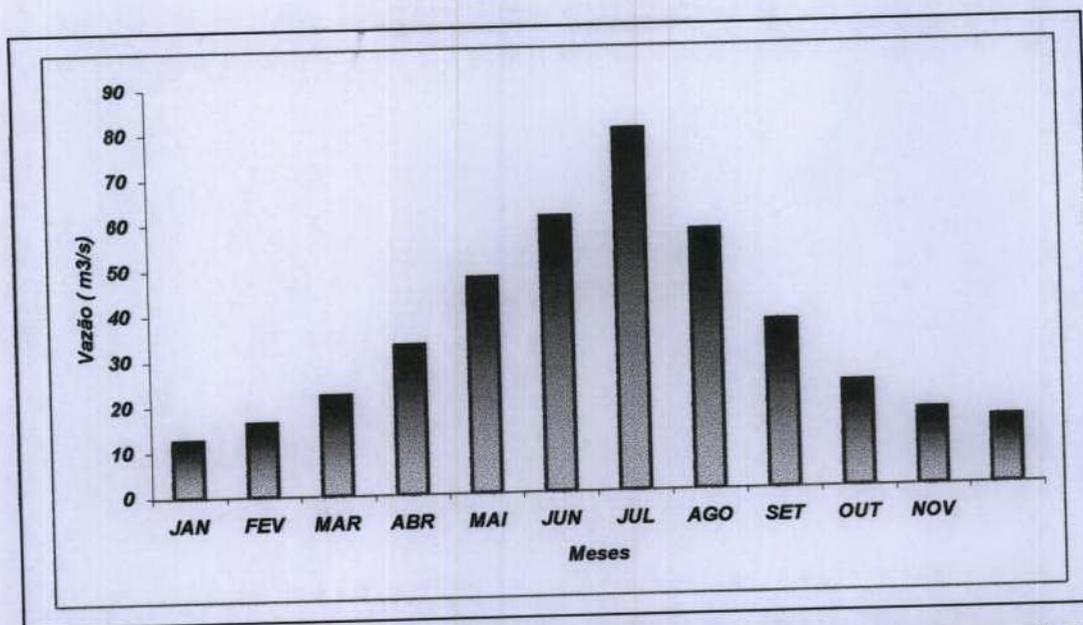


Figura 25 – Variação média mensal da vazão na estação da Fazenda Boa Fortuna, Rio Largo-AL para o período de (1974 a 2002).

A Figura 26 mostra a variação sazonal da vazão na estação da Fazenda Boa Fortuna. Pode-se observar que o trimestre de maiores vazões correspondeu a julho, agosto e setembro, com 43% da vazão anual, seguido de abril, maio e junho, com aproximadamente 33% de toda a vazão, e o trimestre de menor vazão, foram os meses de janeiro, fevereiro e março, com apenas 12% da precipitação anual.

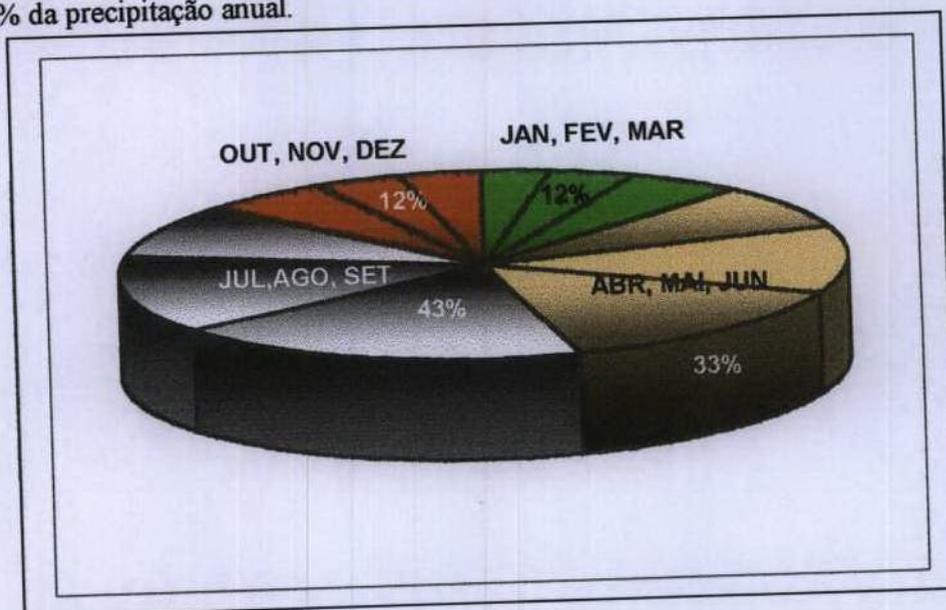


Figura 26 – Variação sazonal da vazão na estação da Fazenda Boa Fortuna, Rio Largo-AL, para o período de (1974 a 2002).

## 4.7 VAZÃO MÁXIMA PROVÁVEL

Foi encontrado os seguintes valores para os dois momentos da amostra :

$$\bar{X} = 95,95 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$s = 48,45 \text{ m}^3 / \text{s}$$

onde X é a vazão em questão, s é o desvio padrão.  $\alpha$  e  $\beta$  são os parâmetros de estimativas que foram determinados através de três métodos estudados neste trabalho.

### 4.7.1 MÉTODO DOS MOMENTOS

Substituindo esses valores nas equações 5 e 6 , encontramos os seguintes valores para as estimativas:  $\alpha = 74,14$  e  $\beta = 37,78$

Onde  $\alpha$  e  $\beta$  são os parâmetros de estimativas,

Tabela 28 - Vazão máxima anual da estação hidrométrica Fazenda Boa Fortuna, ajustada a distribuição de valores extremos pelo método dos momentos.

Classes	P. médio	Observ	F(X)	fe
21,80 - 48,14	34,97	6	0,0596	2
48,14 - 74,49	61,32	5	0,2456	6
74,49 - 100,83	87,66	4	0,4970	7
100,83 - 127,17	114	8	0,7060	6
127,17 - 153,51	140,34	2	0,8408	4
153,51 - 179,86	166,69	1	0,9173	2
179,86 - 206,20	193,03	2	0,9579	1
<b>Total</b>		<b>28</b>		<b>28</b>

onde P. médio = Ponto médio; fe = Frequências esperadas,

Os resultados da vazão máxima provável são mostrados na Tabela 29:

Tabela 29 – Vazão máxima provável para (90%, 95% e 99% ) na estação da Fazenda Boa Fortuna, município de Rio Largo –AL.

F(X)	Qmáx(m <sup>3</sup> /s)
F(90%)	159,16
F(95%)	186,35
F(99%)	247,93

Isso significa que, em 90% dos casos, pelo método dos momentos, a vazão não ultrapassa a marca de 159,16 m<sup>3</sup>/s, em 95% dos casos, não excedem 186,35 m<sup>3</sup>/s e em 99%, não excede 247,93 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.7.2 MÉTODOS DE REGRESSÃO

Na Tabela 30 são apresentados em ordem crescentes os valores de máxima vazão anual (X), os valores de  $n/(N+1)$ , os valores de  $\ln(n/(N+1))$ , valores de  $\ln(\ln^*(Y))$  além de valores de  $x^2$  e  $X*Y$ , onde n representa o número de ordem, N é o tamanho da amostra.

Tabela 30 – Cálculo para obtenção das estimativas e parâmetros de regressão.

Q	N	mA (X)	$n/(N+1)$	$\ln(n/(N+1))$	$\ln(\ln^*(Y))$	$x^2$	$X*Y$
91,00	1	21,80	0,0345	-3,3673	1,2141	475,24	26,4676
178,20	2	30,00	0,0690	-2,6741	0,9836	900,00	29,5089
41,70	3	35,50	0,1034	-2,2687	0,8192	1260,25	29,0816
206,20	4	41,70	0,1379	-1,9810	0,6836	1738,89	28,5062
102,20	5	41,90	0,1724	-1,7579	0,5641	1755,61	23,6356
78,70	6	43,20	0,2069	-1,5755	0,4546	1866,24	19,6385
62,20	7	62,20	0,2414	-1,4214	0,3516	3868,84	21,8715
43,20	8	66,30	0,2759	-1,2879	0,2530	4395,69	16,7724
125,50	9	67,50	0,3103	-1,1701	0,1571	4556,25	10,6019
30,00	10	70,10	0,3448	-1,0647	0,0627	4914,01	4,3955
127,70	11	71,60	0,3793	-0,9694	-0,0311	5126,56	-2,2251
120,10	12	78,70	0,4138	-0,8824	-0,1251	6193,69	-9,8471
109,30	13	85,20	0,4483	-0,8023	-0,2202	7259,04	-18,7623
66,30	14	91,00	0,4828	-0,7282	-0,3171	8281,00	-28,8585
201,00	15	100,60	0,5172	-0,6592	-0,4167	10120,36	-41,9159
116,90	16	102,20	0,5517	-0,5947	-0,5197	10444,84	-53,1119
70,10	17	104,20	0,5862	-0,5341	-0,6272	10857,64	-65,3548
123,30	18	109,30	0,6207	-0,4769	-0,7404	11946,49	-80,9255
85,20	19	116,90	0,6552	-0,4229	-0,8607	13665,61	-100,6184
41,90	20	120,10	0,6897	-0,3716	-0,9900	14424,01	-118,9032
123,40	21	123,30	0,7241	-0,3228	-1,1308	15202,89	-139,4282
71,60	22	123,40	0,7586	-0,2763	-1,2864	15227,56	-158,7463
104,20	23	125,50	0,7931	-0,2318	-1,4619	15750,25	-183,4651
100,60	24	127,70	0,8276	-0,1892	-1,6647	16307,29	-212,5859
35,50	25	141,20	0,8621	-0,1484	-1,9077	19937,44	-269,3685
21,80	26	178,20	0,8966	-0,1092	-2,2146	31755,24	-394,6383
141,20	27	201,00	0,9310	-0,0715	-2,6386	40401,00	-530,3650
67,50	28	206,20	0,9655	-0,0351	-3,3498	42518,44	-690,7291

Utilizando os valores obtidos na Tabela 30, e as equações apresentadas para esse método, onde obteve-se os seguintes valores de  $a$ ,  $b$ ,  $\alpha$  e  $\beta$ , representados na Tabela 31.

Tabela 31 – Valores dos parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $\alpha$  e  $\beta$  pelo método da regressão.

A	1,6666
B	-0,0229
$\alpha$	72,6557
$\beta$	43,5945

Após a substituição das estimativas dos valores de vazão máxima anual, ajustada a esse método estão representados na Tabela 32.

Tabela 32 - Vazão anual máxima ajustada à distribuição de valores extremos pelo método de regressão

Classe	Ponto médio	Observ	F(X)	fe
21,80 – 48,14	34,97	6	0,0931	3
48,14 – 74,49	61,32	5	0,2734	5
74,49 - 100,83	87,66	4	0,4922	6
100,83 - 127,17	114	8	0,6788	5
127,17 - 153,51	140,34	2	0,8092	4
153,51 - 179,86	166,69	1	0,8908	3
179,86 - 206,20	193,03	2	0,9387	2
Total		28		28

onde P. médio = Ponto médio; fé = Frequência esperada.

Os resultados das vazões máximas prováveis estão apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 – Vazão máxima provável pelo método da regressão.

F(X)	Qmáx(m <sup>3</sup> /s)
F(90%)	170,76
F(95%)	202,14
F(99%)	273,20

Significando que, em 90% dos casos, para o método da regressão a vazão não excedem o valor de 170,76 m<sup>3</sup>/s, já em 95% dos casos não excede 202,14 m<sup>3</sup>/s e em 99% não ultrapassa 273,20 m<sup>3</sup>/s.

### 4.7.3 MÉTODO DA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA

Para tal método obtive-se os seguintes valores das estimativas:

$$\alpha = 77,82$$

$$\beta = 40,38$$

Finalmente, substituindo as estimativas encontradas, obtive-se os valores de vazão máxima anual, ajustadas para o este método, apresentado na Tabela 34.

Tabela 34 – Vazão máxima anual, ajustada à distribuição de valores extremos pelo método da máxima verossimilhança.

Classe	P. médio	Observ	F(X)	fe
21,80 - 48,14	34,97	6	0,0555592	2
48,14 - 74,49	61,32	5	0,2220321	5
74,49 - 100,83	87,66	4	0,4566731	7
100,83 - 127,17	114	8	0,6648419	6
127,17 - 153,51	140,34	2	0,8084805	4
153,51 - 179,86	166,69	1	0,8952104	3
179,86 - 206,20	193,03	2	0,9439783	1
Total		28		28

onde P.médio = Ponto médio e fe =Frequência esperada

Os resultados das vazões máximas prováveis são mostrados na Tabela 35.

Tabela 35 – Vazão máxima provável para F (X) igual a (90%, 95% e 99%) pelo método da máxima verossimilhança.

F(X)	Qmáx( m <sup>3</sup> /s)
F(90%)	186,81
F(95%)	215,87
F(99%)	281,68

Observa-se que, em 90% dos casos pelo método da máxima verossimilhança, não ultrapassa 186,81 m<sup>3</sup>/s, em 95% dos casos não excedem 215,87 m<sup>3</sup>/s, já em 99% dos casos o valor não ultrapassou 281,68 m<sup>3</sup>/s.

Os resultados mostraram que o método mais recomendado para o cálculo da vazão máxima provável é o método da máxima verossimilhança, pois este apresentou os maiores valores, e sabendo-se que o método da máxima verossimilhança apresenta uma propriedade muito forte que é a coerência, isto é, quanto maior for o tamanho da amostra, (no nosso caso o número de anos), mais esta estimativa será próxima de um valor estimado, dando então uma margem muito boa de confiança, enquanto que os outros métodos não apresentam o grau de confiança da mesma.

Muitos autores tem encontrado resultados confiáveis utilizando esse método, como JÚNIOR, P. I. C. S e PACHECO, R. B (2001), que encontraram resultados significativos para a estação hidrométrica de Belo Horizonte, na Bacia do Rio Xingu-Pa.

#### 4.8 - PERÍODO DE RETORNO DE VAZÃO MÁXIMA.

O Período de retorno para os valores de maiores vazões para a estação da Fazenda Boa Fortuna, estão representados na Tabela 36.

Tabela 36 – Período de retorno de vazões intensas para a estação da Fazenda Boa Fortuna no município de Rio Largo-AL no período de (1965 a 2001).

Estações	B	Y'	Y''	P	VMO	TR ( anos)
Fazenda Boa Fortuna	3,495387788	0,030338982	0,970118566	0,0,29881434	206,2	33,5

Onde VMO é a vazão máxima observada.

#### 4.9 - CURVA CHAVE DO RIO MUNDAÚ

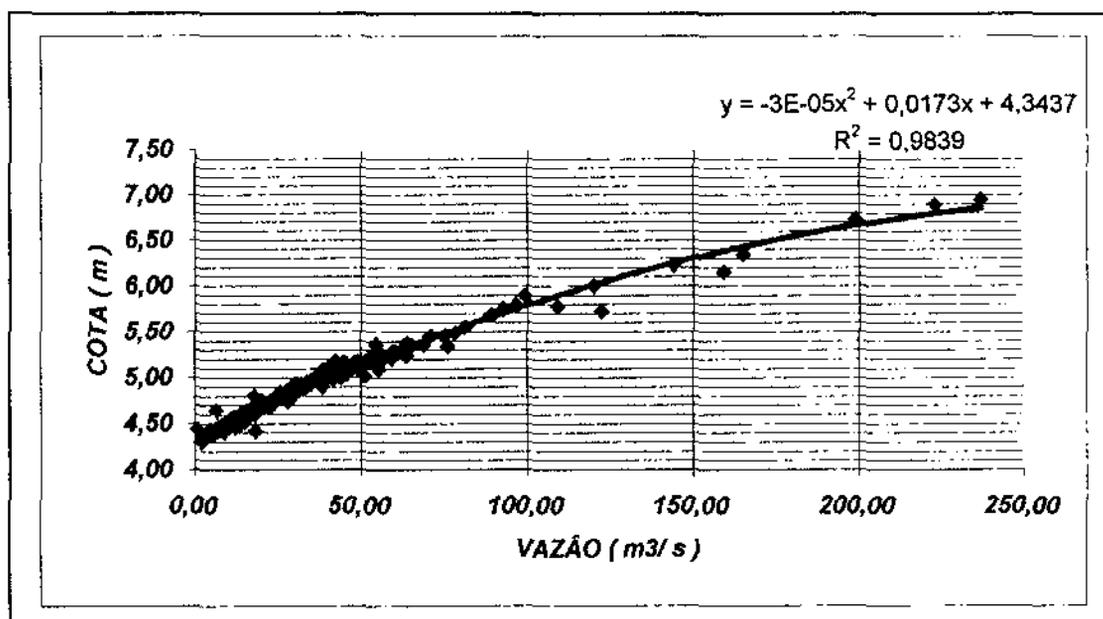


Figura 27 – Relação Cota (m) X Vazão (m<sup>3</sup>/s), (Curva – Chave) da estação da Fazenda Boa Fortuna no Rio Mundaú, município de Rio Largo -AL, com dados do período de (1965-2001).

O ajuste dos pontos Cota X vazão ( Curva – chave ), no período de 1974 a 2002, foi melhor encontrado, através de uma equação polinomial do 2º grau, do tipo:  $h = -3 \times 10^{-5} Q^2 + 0,173Q + 4,3437$ , com um coeficiente de determinação igual a  $R^2 = 0,9839$ , o que confirma uma boa correlação, como mostrado na Tabela abaixo.

Tabela 37 – Valores dos Coeficientes de Determinação do ajuste da Curva-Chave para a Estação da Fazenda Boa Fortuna, Rio Largo-AL.

Curvas de Ajuste	Coefficiente de Determinação
Linear	95,5%
Potência	84,7%
Polinomial do 2º grau	98,3%
Exponencial	92,4%

Estudos feitos por NEVES ( 2001), mostrou que para o Rio Capim /PA o ajuste polinomial conseguiu a melhor correlação, com cerca de 99% mostrando-se bastante confiável, pois quanto mais próximo de 100% melhor será retratada a realidade da vazão nesta bacia.

## 5. CONCLUSÃO

A variabilidade anual da Precipitação observada no período de 1965 a 1985 mostrou que os anos de máximos valores ocorreram em diferentes anos entre as estações estudadas, com 1157,5 mm (1978) para Garanhuns; 1700 mm (1969) para Santana do Mundaú e 2697,6 mm (1974) para Rio Largo. Já os menores valores coincidiram em todas as estações para o ano de 1983, com 489,4 mm para Garanhuns; 876,9 mm para Santana do Mundaú e 132 mm para Rio Largo, notamos que a bacia não sofreu influência do ELNIÑO, com exceção do ano de 1982-1983, ano que ocorreu o EL NIÑO mais forte do século, pois ficou claro a sua ação sobre a região neste período.

A variabilidade sazonal observada foi comum nas três estações, sendo o trimestre mais chuvoso (abril, maio e junho), e o trimestre menos chuvoso (outubro, novembro e dezembro),

A distribuição espacial da precipitação na Bacia do Rio Mundaú, mostra-nos que os maiores valores de precipitação são encontrados próximo ao litoral, onde se encontra a foz do rio, enquanto que na parte mais central, onde são encontradas as maiores altitudes apresenta-se com uma ligeira diminuição deste parâmetro. Também fica visível que quanto mais afastado do litoral e em direção da região do polígono da seca, os valores de precipitação apresentam-se bem menores.

O estudo da precipitação máxima provável, mostra que o método da máxima verossimilhança, com a probabilidade de 90%, 95% e 99% apresentaram os maiores valores de precipitação máxima, observamos, portanto, para o dimensionamento de obras hidráulicas onde se leva em consideração a capacidade ideal para suportar a ocorrências de precipitação que atinge um alto índice pluviométrico, conclui-se que pode ser utilizado o método da máxima verossimilhança para determinar os valores máximos mais confiáveis.

Os períodos de retorno encontrados para os valores máximos observados de precipitação foram de 30,4 anos para Santana do Mundaú, 28,5 anos para Rio Largo e 21,2 anos para Garanhuns.

O regime de vazão observado na estação fluviométrica da Fazenda Boa Fortuna, apresentou uma variação mensal bastante suavizada com o máximo valor sendo observado no mês de julho e o mínimo valor sendo observado em janeiro.

A variação anual da vazão, observada de 1974 a 2001, mostrou o máximo valor no ano de 1977 e o mínimo valor em 1999.

A variação sazonal observada na estação nos mostra que o trimestre de maior vazão é (julho, agosto e setembro), já o trimestre menos chuvoso equivalente aos meses de (janeiro, fevereiro e março).

O estudo da vazão máxima provável, para a estação da Fazenda Boa Fortuna, mostra que o método da máxima verossimilhança, com a probabilidade de 90%, 95% e 99% apresentaram os maiores valores de vazão máxima, observamos. Portanto, para o dimensionamento de obras hidráulicas onde se leva em consideração à capacidade ideal para suportar a *ocorrências de descargas de vazões que atinjam um alto índice*, conclui-se que pode ser utilizado o método da máxima verossimilhança para determinar os valores máximos mais confiáveis.

## 6. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALVES, L.M.; ARAGÃO, M.R.S.; GÓIS, R.S.S.; ARAGÃO, R. *Análise de Intensidades Máximas de Chuva no Estado da Paraíba. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, p. 1473 - 1479, Rio de Janeiro, RJ. (2000).

ALVES, J.M.B; E REPELLI, A .C. *Estudo Preliminar entre as Chuvas no Norte do Nordeste e os Eventos EL NIÑO – Oscilação Sul ENOS* (1997).

AMORIM, R. C. F; et al. *Determinação do período de retorno da precipitação pluviométrica por meio da distribuição de Gumbel para a região de Cascavel – PR. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia em Foz de Iguaçu-PR 2002.*

ANDRADE, A . R; NERY, J. T. *Análise preliminar da precipitação pluviométrica da bacia hidrológica do rio Ivai – Paraná. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia em Foz do Iguaçu – PR 2002.*

ASSIS, N. F.; et al. *Aplicações de estatística à climatologia (Teoria e Prática)*. UFPel. ED. *Universitária*. 1996.

ATAÍDE, K.R.P.; RIBEIRO, J.B.M.; ROLIM, P.A.M. (2002). *Balço hídrico para estimativa do microclima da Bacia do Rio Urucu - AM*. p. 21 – 22, (2002).

BARBOSA, A . M; FILL, H.D. *Modelo de previsão de vazão baseado no hidrograma unitário. (RBRH) Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol 6, nº4, p. 165 a 174, out/dez (2001).

BERNADO, L.S. *Climas e suas anomalias para a cidade de Maceió. Tese de Mestrado, UFAL*. (1999)

BRANDÃO, I.N.; FERREIRA, M.E. (2000). *Bacia do Rio Pararangaba (São José dos Campos – SP): Características Físicas e Impacto da Urbanização. Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), São José dos Campos – SP. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, p. 1414 - 1421, Rio de Janeiro, RJ.

BRUSA, L. C; CLARKE, R. T. *Erros envolvidos na estimativa da razão máxima utilizando curva-chave. Caso de estudo: Bacia do Rio Ibicuí, RS. (RBRH) Revista Brasileira de Recurso Hídrico*, vol 4, nº3, p. 91 a 95, jul/set 1999.

CARDOSO, A.O;DIAS, P. L.S. *Relação entre vazão de alguns rios do Estado de São Paulo e Anomalias de TSM no Atlântico e Pacífico. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia em Foz de Iguaçu-Pr 2002.*

COELHO, S.C.B.; OLIVEIRA, A.M. (2000) *Hidrologia da Microbacia Urbana do Bairro da Pajuçara, Maceió, Alagoas. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, p. 1406 - 1412, Rio de Janeiro, RJ.

DIAS, P.G.C.; VENDRAME, I.F.; FISCH, G.; MARENGO, J A. *Ciclo Diário e Sistemas Produtores de Precipitação em Rondônia. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, p. 1373 - 1380, Rio de Janeiro, RJ (2000).

DICKINSON, R. E.; HENDERSON-SELLERS, A. *Modelling tropical deforestation: A study of GCM land surface parametrizations. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, v.114, p.439-462, (1988).

EVERITT, B. *Cluster Analysis*. Heinemann Educational Books, p.135, London (1974).

GARCEZ, L.N. *Hidrologia*, vol 1, editora Edgard Bliicher Ltda. SP (1967).

GOMES, H.B; SILVA, C.M.B; PACE, F.T. *Análise estatística de dados hidrometeorológicos da bacia do Rio Mundaú – Alagoas. XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e III Reunião Latino – Americana de Agrometeorologia* (2000).

GOMES, B. H. – *Análise Estatística de Dados Hidrometeorológicos da Bacia do Rio Mundaú – Alagoas. UFAL, PIBIC-CNPq / UFAL 1996/1997.*

GALVÍCIO, J. D; SOUSA, F. A. *Precipitação máxima provável com duração de um dia no Estado da Paraíba. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu-PR 2002.*

GALVÍCIO, J. D; ZOUZA. *Regionalização da precipitação sobre a Bacia Hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa. XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – Santa Catarina 2003.*

JÚNIOR, P. I. C. S; PACHECO, R. B. *Distribuição de probabilidade, período de retorno e risco permissível de valores extremos de descarga máxima de 24 horas da estação hidrométrica de Belo Horizonte, localizada na bacia do Rio Xingu-Pa.VIII curso de especialização em meteorologia tropical área de concentração hidrometeorologia, trabalho de conclusão de curso (2001).*

JUNIOR,S.C.J. *Caracterização de períodos secos ou chuvosos através dos quantis para localidades do Estado de Alagoas. Trabalho de Conclusão de Curso, UFAL, (1999).*

JUNIOR,S.S.R. *Análise Estatística da Precipitação diária em Maceió-Alagoas. Trabalho de Conclusão de Curso.UFAL. Janeiro (2001).*

KARASAWA, S.; MELO, R. W.; PIEDADE, S.S.M.; ANGELOCCI, L.R.; MANIERO, M. A. *Análise da Tendência da Variação da Altura Pluviométrica e do Número de Dias com Chuva ao Longo dos Anos em Araras,SP. XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Santa Maria-RS, (2003).*

KOUSKY, V. E. Frontal Influences on Northeast Brasil. *Monthly Wether Review* 107 (9), pp. 1140 – 1153. (1979).

KOUSKY, V.E. *Diurnal Rainfall Variation On Northeast Brasil. Monthly Weather Review.* 108 (4), PP 488 – 498, (1980).

Localização e características do Estado de Pernambuco. Disponível na Internet via, site ( [www.pernambuodeA-Z.com.br](http://www.pernambuodeA-Z.com.br)). Arquivo consultado em (2003).

MARQUES, J.; PINHEIRO, F.M.A. Análise das Chuvas Máximas em 24 Horas na Área do Maracanã, RJ. *Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia*, p. 1503 - 1506, Rio de Janeiro, RJ, (2000)

MEDEIROS, e MOLION. Influência do clima global nos prognósticos das descargas de bacia hidrografia do estado de Alagoas. Tese de Pós-Graduação em meteorologia Maceió-AL, (2002).

MELO, A B. C. Utilização de Pluviogramas Visando Caracterizar o Horário de Ocorrência, Duração e Intensidade da Precipitação de Maceió-AL. Universidade Federal de Alagoas – UFAL, (1987).

MELLO, M. H. A.; ARRUDA, H.V.; ORTOLANI, A.A. *Probabilidade de ocorrência de totais pluviais máximos horários, em Campinas – São Paulo. Ver. IG. São Paulo*, v.15, n.1/2, p.95-67, (1994).

MELO, W.R.; SHIGUEKAZU, K.; PIEDADE, S.M.S.; AGELOCCI, R.L.; MANIERO, A. M. Análise da tendência da variação da altura pluviométrica e do número de dias com chuva ao longo dos anos em Araras-SP. XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria-RS, (2003).

MOURA et al Análise Preliminar da Variabilidade Pluviométrica do Setor Leste do Nordeste do Brasil: Parte. II. XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Santa Maria-RS, (2003).

NEVES, D.G. Aplicação do modelo estatístico de previsão hidrométrica na bacia do Rio Capim em Badajós. Trabalho de conclusão de curso, UFPA, Belém – Pa. (2001).

NERY, J. T. Estudo dos dias de chuvas na bacia do rio Uruguai XIII congresso brasileiro de agrometeorologia – Santa Catarina, (2003).

NERY, J. T. Caracterização da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Ivai – Paraná. XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – Santa Catarina, (2003).

NERY, J. T.. Estudio climático de la precipitación del Brasil Meridional asociado con fenómeno extrarregionales, Buenos Aires, Argentina. Tese de doutorado, Curso de Pós

Graduação em Meteorologia, Departamento Ciências da Atmosfera, Universidade de Buenos Aires, pp. 138, (1996).

OLIVEIRA, J.C, Estudo da Variabilidade da Precipitação nas Distintas regiões do Estado de Alagoas. Maceió, UFAL, 76p. (1985).

PDRH- MUNDAÚ, Doc. Síntese, Janeiro de (1997).

PINTO, N. L. S; HOLTZ, C.T.; MARTINS, J. A. GOMIDE, F.L.S. Livro Hidrologia Básica, editora Ed Gard Bleicher Ltda

PONTES, A.L. Monitoramento das chuvas máximas na Bacia do Rio Paraíba do Norte. XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – Santa Catarina (2003).

QUADRO, M. F. L. Climatologia de precipitação e temperatura. (CPTEC / INPE / MCT) Centro de previsão de tempo e Estudos climáticos Cachoeira Paulista-SP (2000).

RAMOS, A e CONDE. Determinação da precipitação máxima provável (PMP) em Belém – Pa. Curso de especialização em meteorologia tropical área de conclusão em hidrometeorologia trabalho de conclusão de curso, UFPA, (1997).

RATISBONA, L.R. Climates of Central and South America Study of Drougths in South India. *Ind. Jour. Met. And Geophys.* 15 (3), p. 393 – 402, (1964).

REICHARDT, K.; ANGELOCCI, L. R.; BACCHI, O. O. S.; PILOTTO, J. E. Daily rainfall at a local scale (1,000 ha), in Piracicaba, SP, Brazil, and its implications on soil water recharge *Scientia Agricola*, v. 52, n. 1, p 43-49, (1995).

ROSSATO, SARTORI, M.G.B; MISSIO, L.R.; ROSA, J.L. A Gênese das Enchentes de São Miguel” na Região Central do Rio Grande do Sul XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria, Rio Grande do Sul-Brasil Agosto de (2003).

ROCHA, M.DAS G.SORIANO, Estudo das Oscilações Extremas no Estado de Alagoas . Maceió, UFAL, (1985).

SÁ, I. B. Monitoramento Ambiental: A degradação ambiental no trópico semi-árido do Nordeste Brasileiro. Anais do I simpósio regional de geoprocessamento e sensoriamento remoto Aracaju, (2002).

SANTOS, S.A. Caracterização dos recursos forrageiros nativos da sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. Tese de Doutorado. P. 195, (2001).

SANTOS, A. R.; SEDIYAMA, G.C.; MATOS, T.; SOARES, V.P.; PEZZEPANE, J.E.M. Modelagem e caracterização morfométrica da Bacia Hidrológica do Rio Turvo Sujo, Minas Gerais. XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria -RS, (2003)

SEPLAN-AL. Secretaria de Planejamento de Alagoas. Os Recursos Hídricos do Estado de Alagoas. Maceió - AL, p.13, (1994).

SERIANA, B. M. A; GALDINO, S. Análise das chuvas máximas na Sub-Região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia-Santa Catarina, (2003).

SILVA, E. A. S; TUCCI, C.E.M. Relação entre as vazões máximas diárias e instantâneas. (RBRH) Revista Brasileira de Recurso Hídrico, vol 3, nº 1, pág 133 – 151, (1998).

SILVA, F. D. S; BRITO, J.I.B.; SILVA, F.D.. Monitoramento das chuvas máximas na Bacia do Rio Piranhas - PB. XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - Santa Catarina, (2003).

SILVA, L. P. Modelagem hidrológica de grandes bacias hidrográficas. A necessidade de novas metodologias. (RBRH) Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol 5, nº4, (2000).

SILVA, M. M., GOLÇALVES, A.R.T.; MAKINO, M. Distribuição de Probabilidade de Valores Extremos da Precipitação Máxima de 24 Horas de Belém do Pará. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, p. 1381 - 1385, Rio de Janeiro, RJ, (2000).

SILVAPALAN, M.; e BLOSCHL, G. Transformation of point rainfall to areal rainfall : Intensity – duration-frequency curves. Journal of hydrology, 204, p. 150-167, ( 1998).

SILVEIRA, A.L.L. Equação para o coeficiente de desagregação de chuvas. (RBRH) Revista Brasileira de Recurso Hídrico, vol 5, nº4, p. 143 a 147, (2000).

SOUZA.E.M. Utilização de Dados Meteorológicos visando Analisar a Frequência de Precipitação em Diferentes Períodos do dia em Alagoas (1997).

SOUZA F. Variabilidade Pluviométrica Intra -sazonal no Estado do Ceará. Relação com a Agricultura de Subsistência e a Afluência em seus Reservatórios Hídricos. XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Santa Maria-RS, (2003).

SOUZA, R.C. Ações e questão integrada para o complexo estuarino lagamar Mundaú / Manguaba em Alagoas 2000. [www.Ação\\_integrada.com.br](http://www.Ação_integrada.com.br)

SPRING, volume 3.5, (versão Windows).

TESHIMA, A. R; SILVA, M. M. Distribuição de probabilidade de valores extremos da precipitação máxima de 24 horas de Belém – Pará. VII Curso de especialização em

meteorologia tropical área de concentração hidrometeorologia, trabalho de conclusão de curso, (1999).

VIANELO, R.L.& ALVES, A. R.. Meteorologia Básica e Aplicações, Imprensa Universitária, Viçosa UFV, Viçosa, MG, p. 449, (1991).

VILLELA, S. M; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada, editora Mc Graw-Hill do Brasil Ltda (1975).

YAMAZAKI, Y. e RAO, V. B. Tropical cloudiness over the south Atlantic ocean. J. Meteor Soc. Japan. v. 55, p. 205-207, (1997).

WISTER, C. O e BRASTER, F. E. Livro Hidrologia, Editora Aliança, tradução de Leonino Júnior, (1964).