



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

VARIABILIDADE E TENDÊNCIA DAS CHUVAS NO ESTADO DA PARAÍBA

RODRIGO CÉZAR LIMEIRA

CAMPINA GRANDE – PB

Dezembro de 2008

VARIABILIDADE E TENDÊNCIA DAS CHUVAS NO ESTADO DA PARAÍBA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de mestre.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Subárea: Climatologia Estatística

Orientadores: Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa

Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues e Silva

Orientando: Rodrigo César Limeira

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA
CENTRAL DA UFCG

L733v

Limeira, Rodrigo César.

Variabilidade e tendência das chuvas no Estado da
Paraíba / Rodrigo César Limeira. - Campina Grande, 2008.
114 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade
Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos
Naturais, 2008.

"Orientação : Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de
Sousa, Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues e Silva".
Referências.

1. Chuvas - Paraíba (PB). 2. Variabilidade - Chuvas -
Paraíba (PB). 3. Tendência - Chuvas - Paraíba (PB). 4.
Dissertação - Meteorologia. I. Sousa, Francisco de Assis
Salviano de. II. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues e. III.
Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande
(PB). IV. Título

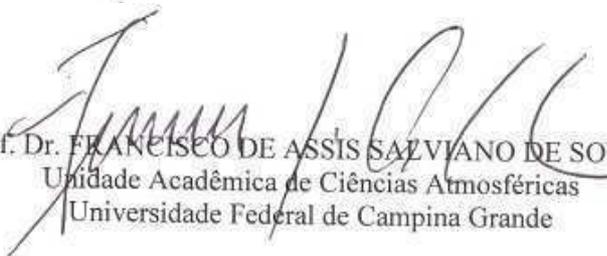
CDU 556.12(813.3)(043)

RODRIGO CÉZAR LIMEIRA

VARIABILIDADE E TENDÊNCIA DAS CHUVAS NO ESTADO DA PARAÍBA

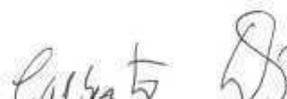
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 22/12/2008

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. RENILSON TARGINO DANTAS
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. GILBERTO BARBOSA DINIZ
Departamento de Meteorologia
Universidade Federal de Pelotas

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1.INTRODUÇÃO.....	6
2.OBJETIVO.....	9
2.1 Objetivo Geral.....	9
2.2 Objetivos Específicos.....	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1 A Estatística Aplicada em Estudos Climatológicos.....	11
3.2 A Região Nordeste e o Estado da Paraíba.....	24
3.2.1 Litoral.....	29
3.2.2 Agreste.....	29
3.2.3 Brejo.....	30
3.2.4 Carriri/Curimataú.....	31

3.2.5 Sertão.....	33
3.2.6 Alto-sertão.....	35
3.3 Sistemas Meteorológicos Precipitantes Que Atuam na Paraíba...	36
3.4 Zona de Convergência Intertropical.....	36
3.5 Ondas de Leste.....	38
3.6 Vórtices Ciclones de Ar Superior.....	39
4.MATERIAL E MÉTODOS.....	41
4.1 Dados Utilizados.....	41
4.2 Análise de Tendência e Variabilidade da Precipitação.....	45
4.3.1 Variabilidade da Precipitação.....	45
4.3.2 Tendência da Precipitação.....	46
5.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
6.CONCLUSÕES.....	102
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

AGRADECIMENTOS

A Deus pela assistência nos momentos de dificuldade, aos amigos Morgana Viturino de Almeida e Wagner de Aragão Bezerra, aos colegas João Hugo Baracuy, Lincoln Elói de Araújo, Ewerton, Bérqson Guedes Bezerra, Lindemberg Lucena da Silva, Alcides Olinto, Jane Lúcia da Nóbrega e Edivania de Araújo, aos primos Glauco César de Almeida e Antônio Marcos César de Almeida pelo incentivo e apoio a mim dedicado ao longo do curso, aos professores: Francisco de Assis Salviano de Sousa e Vicente de Paulo Rodrigues e Silva pelos dois anos de orientação e co-orientação respectivamente no mestrado, ao CNPq pelo apoio e recursos financeiros, e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1	Distribuição espacial dos municípios analisados no Estado da Paraíba.....	35
Figura 1a	Desvio acumulado da precipitação no município de Manaíra.....	49
Figura 1b	Desvio acumulado da precipitação no município de Conceição.....	51
Figura 1c	Desvio acumulado da precipitação no município de Cajazeiras.....	52
Figura 1d	Desvio acumulado da precipitação no município de Souza.....	53
Figura 2a	Desvio acumulado da precipitação no município de Patos.....	55
Figura 2b	Desvio acumulado da precipitação no município de Malta.....	56
Figura 2c	Desvio acumulado da precipitação no município de Catingueira.....	57
Figura 2d	Desvio acumulado da precipitação no município de Teixeira.....	58
Figura 3a	Desvio acumulado da precipitação no município de Soledade.....	60
Figura 3b	Desvio acumulado da precipitação no município de Cabaceiras.....	61
Figura 3c	Desvio acumulado da precipitação no município de Pedra Lavrada.....	62
Figura 3d	Desvio acumulado da precipitação no município de Picuí.....	63
Figura 4a	Desvio acumulado da precipitação no município de Campina Grande....	65
Figura 4b	Desvio acumulado da precipitação no município de Araruna.....	66
Figura 4c	Desvio acumulado da precipitação no município de Aroeiras.....	68
Figura 4d	Desvio acumulado da precipitação no município de Ingá.....	69
Figura 5a	Desvio acumulado da precipitação no município de Bananeiras.....	71
Figura 5b	Desvio acumulado da precipitação no município de Guarabira.....	73
Figura 5c	Desvio acumulado da precipitação no município de Alagoa Nova.....	75
Figura 5d	Desvio acumulado da precipitação no município de Mulungú.....	76
Figura 6a	Desvio acumulado da precipitação no município de Mataraca.....	79
Figura 6b	Desvio acumulado da precipitação no município de Mamanguape.....	81
Figura 6c	Desvio acumulado da precipitação no município de João Pessoa.....	83
Figura 6d	Desvio acumulado da precipitação no município de Alhandra.....	85
Figura 7	Precipitação média (a), tendência (b), nível de significância (c), desvio padrão (d), prognóstico para (2050) (e) e prognóstico para (2100) (f) para os municípios do estado da Paraíba.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Informações referentes aos municípios representativos da Microrregião do Alto-Sertão da Paraíba.....	32
Tabela 2	Informações referentes aos municípios representativos da Microrregião do Sertão da Paraíba.....	32
Tabela 3	Informações referentes aos municípios representativos da Microrregião do Cariri/Curimataú da Paraíba.....	33
Tabela 4	Informações referentes aos municípios representativos da Microrregião do Agreste da Paraíba.....	33
Tabela 5	Informações referentes aos municípios representativos da Microrregião do Brejo da Paraíba.....	34
Tabela 6	Informações referentes aos municípios representativos da Microrregião do Litoral da Paraíba.....	34
Tabela 7	Tendência, precipitação média, desvio – padrão, níveis de significância e prognóstico de chuvas para os municípios da Microrregião do Alto-Sertão da Paraíba.....	90
Tabela 8	Tendência, precipitação média, desvio – padrão, níveis de significância e prognóstico de chuvas para os municípios da Microrregião do Sertão da Paraíba.....	91
Tabela 9	Tendência, precipitação média, desvio – padrão, níveis de significância e prognóstico de chuvas para os municípios da Microrregião do Cariri da Paraíba.....	92
Tabela10	Tendência, precipitação média, desvio – padrão, níveis de significância e prognóstico de chuvas para os municípios da Microrregião do Agreste da Paraíba.....	93
Tabela11	Tendência, precipitação média, desvio – padrão, níveis de significância e prognóstico de chuvas para os municípios da Microrregião do Brejo da Paraíba.....	94
Tabela12	Tendência, precipitação média, desvio – padrão, níveis de significância e prognóstico de chuvas para os municípios da Microrregião do Litoral da Paraíba.....	95

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

SIGLAS

AR – Modelo Auto-regressivo

SARIMA – Modelo Auto-regressivo Integrado que Incorpora a Sazonalidade

ARIMA - Modelo Auto-regressivo Integrado de Médias Móveis

ARMA – Modelo Auto-regressivo que Incorpora Médias Móveis

OMM – Organização Meteorológica Mundial

NEB – Nordeste do Brasil

UNEP – United Nations Environment Programme (Programa das Nações Para o Meio Ambiente)

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

ENOS – El Niño Oscilação Sul

ROL – Radiação de Onda Longa

SHI – Índice de Umidade da Superfície

SP – São Paulo

RS – Rio Grande do Sul

NCEP – National Centers for Environmental Prediction (Centro Nacional de Previsão Ambiental Dos Estados Unidos)

TSMs – Temperatura da Superfície dos Oceanos

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SEMARH – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos

ZCA – Zona de Confluência dos Alísios

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

UACA – Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

ACF – Autocorrelation Function (Função de Autocorrelação)

S – South (Sul)

W – West (Oeste)

SÍMBOLOS

SO₂ – Dióxido de Enxofre

CO₂ - Dióxido de Carbono

°C – Graus Celsius

mm - Milímetro

mm/ano – Milímetro por Ano

Km – Quilômetro

hpa – Hecta-Pascal

mb - Milibar

Km² – Quilômetro Quadrado

C_L - Autocovariância

S² - Variância

S_K – Desvio Acumulado

d_i – Desvio em Relação a Normal

E - Média

RESUMO

Neste trabalho foram utilizadas séries temporais de precipitação pluviométrica de 54 municípios para estimar a variabilidade e tendência das chuvas no Estado da Paraíba. Utilizaram-se também os modelos matemáticos do desvio acumulado e o teste estatístico de Mann-Kendall. Com base na metodologia foram elaborados possíveis cenários de chuvas para os anos de 2050 e 2100. Os resultados mostraram que os desvios acumulados obtidos para as microrregiões climáticas do Agreste e principalmente Brejo e Litoral da Paraíba foram incoerentes, pois se apresentaram muito negativos, sendo dessa forma inadequados para analisar a variabilidade da precipitação em áreas chuvosas. Já para as microrregiões do Alto Sertão, Sertão e Cariri, os resultados foram coerentes, visto que essas microrregiões são susceptíveis a ocorrência de eventos climáticos extremos de chuva e de seca, daí a alta variabilidade dos desvios acumulados da precipitação. Quanto aos desvios-padrão, os valores mais elevados foram registrados na microrregião do Litoral, variando entre 481,4 mm no município de Santa Rita e 601,1 mm em João Pessoa, e os menores no Cariri, oscilando entre 189,9 mm em Cabaceiras e 273,3 mm em Monteiro. Observou-se a alternância de tendências crescente e decrescente em vários municípios estudados, destaque para a microrregião do Brejo que apresentou tendência crescente de chuva em todos os municípios analisados. Quanto aos prognósticos da precipitação, Alhandra, situada na microrregião do Litoral apresentou os prognósticos mais elevados. Nesse município a estimativa de chuvas para 2050 é de 1791,0 mm e para 2100 é de 1962,6 mm. A microrregião do Cariri foi a que apresentou os menores prognósticos de chuva. A estimativa para Picuí em 2050 é de 369,7 mm e, para São Sebastião do Umbuzeiro em 2100 é de 266,5 mm.

ABSTRACT

In this work rainfall time series of 54 cities had been used to estimate the variability and trend of rains in the Paraíba state. The mathematical models of the accumulated deviation and the statistical Mann-Kendall test had been used also. On the basis of the methodology had been elaborated possible rain scenes for the years of 2050 and 2100. The results had shown that the accumulated deviation gotten for the climatic microregions of the Agreste and Coast of the Paraíba state had been incoherent, since had been presented very negative, being of this form inadequate to analyze the variability of the precipitation in rainy areas. Already for the microregions of the Alto Sertão, Sertão and Cariri, the results had been coherent, since these microregions are likely the occurrence of extreme climatic rain events and of it droughts, it the reason to high variability of accumulated deviation of the precipitation. The standard deviation, the more values had been registered in the microregion of the Coast, varying it between 481.4 mm in the city of Santa Rita and 601.1 mm in João Pessoa; and the minors in the Cariri, oscillating between 189.9 mm in Cabaceiras and 273.3 mm in Monteiro. It was observed increasing and decreasing alternation of trends in some studied cities, prominence for the Brejo microregion that presented increasing rain trend in all the analyzed cities. In the prognostics of the precipitation, Alhandra, situated in the microregion of the Coast presented the prognostics highest. In this city the estimate of rains for 2050 is of 1791 mm and for 2100 is equal to 1962,6 mm. The microregion of the Cariri was the one that presented the lesser rain prognostics. The estimate for Picuí in 2050 is equal to 369,7 mm and; for São Sebastião do Umbuzeiro in 2100 is equal to 266,5 mm.

1. INTRODUÇÃO

A interação entre a atmosfera, os oceanos e a fisiografia de uma determinada região são fatores determinantes para a variabilidade da precipitação, em que a mesma é juntamente com a temperatura do ar uma das mais importantes variáveis climáticas. Sob esta ótica, uma alteração no regime de precipitação de área específica, pode significar uma mudança no perfil do clima local, fato que pode ser prejudicial a todo o ecossistema da região e ao próprio homem.

Para analisar o comportamento do clima tem sido utilizado várias técnicas, e a paleoclimatologia é uma área recente que tem utilizado elementos de física e biologia para entender a variabilidade climática. O clima apresenta variabilidade no espaço e no tempo sazonal e interanual. A escala temporal pode variar de horas até milênios, em recursos hídricos geralmente estuda-se o comportamento dos sistemas hídricos dentro da sazonalidade anual e para períodos de dados geralmente da ordem de 15 a 80 anos. O estudo do comportamento climático na escala decadal ou tempos maiores permite analisar a influência do comportamento climático sobre o sistema global e, em específico os recursos hídricos.

A ação antropogênica através do desmatamento, queimadas e emissões de gases do efeito estufa, tem contribuído nas últimas décadas, para modificar o clima no planeta. Dessa forma, a partir do Século XVIII com a Revolução Industrial a utilização (queima) de combustíveis fósseis, como o carvão mineral e derivados de petróleo tem-se intensificado. Com o uso crescente desses elementos a atmosfera começou a alterar sua composição, aumentando a quantidade de gases poluentes de longa vida, sendo o principal deles o CO₂. O aumento excessivo desses gases forma uma espécie de barreira à radiação infravermelha mantendo-a próxima à superfície de Terra. Já que tais atividades mencionadas anteriormente perturbam o equilíbrio da atmosfera. Uma das conseqüências desse processo é o aquecimento do planeta, e a decorrente mudança climática, em que são alterados os componentes do clima, e o ciclo hidrológico. Assim regiões de clima semi-árido podem tornar-se mais úmidas, ao passo que nas de clima mais úmido as chuvas podem tornar-se mais escassas.

Métodos e técnicas estatísticas são muito empregados em climatologia, basicamente para se analisar o tempo passado, com o objetivo de se entender o seu comportamento futuro, como é o caso da análise de séries temporais (Assis *et al.*, 1996). Entende-se por série temporal, também denominada série histórica, uma seqüência de dados obtidos em intervalos regulares de tempo durante um período específico. Na análise de uma série temporal, primeiramente deseja-se modelar o fenômeno estudado para, a partir daí, descrever o comportamento da série, fazer estimativas e, por último, avaliar quais os fatores que influenciaram o comportamento da série, buscando definir relações de causa e efeito entre duas ou mais séries. Para tanto, há um conjunto de técnicas estatísticas disponíveis que dependem do modelo definido (ou estimado para a série), bem como do tipo de série analisada e do objetivo do trabalho. Para análise de tendências, podem se ajustar modelos de regressão polinomial baseado na série inteira

ou em vizinhança de um determinado ponto. Isso também pode ser realizado com funções matemáticas. Caso exista sazonalidade dita determinística na série, podem-se utilizar modelos de regressão que incorporem funções do tipo seno ou cosseno à variável tempo. Na análise do comportamento de uma série histórica livre de tendência e de sazonalidade podem ser utilizados modelos Auto-Regressivos (AR) ou que incorporem médias móveis (ARMA) (Latorre *et al.*, 2001).

Hoje a climatologia estatística volta-se para a descrição de eventos futuros do tempo, tanto em grande quanto em média escala, e sua aplicação faz-se ainda mais necessária quando eventos extraordinários, associados às flutuações e mutações climáticas, tornam-se vigentes pela ação de um ente exterior a atmosfera, o homem, o qual tem contribuído de forma substancial para alterar o clima no planeta.

A realização de estudos direcionados a detectar o comportamento de variáveis climáticas como a precipitação de uma região, é de suma importância, principalmente para se traçar medidas de mitigação dos impactos causados devido a presença de tendência nas séries, que podem afetar os campos econômico e social. Sob essa ótica, o clima é tratado como elemento transformador da realidade, principalmente da situação socioeconômica da população, que pode sentir os impactos negativos da ação do homem sob o clima.

Regiões de clima problemático como o Semi-árido do Nordeste Brasileiro são alvo de estudos climatológicos diversos, principalmente relacionados a precipitação pluviométrica, já que englobam contingentes populacionais consideráveis, além de possuírem graves problemas estruturais, tanto pela falta de políticas públicas adequadas, quanto pela irregularidade e escassez das chuvas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é o de utilizar análise estatística, para diagnosticar a variabilidade e tendência de series climatológicas de precipitação do Estado da Paraíba, buscando relacionar o comportamento da referida variável, a fenômenos naturais ou antropogênicos.

2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral desta pesquisa, foram obtidos os seguintes objetivos específicos:

- Estimativa do desvio em relação à média normal climatológica dos municípios estudados;
- Estimativa do desvio acumulado da precipitação nos 54 municípios analisados nesta pesquisa;
- Estimativa do desvio padrão da precipitação pluviométrica dos municípios estudados;

- Criação de gráficos de tendência da precipitação pluviométrica de todos os municípios tratadas neste estudo;
- Aplicação do Teste Estatístico de Mann-Kendall para estimar a existência ou não de tendência nas séries de precipitação anual, e a confecção de mapas com possíveis cenários futuros para quantificação e espacialização das chuvas no Estado da Paraíba.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A Estatística Aplicada em Estudos Climatológicos

A estatística é uma ferramenta constantemente empregada em diversos estudos climáticos, já que permite ao pesquisador trabalhar com uma grande quantidade de dados. A obtenção de diagnósticos, após a análise dos dados, resulta em informações que muitas vezes se aproximam da realidade.

De fato, a estatística não só permite trabalhar com séries temporais de dados meteorológicos, obtendo-se um bom perfil climatológico da variável analisada, como também permite que se façam projeções futuras, para o comportamento dos valores das variáveis que definem o clima de uma localidade. Nesse contexto, a utilização cada vez maior de diversos seguimentos sociais de resultados de previsão climática tem exigido o desenvolvimento de técnicas ou métodos que aprimorem o prognóstico de variáveis em escalas temporal e espacial. Para o setor norte do Nordeste do Brasil podem-se citar inúmeros estudos que elaboraram métodos estatístico-estocásticos (Hastenrah and Greischar, 1993; Repelli e Alves, 1996; Ward and Folland, 1991; Xavier *et al*, 2000).

Assim a estatística como ciência sob um enfoque meteorológico, é capaz de definir e prognosticar o clima, determinando suas características, as diferenças e semelhanças entre os diversos tipos e subtipos de climas, e as perturbações e alterações do ciclo climático numa região, definindo-se a partir daí um fenômeno de mudança ou quebra da variabilidade climática, um processo atualmente em curso no planeta, motivo de preocupação por parte de autoridades científicas de todo o mundo.

Segundo Pinto et al. (2002) o reconhecimento da problemática das mudanças climáticas globais, motivou a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e a United Nations Environment Programme (UNEP) a criar o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), em 1988. O IPCC é uma entidade formada por pesquisadores de todo o mundo, com objetivo de estudar e divulgar abertamente as informações técnicas e sócio-econômicas e os impactos relevantes das mudanças climáticas globais. Segundo o IPCC, no século XX houve um aumento de $0,65^{\circ}\text{C}$ na média da temperatura global sendo este mais pronunciado na década de 90. Quanto à precipitação esse incremento foi de 0,2 a 0,3% na região tropical, compreendida entre 10° de latitude norte e 10° de latitude sul. Do ponto de vista global, as possíveis causas dessas mudanças entre o sistema terra-atmosfera-oceano são estudadas desde a análise de dados de modelos de previsão, investigação de diagnóstico do comportamento passado e presente do clima, levando-se em conta suas forçantes e seus mecanismos de interação, em que a pesquisa científica utiliza-se da estatística para a produção de resultados consistentes, e a busca de soluções a fim de controlar e impedir catástrofes.

Uma das importantes iniciativas a cerca da investigação científica da questão climática em nível nacional, é o Projeto: Mudanças Climáticas e seus Efeitos sobre a Biodiversidade Brasileira, coordenado pelo Professor José Marengo do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) / Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais (Inpe), segundo Marengo, a probabilidade de maior redução de chuva pode afetar a Amazônia e o nordeste brasileiro. No sul, no sudeste e no centro-oeste, permaneceriam estáveis nos níveis atuais, embora o volume da precipitação possa ser mais intenso. Quanto ao aspecto de aridização do solo, as simulações do balanço hídrico nas regiões do Brasil sugerem no cenário de maiores emissões de gases de efeito estufa, tendência de extensão da deficiência hídrica (estiagem) por praticamente todo o ano no nordeste, apontando para maior "aridização" da região semi-árida até final do século XXI. O balanço hídrico realizado com as médias dos valores dos modelos não chega a este extremo, mas sugere que a estação chuvosa seria mais fraca e os déficits de umidade no solo seriam maiores no futuro. Num cenário pessimista, o estudo sugere que o Nordeste do Brasil se transformaria de semi-árido em árido até finais do século XXI.

Ainda de acordo com Marengo, a mudança climática poderá alterar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas. Pode haver a perda de biodiversidade e de recursos naturais, ainda mais quando se acrescentam às mudanças climáticas os efeitos das alterações da cobertura de vegetação, especialmente desmatamentos. Outros efeitos: alterações das rotas migratórias e mudanças nos padrões reprodutivos das espécies. Teme-se que a capacidade de absorção de carbono das florestas tropicais, sensíveis à mudança climáticas, diminua com o tempo, e que estas deixem de funcionar como eliminadoras de carbono e passem a ser fonte de emissão deste gás. No pior cenário, a Amazônia pode virar Cerrado até final do século XXI devido ao aumento na concentração de gases de efeito estufa.

Seguindo a linha de raciocínio voltada a investigar a questão climática mundial, (Hastenrath and Greischar, 1993), analisaram séries históricas de precipitação em uma rede de estações bem distribuídas sobre o nordeste brasileiro e não encontraram tendências significativas para condições mais úmidas ou secas na região, no entanto,

outros trabalhos mostram que a precipitação nessa região é bastante sensível a extremos de temperatura da superfície do mar no Pacífico equatorial associados ao El Niño Oscilação Sul (ENOS) (Ropelewski and Halpert 1987, 1989), assim como as anomalias de temperatura da superfície do Atlântico, associadas ao dipolo de anomalias de temperatura da superfície do mar do Atlântico (Moura e Shukla 1981; Uvo *et al.* 1996).

Lazaro *et al.* (2001) buscaram relacionar trinta anos de registro de precipitação, (1967 – 1997) em Tabernas no sudeste semi-árido da Espanha, com a distribuição da vegetação e o fenômeno de desertificação local. Analisaram-se dados mensais, sazonais e anuais de chuva, número de dias com chuva e o dia de chuva máxima, para tentar detectar pelo teste de Mann-Kendall, a ocorrência de mudança climática abrupta ao longo da série na referida localidade. Os resultados não mostraram tendência de mudança climática, apenas desvios, ou flutuações da normal. Além disso, valores modais de precipitação anual e mensal estiveram abaixo da média. No período analisado ocorreram frequentemente máximos e mínimos de precipitação no outono e julho respectivamente. A estimativa de períodos de retorno para eventos de chuva superiores a 50, 70 e 100 mm dia⁻¹ foi maior que 5,11 e 30 anos respectivamente. Os resultados sugeriram que a vegetação não é apenas adaptada aos vários tipos e intensidades de precipitação, mas também ao tempo, todos os tipos de precipitação, em função do volume e do tempo podem ter conseqüências para a distribuição e aspecto da vegetação.

Marengo e Uvo (1996) estudaram séries temporais de precipitação e de vazões/cotas de rios em diversas regiões do Brasil e da América do Sul, objetivando observar a existência de variações sistemáticas nesses parâmetros que indicariam mudanças climáticas. Analisaram séries de dados desde o início do século, e o teste de Mann-Kendall (Lettenmaier *et al.*, 1991, 1994; Marengo 1995 *Apud* Marengo e Uvo (1996)) foi utilizado para determinar a presença de tendências, suas direções e se eram

estatisticamente significantes ou não. Os resultados mostraram que a alternância de períodos secos e úmidos em alguns dos rios analisados tem a duração de até 15 anos. Foram observadas tendências negativas pelas vazões dos rios: Paraíba do Sul (estação Guaratinguetá) e São Francisco (estação Juazeiro) que induziriam à idéia de que as bacias destes dois rios estariam sendo afetadas por cada vez menos chuva. Entretanto, a análise da precipitação na parte alta e média das duas bacias (Marengo e Uvo, 1996) indicou que as chuvas não apresentam qualquer tendência, o que é um indício de que, nessas bacias, as tendências negativas na descarga estariam ligadas mais ao gerenciamento de águas do que à consequência de uma mudança climática regional. Para a região da alta Amazônia, (Peru e Equador), estudos anteriores realizados mostraram que o efeito do desmatamento produziu assoreamento, e consequente incremento das descargas dos rios entre 1960 e 1980, fato que, no entanto, não se observou para a variabilidade interanual das cotas do Rio Negro em Manaus Assim, análises de tendência para vazões de outros rios da Amazônia, como o Jamari, Ji-Paraná e Tocantins não indicaram tendências climáticas. Em todos eles foi observado um aumento dos níveis durante 1970-1980. Esse aumento, porém, parece ser parte da variabilidade natural do clima e não um indicador de mudança climática. Na parte sul da Amazônia, onde o desmatamento é mais intenso, a precipitação não apresentou grande variação nas últimas décadas. Para a América do Sul, inúmeros trabalhos foram realizados utilizando dados de rios como indicadores da variabilidade interanual do clima no norte da Amazônia. O estudo concluiu que não foram observadas mudanças climáticas a partir da análise de precipitação e dados de rios do Brasil e da América do Sul em geral. Entretanto, o fenômeno El-Niño sinaliza para uma variabilidade interanual, que é evidente no Nordeste do Brasil e de forma mais limitada no oeste da Amazônia.

Estudos como o realizado por (Dias de Paiva e Clark, 1995), indicaram uma tendência negativa de precipitação sobre boa parte do norte da Amazônia e da bacia do Rio Xingu. Eles basearam seus resultados na análise de séries de dados de precipitação que, em muitos casos, chegaram a 15 anos de registro, e as tendências negativas encontradas não apresentaram significância estatística. (Tardy *et al.*, 1994) mostraram que entre 1910 e 1990 a chuva e vazões do Rio Amazonas têm diminuído sistematicamente, porém eles obtiveram seus resultados com dados de precipitação em Manaus e nas vazões do Rio Amazonas, cujas séries de dados, entretanto, não são necessariamente homogêneas Marengo e Uvo (1996).

Latorre et al. (2001) elaboraram uma pesquisa sobre análise de séries temporais, visando apresentar, de maneira sumária, alguns modelos estatísticos mais utilizados em análise de séries temporais, e concluíram que: na análise de tendências, pode-se utilizar ajustes de modelos de regressão polinomial baseados na série inteira ou em vizinhança de um determinado ponto, sendo que isso também pode ser realizado com funções matemáticas. Define-se como um fenômeno sazonal àquele que ocorre regularmente em períodos fixos de tempo e, se existir sazonalidade dita determinística na série, pode-se utilizar modelos de regressão que incorporem funções do tipo seno ou cosseno à variável tempo. Os modelos Auto-Regressivos formam outra classe de modelos. Na análise do comportamento de uma série histórica livre de tendência e de sazonalidade podem ser utilizados modelos Auto-Regressivos (AR) ou que incorporem Médias Móveis (ARMA). Quando há tendência, utilizam-se os modelos Auto-Regressivos Integrados de Médias Móveis (ARIMA) e, para incorporar a componente de sazonalidade, utilizam-se os modelos SARIMA. Por último há os modelos lineares generalizados. Neste grupo de modelos estatísticos, a variável resposta é um processo de

contagem e as variáveis independentes são variáveis candidatas a explicar o comportamento do fenômeno.

Jones (1995) estudou series temporais com variações em um dado fator climatológico, e concluíram que as mesmas são homogêneas, quando variações semelhantes são causadas apenas por flutuações no tempo e clima, sendo as mais importantes causas de não-homogeneidade: erros na leitura em instrumentos, técnicas incorretas de medida, mudanças no local da estação, tempo de observação e ambiente da estação alterado pela urbanização.

Duarte (2005) Investigou o comportamento da precipitação no município de Rio Branco no Estado do Acre, visando alertar para a possível relação entre o comportamento das chuvas no citado local, e a concretização do desflorestamento em regiões da Amazônia oriental e central durante o período de estudo. A pesquisa baseou-se em observações de longo prazo, de 31 anos, entre o período de 1970 e 2000. O estudo constatou uma tendência de aumento da altura da precipitação anual, antes de 1990, seguida de diminuição da mesma até 2003. A pesquisa também relata que a alteração no balanço térmico entre solo e atmosfera após a devastação, assim como também a poluição do ar devido às queimadas florestais, pode induzir a modificações no padrão de convecção, produzidas pela diminuição do teor de umidade do solo e da vegetação, e a redução da formação de nuvens.

Ainda segundo Duarte (2005), as anomalias e as tendências das precipitações, em várias escalas temporais, podem estar relacionadas com a temperatura dos oceanos, essa influência no clima regional e global, não pode ser diferenciada completamente daquela devida às mudanças na cobertura do solo, motivadas pelas atividades humanas na Amazônia. Ambas as influências se retroalimentam e, é de se esperar que a

intervenção humana, com seus impactos negativos sobre os ambientes, acarrete, cada vez mais, notáveis sinais de mudanças climáticas.

Marengo (2004) Estudou de forma detalhada as possíveis alterações no regime de precipitação na Amazônia durante várias décadas. Como resultado encontrou diferentes comportamentos nas tendências pluviométricas para as regiões sul e norte do citado estado, bem como indica, para toda a Amazônia, uma tendência ao aumento das precipitações, motivada por variações ocorridas na circulação atmosférica que favoreceram o transporte de umidade.

Outros pesquisadores, como (Koren *et al.*, 2004) também estudaram a variabilidade e tendência das chuvas na Amazônia, e apontaram para a diminuição da precipitação nessa região devido ao efeito de aerossóis da fumaça. De acordo com o estudo, a fumaça reduz em 15% a radiação incidente sobre a floresta, ocasionando menor evapotranspiração, tornando a atmosfera mais seca e estável, implicando numa menor formação de nuvens, além disso, outros mecanismos apontados pelos autores consistem na estabilização da camada limite com conseqüente redução de nuvens, o aumento da capacidade de se manter o vapor de água a maior temperatura diminuindo a probabilidade de sua sobre saturação (condensação) para formar nuvens. As medições de (Koren *et al.*, 2004) demonstraram que, tanto no leste quanto no oeste da Amazônia, a formação de nuvens diminui com o aumento da presença de fumaça, obtendo-se que para uma profundidade óptica de aerossóis da fumaça de valor 0,6 a formação de nuvens diminui em 50 %. Vale mencionar que a profundidade óptica de aerossóis atmosféricos, medida em Rio Branco mediante fotometria solar, alcança valores médios diários entre 0,5 e 0,7 para o mês de setembro, durante as intensas queimadas de biomassa na Amazônia. Os efeitos sobre as chuvas dos mecanismos acima mencionados podem ser responsáveis pela metade do volume de água movimentado no ciclo

hidrológico na Amazônia. A outra metade vem da contribuição dos Oceanos Atlântico e Pacífico. A influência da temperatura da superfície marítima no Pacífico (El Niño e La Niña), bem como no Atlântico, determinam, também, o comportamento de chuvas na América do Sul, e como são as anomalias de precipitação (Duarte, 2005).

Estudos de modelagem também prevêem redução de precipitação em algumas áreas da Amazônia. (Shukla *et al.*, 1982 *apud* Dias de Paiva and Clarke, 1995) analisaram diagramas mostrando reduções na precipitação e evapotranspiração anual na referida área. A diminuição dos totais precipitáveis fica em torno de 200 – 800 mm, e da evapotranspiração de 200 – 400 mm.

Dirmeyer and Shukla (1994) *apud* Dias de Paiva e Clarke (1995) reportam o uso de um modelo de circulação geral da atmosfera, com propriedades da superfície representadas por um modelo da biosfera simplificado, para se investigar os efeitos do desflorestamento no clima da Amazônia. Os pesquisadores concluíram que a precipitação média sobre a área devastada não sofre necessariamente redução, no entanto o modelo prevê uma redução geral nas chuvas sobre a região de estudo, com elevação das mesmas sobre áreas adjacentes dos oceanos, Atlântico e Pacífico, e sobre o Caribe.

O modelo de Lean *et al.* (1995) prevê uma redução na precipitação na Amazônia de 0,19mm/dia, equivalente a 3% do acumulado anual de chuvas(60mm para um total de 2000mm), decréscimo de 0,31mm/dia (7%) na evaporação, e aumento de 1,5° C na temperatura média do ar à superfície, assinalando portanto para a ocorrência de mudanças climática na citada região.

Trabalhos recentes que utilizaram dados coletados pelo Institute of Hydrology, 1994, previram um aumento na temperatura média do ar sobre a amazonia de cerca de 2°C, uma redução de 17% na evaporação, e uma redução de 6 % na precipitação. (Chu

et al., 1994 *apud* Dias de Paiva and Clarke, 1995) encontraram tendências negativas para dados de radiação de onda longa (ROL) na amazonia, indicando um aumento da convecção com o tempo e em concordância com este fato, foram encontradas tendências positivas em séries de dados de chuvas observadas na região.

Zhuguo e Congbin (2002) estudaram a aplicação do Índice de Umidade da Superfície (SHI) sugerido por (Hulme *et al.*, 1992), para diferentes regiões da China. Analisaram-se dados de precipitação pluviométrica e evapotranspiração potencial, de 160 estações meteorológicas do citado país, e o teste de Mann-Kendall (Snyers, 1990; Fu and Wang, 1992) foi empregado para testar a significância da tendência das series de SHI. Os resultados mostraram que o SHI é decrescente (tendência de seca) em Huabei no norte da China, mas crescente (tendência de umidade) em algumas áreas do setor noroeste. Na região central a seca resultou principalmente da diminuição da precipitação com conseqüente aumento da evaporação, foi também reavaliado um período de 40 anos de seca a partir de dados históricos obtidos dessa área, a diminuição da evaporação causou diminuição da temperatura intensificando a seca nesse setor. No entanto, o estudo mostrou a baixa precipitação como principal causa das secas no norte da China. Foi também realizada análise geográfica anual do SHI, bem como o teste de Mann-Kendall para testar a significância das séries de dados obtidas de SHI na região de estudo. Outros pesquisadores (Wai and Cao, 1998; Yan, 1995, 1999), analisaram variações temporal e espacial da precipitação, mas não seu déficit, relacionado à caracterização das secas (Zhuguo e Congbin, 2002).

Hulme *et al.* (1992), Fu (1994) e Thomas (2000) enfatizaram a caracterização das secas sobre um ponto de vista multidisciplinar, nessas pesquisas a evaporação, o estado de seca e umidade do solo em escala global foram investigados, para a região árida do norte da China, entretanto as diferenças entre variáveis analisadas por estação

do ano, e por região não ficaram claras. Tais estudos não analisaram a tendência de seca e umidade e suas relações com o aquecimento global (Zhuguo e Congbin, 2002).

Resultados obtidos por (Manabe, 1981; Wetherald and Manabe, 1999) indicaram que a umidade do solo em regiões de latitudes médias poderia diminuir no verão devido ao aquecimento global. Neste caso, a situação implica num grande problema para regiões áridas e semi-áridas como o norte da China, onde é necessário fazer bom manejo da utilização dos recursos hídricos (Zhuguo e Congbin, 2002).

Pinto et al. (2002) estudaram a influência do aquecimento global sobre a cultura do café arábica no estado de São Paulo, analisando-se: dados de temperatura global, observados, e estimados por modelos, considerando variações naturais do clima, efeitos antropogênicos e ambos, prognósticos na variação e emissão de CO₂ e SO₂ na atmosfera e mudança de temperatura nos oceanos. Também foram analisadas séries de dados de temperatura média e mínima do ar de 1890 a 2000, e em seguida análise de tendência das mesmas para os municípios de Campinas-SP e Pelotas-RS, com o intuito de se traçar um perfil comparativo do aquecimento entre esses dois municípios, e delimitar áreas mais adequadas atualmente para o cultivo da cultura. Os resultados obtidos apontaram que houve acréscimo de cerca de 2°C nas temperatura média e mínima em Campinas, e 0,9°C em Pelotas, provavelmente devido a uma maior penetração de frentes frias em Pelotas, as quais muitas vezes não conseguem atingir municípios de latitudes mais baixa como Campinas. Também concluiu-se que regiões situadas mais ao sul, no interior de São Paulo, estão tornando-se mais aptas ao cultivo dessa variedade de café, já que a temperatura do ar nesses locais, apresenta-se atualmente, mais amena que nos municípios da porção norte do estado, como é o caso de Campinas. A pesquisa também mostrou que quanto maior o aumento da temperatura do ar, menor é a área restrita por geadas, e maior a área inapta para o cultivo do café arábica.

Nobre e Melo (2001) estudaram a variabilidade intrasazonal da precipitação no nordeste do Brasil entre 1998 e 2000, em que foi observada a ocorrência de períodos de chuva intensa, contrastados com períodos de estiagem no nordeste. Para tanto, utilizaram-se dados diários das componente zonal e meridional do vento e velocidade vertical, obtidos de reanalises do National Centers For Environmental Prediction (NCEP) em pontos de grade de $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$, campos diários de radiação de onda longa provenientes do NCEP, e dados de precipitação pluviométrica de estações meteorológicas, interpolados para uma grade de $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$, por meio do método de Kringing, foram também calculadas as médias móveis de 5 dias centradas no tempo para cada dia do ano. A pesquisa mostrou que a variabilidade temporal das chuvas sobre a região estudada, resultou de interações entre circulações atmosféricas de escala planetária como o El Niño, e o dipolo do atlântico e oscilações atmosféricas. Outro resultado importante foi à observação do acoplamento dinâmico entre baixos e altos níveis na troposfera, com a passagem dos pulsos das oscilações intrasazonais sobre o nordeste. Outros resultados também sugerem que o acompanhamento e prognóstico das oscilações (30 – 60) dias possam contribuir na melhoria dos prognósticos climáticos do nordeste, principalmente no que diz respeito à variabilidade intrasazonal da precipitação nessa região.

Panda et al. (2007) investigaram a influência da seca e do homem nos níveis hídricos do estado de Orissa na Índia, considerando eventos extremos do tempo, como de vital importância para o manejo sustentável dos recursos hídricos. A pesquisa buscou identificar e quantificar a tendência dos níveis hídricos na localidade considerada, para compreender o mecanismo forçante das secas, fazendo uso do teste não-paramétrico de Mann-Kendall. Os autores analisaram registros de níveis hídricos de 1002 estações de monitoramento durante o período anterior e posterior as monções, entre os anos de 1994

e 2003. O estudo indicou que a recarga de água em anos chuvosos, não têm sido suficiente para normalizar os níveis hídricos na região. O estudo, entretanto, não indica se as secas, temperaturas elevadas, ou fatores antropogênicos tem tido grande influencia na redução dos volumes de água. No período de pré-moção 59% das estações de monitoramento apresentaram redução de volumes de água, enquanto no período de pos-moção o número foi de 51%, apesar dessas estimativas, é necessário segundo os pesquisadores, considerar aproximadamente 80% da área de estudo como sendo coberta por rochas.

Chen et al. (2004) para examinar a relativa importância do clima nas variações de níveis hídricos, usaram análises de correlação entre registros climáticos históricos e elevações de níveis hídricos. Seus resultados mostraram que a precipitação anual explica significativamente as referidas variações.

Dessa forma, no contexto da maioria dos artigos científicos aqui mencionados, torna-se impossível separar as forçantes humana e natural, do cenário climático atual, visto que o homem introduziu perturbações e modificações no ambiente em que vive e desenvolve suas atividades, e os resultados são respostas da natureza as alterações bruscas a ela impostas.

O Estado da Paraíba, como área de interesse nessa pesquisa, também pode estar sentindo os efeitos de alterações no perfil da precipitação pluvial. Assim tendências no regime de chuvas do estado, capazes de serem detectadas nesse estudo, podem estar associadas em grande escala: as mudanças de cobertura do solo em grandes áreas, e a variabilidade interanual das chuvas produzidas pelas Anomalias de Temperatura da Superfície dos Oceanos (TSMs) Pacífico e Atlântico, com conseqüente alteração da circulação atmosférica. Em pequena escala, o processo pode estar ligado: ao

crescimento desordenado e desenfreado de cidades de porte considerável como João Pessoa e Campina Grande.

Estudos recentes mostraram que o inchaço de grandes centros urbanos acompanhado da devastação de áreas florestais adjacentes, tem efeito direto na formação de micro-climas urbanos, onde pode ocorrer, principalmente no caso de cidades litorâneas, elevação dos índices pluviométricos, decorrente do aumento do aquecimento à superfície, que produz intensificação na atuação de brisas marítimas.

Assim a tendência de chuvas sobre uma região, pode ser condicionada pelo aquecimento global, que pode ter efeito significativo no clima de todo o planeta, com impactos mais graves em algumas áreas, e menos em outras.

3.2 A Região Nordeste e o Estado da Paraíba

A precipitação é um parâmetro meteorológico altamente variável no tempo e no espaço, seja em que escala espacial queira-se considerar. Na região Nordeste do Brasil essa característica é ainda mais marcante, com regiões que apresentam precipitação acumulada inferior a 350 mm/ano, a exemplo do Cariri paraibano, e outras com totais superiores a 1700 mm/ano como o Litoral da Paraíba. (Menezes, 2006).

A marcante variabilidade interanual da pluviometria associada aos baixos totais anuais pluviométricos, sobre a região Nordeste do Brasil, é um dos principais fatores para a ocorrência dos eventos de “secas” sobre a região, as quais são caracterizadas por acentuada redução do total pluviométrico sazonal durante o período de Fevereiro a Maio. A citada variabilidade está associada a variações de padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais, os quais afetam a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico,

contribuindo substancialmente para a ocorrência de chuvas no norte do Nordeste (Hastenrath e Heller, 1977; Hastenrath, 1984; Moura e Shukla, 1981 *Apud* Nobre e Melo). Vale também salientar que não só as anomalias e padrões de TSM, mas também a circulação atmosférica, tem estreita relação com a atuação da ZCIT no Nordeste. Dessa maneira, deve-se considerar a posição e intensidade das altas pressões subtropicais como elementos importantes para determinar a qualidade da estação chuvosa na citada região.

As altas pressões subtropicais fornecem calor e umidade para a ZCIT, e em algumas situações podem bloquear seu deslocamento para sul, no período entre os meses de Fevereiro e Maio, produzindo chuvas abaixo da média no norte do Nordeste. Assim é importante mencionar que eventos de El Niño (ENOS), foram responsáveis até hoje por apenas 30% das secas observadas nessa região, e que existem outros fatores como os citados anteriormente, que interferem no clima do semi-árido, dificultando a modelagem climática local, e tornando as previsões para essa região ainda passíveis de considerável erro. É importante também lembrar que anos de El Niño de intensidade fraca e moderada, não são necessariamente secos, a condição de seca pela influência desse fenômeno, é observada em anos cuja sua intensidade é forte.

Considerando o interior do Nordeste sob o ponto de vista da escassez e irregularidade das chuvas, pode-se definir um evento de “grande seca”, quando os totais anuais de chuvas não atingem 50% das normais climatológicas para uma fração significativa (a metade) da área semi-árida da região. No entanto, mesmo em anos nos quais os totais pluviométricos anuais são próximos à média histórica, a distribuição temporal das chuvas durante a estação chuvosa pode afetar substancialmente tanto os recursos hídricos, com a pluviometria diária sendo bem distribuída temporalmente causando pouco escoamento superficial, quanto à agricultura. Períodos de estiagem

prolongados intercalam-se com episódios de precipitações mais intensas, também denominadas de “seca verde”. Assim, para se caracterizar a qualidade da estação chuvosa, de forma a contemplar um leque maior de condições hidrometeorológicas que afetam as atividades econômicas da região de maneira significativa, há que se considerar não somente os totais sazonais de chuvas, mas, também e principalmente, a variabilidade temporal destas em escalas de tempo intrasazonal.

Assim o interior do Nordeste brasileiro, como uma região onde predomina o clima semi-árido, historicamente sempre foi afetado por intempéries climáticas. Relatos de secas na região podem ser encontrados desde o século XVII, quando os portugueses chegaram à região. Estatisticamente, acontecem de 18 a 20 anos de seca a cada 100 anos Marengo e Uvo (1996).

Dentre os fenômenos atmosféricos que afetam a variabilidade intrasazonal das chuvas sobre o Nordeste estão os sistemas transientes como Oscilações de 30-60 dias (Weickmann et al., 1985; Kousky e Kayano, 1994), Vórtices Ciclônicos de Ar Superior, Distúrbios Ondulatórios de Leste (Goswami e Mathew, 1994), Linhas de Instabilidade associadas à Brisa Marítima, assim como instabilidades termodinâmicas locais induzidas por aquecimento diferencial da superfície, convergência de umidade e convecção. Tais fenômenos contribuem para modular a distribuição temporal da pluviometria sobre a região Nordeste do Brasil, ocasionando períodos de estiagem intercalados por ocorrências de precipitações mais abundantes. Além disso, a ZCIT, cujo posicionamento latitudinal guarda estreita relação com o gradiente meridional de TSM sobre o Atlântico Tropical (Moura e Shukla, 1981) e Pacífico Equatorial (Mechoso et al., 1990), também parece apresentar flutuações nas escalas de tempo intrasazonal.

Há pelo menos três regimes de precipitação para três áreas distintas da região Nordeste: uma área mais ao norte, onde as precipitações significativas ocorrem no bimestre março-abril; a faixa litorânea leste que se estende desde o Rio Grande do Norte até o sul da Bahia, com período chuvoso entre maio-julho; uma terceira região que abrange grande parte da Bahia e que tem máximos de precipitação nos meses de novembro e dezembro (Alves *et al.*, 2001; Menezes *et al.*, 2003b *Apud* Menezes, 2006).

O Estado da Paraíba como parte integrante do semi-árido do Nordeste brasileiro possui uma área de cerca de 56 000 Km², o mesmo tem atualmente cerca de 3. 600. 000 habitantes distribuídos pelas suas seis microrregiões climatologicamente homogêneas: Litoral, Agreste, Brejo, Carriri/Curimataú, Sertão e Alto - sertão.

Aproximadamente 80% do território do citado estado, que corresponde ao Carriri/Curimataú, Sertão e Alto - sertão. , está inserido na faixa semi-árida, sendo, dessa forma, afetado por longas e graves secas. A Paraíba possui basicamente dois períodos chuvosos para as microrregiões definidas anteriormente e climatologicamente distintas, tais períodos dividem-se em **Quadra 1**, que compreende os meses de Fevereiro a Maio e favorece principalmente o Cariri/ Curimataú , Sertão e Alto-sertão, e **Quadra 2**, que ocorre entre os meses de abril e julho sobre as microrregiões do Litoral, Brejo e Agreste. Além dos períodos já mencionados, também merecem relevância na Paraíba, as chuvas observadas durante o mês de janeiro, quando se tem o início das chuvas consideradas de pré-estação, principalmente no Alto-sertão. Ressalta-se que, neste mês, as mesmas ocorrem em forma de pancadas (elevados índices em curtos intervalos de tempo) e, geralmente, não favorecem de forma homogênea o estado como um todo, sendo altamente relevantes em termos de aporte hídrico dos mananciais (Fonte: SEMARH).

Climatologicamente, as chuvas sobre o semi-árido paraibano apresentam-se com melhor distribuição temporal e espacial a partir do mês de fevereiro, quando a Zona de Convergência Intertropical, principal sistema meteorológico gerador de chuvas nesse setor, passa a atuar com maior ênfase. Entre fevereiro e maio, os valores médios históricos ficam em torno de 620,0mm nas microrregiões do Sertão e Alto-sertão, e 360,0mm no Cariri/Curimataú. O regime pluviométrico no Estado da Paraíba é caracterizado por apresentar alta variabilidade espacial e temporal das chuvas, sendo de fundamental importância o monitoramento contínuo das condições atmosféricas sobre o estado e dos fatores globais condicionantes da precipitação (Fonte: SEMARH).

Pesquisa como a que será desenvolvida nessa dissertação, enfatizando a variabilidade e tendências de chuvas na Paraíba, torna-se interessante sobre o aspecto de se traçar pontualmente, o perfil da precipitação pluvial no referido estado, buscando as possíveis causas de tendências positiva ou negativa da precipitação, em cada um dos postos pluviométricos analisados no trabalho. Assim torna-se fundamental avaliar os resultados estatísticos obtidos no estudo, e sua relação com o desmatamento, queimadas e o crescimento das cidades, para buscar em menor âmbito, as causas antropogênicas de possíveis tendências do clima nas microrregiões que compõem o Estado da Paraíba. Já numa esfera maior de investigação, é importante nesse estudo verificar a relação dos sistemas meteorológicos que produzem chuva no estado, com os processos causadores de anomalias climáticas, e assim detectar possíveis influências dos mesmos no regime de chuvas da Paraíba.

Alguns aspectos geográficos como as características do clima, relevo e vegetação serão abordados nos próximos itens, que apresentam o Estado da Paraíba em suas microrregiões climáticas.

3.2.1 Litoral

O clima do Litoral é tropical úmido, com chuvas abundantes, cerca de 1700 mm/ano, as chuvas ocorrem durante todo o ano, no entanto são mais freqüentes no período de maio a julho que corresponde à estação chuvosa local, as chuvas durante esse período são decorrentes principalmente de Sistemas de Leste que se deslocam do oceano em direção ao continente, a temperatura média anual na referida microrregião é de aproximadamente 29°C.

A vegetação predominante apresenta, matas, manguezais e cerrados, que recebem a denominação de "tabuleiros", formado por gramíneas e arbustos tortuosos, predominantemente representados, entre outras espécies por batiputás e mangabeiras. Formadas pela floresta Atlântica, as matas registram a presença de árvores altas, que chegam a atingir cerca 40m de altura, e que são verdes o ano todo como a peroba e a sucupira. Localizados nos estuários, os manguezais apresentam árvores com raízes de suporte, adaptadas à sobrevivência neste tipo de ambiente natural.

O relevo característico da microrregião é a planície litorânea. A hidrografia é formada principalmente por rios que nascem na Serra da Borborema e que desaguam no Oceano Atlântico. Dentre estes rios podemos destacar: o Rio Paraíba, que nasce no alto da Serra de Jabitacá, no município de Monteiro, com uma extensão de 360 quilômetros de curso d'água, é o maior rio do estado. Também podemos destacar outros rios, como o Rio Camaratuba e o Rio Mamanguape. A economia da região firma-se no tripé cana-de-açúcar, indústria e turismo.

3.2.2 Agreste

O clima do Agreste paraibano é tropical semi-úmido, com chuvas oscilando entre 800 e 1000 mm/ano, as chuvas geralmente ocorrem de fevereiro a setembro, nesse período dois sistemas meteorológicos produzem precipitação na microrregião, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as Ondas ou Sistemas de Leste, sendo esses últimos de maior contribuição para as chuvas que caem ao longo do ano na referida microrregião. O período mais chuvoso, assim como no Litoral, são os meses de maio, junho e julho. A temperatura média anual é da ordem de 27°C.

O Agreste compreende também a região da Chapada da Borborema, zona de transição entre o Cariri, setor oeste e o Litoral, onde se localiza a cidade de Campina Grande, um importante pólo industrial e comercial do Estado da Paraíba. Nessa região o índice pluviométrico situa-se por volta de 750 mm/ano, devido principalmente a altitude, 540m, o clima possui temperaturas mais amenas que o restante da microrregião, com temperatura média anual na faixa de 25°C, a precipitação assim como no Brejo é de natureza estratiforme, garoa contínua que pode perdurar por vários dias consecutivos.

A microrregião destaca-se pelo cultivo de feijão, arroz e principalmente abacaxi, sendo exportadora do produto, possui uma vegetação variada, porém de menor porte que a do Litoral.

3.2.3 Brejo

Microrregião de Esperança e do Brejo, área cristalina, marcada pelos esporões do maciço da Borborema e escarpas orientais do maciço da Borborema. As médias altimétricas começam a aumentar nessa direção, ultrapassando a cota dos 300m, até atingir altitudes médias de 600m. Os ventos úmidos do sudeste interferem diretamente

nas condições climáticas locais, passando a existir mais umidade, e em função da altitude, nota-se uma redução das temperaturas, de 22°C a 25°C, aumento dos índices pluviométricos, e ocorrência de chuvas orográficas que oscilam de 1.000 a 2.000 mm / ano.

O período das chuvas é o mesmo das microrregiões do Litoral e Agreste, ou seja, de Fevereiro a Setembro, sendo o pico entre os meses de maio a julho. Os sistemas precipitantes que atuam na microrregião são também os mesmos do Litoral e Agreste, no entanto o índice pluviométrico é superior ao do Agreste e inferior ao do Litoral.

A vegetação local é marcada por matas latifoliada perenifólias úmidas e de altitude, matas serranas e vegetação Agreste. Este ambiente já foi quase que totalmente degradado, restando apenas algumas "ilhas de mata serrana". Os solos locais são considerados de boa fertilidade, com destaque para os lateríticos, podisólicos, de terra roxa similar, e bruno não cálcicos. Com os elevados índices pluviométricos e base pedológica satisfatória, essa se tornou uma das mais importantes regiões de produção agrícola do Estado da Paraíba. De engenhos e usinas de cana-de-açúcar, passando pela produção de algodão, sisal, fumo e até mesmo café.

Outra importante atividade que se desenvolveu no Brejo foi à pecuária bovina, caprina/ovina, eqüina, asna e muar. Esta atividade selecionou importantes trechos como áreas de pastagens, nativas e solos agricultáveis para a plantação de capim.

3.2.4 Carriri/Curimataú

O Cariri paraibano é uma região fisiográfica de condições climáticas de semi-aridez. Nela, habitam fauna e flora pouco diversificada pela influência do clima, sendo este um fator limitante para o desenvolvimento da vida local.

A Caatinga, vegetação local apresenta porte variável, de caráter xerófilo, com quantidade considerável de plantas típicas de terrenos com escassez de água, que as transforma em vegetação seca, algumas sem folhagem, espinhosas, tipo bromeliáceas e cactáceas.

As variações vegetais inseridas nessa microrregião são determinadas por fatores vitais tais como: baixo índice pluviométrico, temperaturas elevadas durante a estação seca, principalmente por provocar aridez e incapacitação do solo, pois sendo predominantemente raso, pedregoso ou com afloramentos cristalinos, inviabilizam a absorção da água. Em algumas áreas da microrregião, o solo é quase que totalmente desprovido de vegetação, que por ser pouco profundo, o processo de escoamento é maior que a infiltração, o que torna o solo desprovido de água armazenada no lençol freático ou de superfície (rios e açudes). Baseado neste contexto, a vegetação local é atingida com maior intensidade.

Destacam-se nessa área plantas nativas como: mandacaru, xiquexique, coroa-de-frade, facheiro, palmatórias, etc., que alimentam uma gama de animais, sejam eles domésticos ou selvagens. É inóspita, a determinados cultivos comerciais, a exemplo do tomate, pimentão, etc., que só apresentam rendimentos com o recurso da irrigação.

Nesta microrregião, o regime pluvial é irregular. A irregularidade das chuvas, ao longo dos anos, tem levado a agricultura (cultivos alimentares, como milho e feijão) aos limites de déficits hídricos e, com isto às lavouras não atingem nem a floração, fenômeno conhecido como “seca verde”. No entanto, cactáceas como as palmas forrageiras, vem sobrevivendo ao longo do tempo, com todos os fatores climáticos adversos, principalmente os longos períodos de estiagens (secas).

A precipitação pluvial na referida microrregião oscila em torno de 350 a 500 mm/ano e ocorrem no período de março a junho, decorrentes da atuação da Zona de

Convergência Intertropical, março e abril e Ondas de Leste, maio e junho. As temperaturas diurnas variam entre 26 e 35 °C. Já as noturnas são amenas, entre 17 a 20 °C.

No Cariri paraibano situa-se o município de Cabaceiras, o mais seco do Brasil, com precipitação média anual de cerca de 285 mm. O referido município sofre os efeitos orográficos da Chapada da Borborema. Assim a escassez das chuvas é um fator limitante as atividades econômicas, que sobrevivem da caprinocultura, e numa insipiente agricultura fundamentada no cultivo da palma para alimentar rebanhos durante as estiagens.

3.2.5 Sertão

O Planalto da Borborema, setor cristalino formado principalmente por rochas sedimentares, atravessa o estado de norte a sul, estando presente nas microrregiões do Brejo, Agreste e Cariri / Curimataú e distende-se para o oeste paraibano chegando ao Sertão. O planalto forma a área conhecida nacionalmente como triângulo mais seco do Brasil (Cabaceiras/Cariri, Barra de Santa Rosa/Curimataú e Seridó riograndense).

O Sertão como sendo delimitado pelo Seridó e baixo Sertão de Piranhas, destaque para microrregiões de Catolé do Rocha, Patos, Piancó, e Serra do Teixeira. A vegetação dessa microrregião é formada basicamente por plantas xerófitas cuja denominação mais comum é de Caatinga, constituída de cactos, jurema e outras muito resistentes a longos períodos de estiagens. A hidrografia sertaneja é formada por rios que rumam em direção ao Litoral do Rio Grande do Norte. O rio mais importante deste grupo é o Rio Piranhas, que nasce na Serra de Bongá, perto da divisa com o Estado do Ceará. Esse rio é muito importante para Sertão da Paraíba, pois através dele é feita a

irrigação de grandes extensões de terras no Sertão. Tem-se ainda outros rios, como o do Peixe, Rio Piancó e o Rio Espinhara, todos afluentes do Rio Piranhas. Os rios da Paraíba estão inseridos na Bacia do Atlântico Nordeste Oriental e apenas os rios que nascem na Serra da Borborema e na Planície Litorânea são perenes. Os outros rios são temporários e correm em direção ao norte, desaguardo no Litoral do Rio Grande do Norte.

A região é marcada pela predominância do clima semi-árido, quente seco, e semi-úmido nas áreas de serras e depressões, com chuvas de verão, e temperaturas médias anuais superiores a 24°C. Durante o período de 75 anos, as medições pluviométricas registraram taxas: mínimas de 138,0mm; média de 391,2mm e máximas de 1.035mm distribuídas irregularmente, ocasionando estação seca que pode atingir 11(onze) meses. Existem anos que o período de estiagem ultrapassa os 12 meses do ano. A precipitação no Sertão ocorre principalmente no período de fevereiro a maio, decorrente da atuação da Zona de Convergência Intertropical. As chuvas são de natureza cumuliforme (torrenciais), com ocorrência de vendavais e às vezes granizo, descargas elétricas são comuns e altos índices pluviométricos podem ser alcançados numa só chuva, como o registrado em Pombal em 2007, 185 mm.

Um traço característico da estação chuvosa do Sertão, assim como do Cariri e Alto-sertão, é a alta irregularidade espacial e temporal das chuvas, além dos eventos de seca, sendo que a cada 10 anos, pelo menos três são secos na mencionada microrregião. Por outro lado nos anos chuvosos à população sofre o efeito das enchentes, a agricultura e pecuária são pouco desenvolvidas, o setor comercial é a principal de sobrevivência do Sertão, destacando-se aí a cidade de Patos, um importante pólo calçadista, e que abastece de produtos as demais cidades de menor porte da região.

3.2.6 Alto-sertão

A maior parte do território dessa microrregião está situada em bacia de origem tectônica, cujo relevo apresenta-se plano, com algumas serras. A vegetação é formada por extratos herbáceo - graminóide e arbóreo - arbustivo em que se reconhecem, dentre outros, o peneiro, faveleiro, jurema-preta e o xiquexique. A área é formada por terrenos sedimentares, datado do período cretáceo, cujo solo é constituído de argilitos, arenitos, calcíferos, ocorrendo no solo minerais profundos e argilosos com muito cascalho, sendo sujeito as erosões, porém muito fértil quando favorecidos pelas chuvas.

O Rio do Peixe é o maior da região, formando grandes reservatórios como os açudes de Pilões e a Barragem de Lagoa do Arroz, além de banhar a cidade de Sousa funcionando como principal elemento de macrodrenagem. O Rio do Peixe lança suas águas no Rio Piranhas, seu principal afluente, formando as duas maiores planícies fluviais de Sousa.

O clima dessa microrregião é megatermico do tipo tropical úmido. A média térmica anual é de aproximadamente 27°C com temperaturas que variam entre 18°C na mínima e 38°C na máxima. A umidade relativa do ar varia entre 77% no mês de fevereiro e 45% no mês de setembro. A região é caracterizada por ser área seca, recebe chuvas com mais frequência nos meses de janeiro a maio. A época de estiagens se estende de agosto a dezembro. A média de precipitação anual é de 812.7mm, o principal sistema meteorológico a produzir chuvas na citada microrregião é a Zona de Convergência Intertropical. No período chuvoso podem ocorrer enxurradas, e num curto espaço de tempo chover praticamente a média de um mês inteiro, as chuvas assim como no Cariri e Sertão são altamente irregulares e as secas comuns na microrregião. As

atividades econômicas baseiam-se no comércio e agricultura, praticada principalmente nas várzeas irrigadas, os cultivos de feijões, milhos e cocos se destacam nessa área.

3.3 Sistemas Meteorológicos Precipitantes Que Atuam na Paraíba

A atuação de um determinado sistema meteorológico sobre uma região, seja o mesmo precipitante ou não, depende o padrão de circulação de ventos vigente na atmosfera, da TSM (Temperatura da Superfície do Oceano) e do aquecimento do continente. Sob esta ótica, Vórtices Ciclônicos de Ar Superior, Ondas de Leste e a Zona de Convergência Intertropical como foram apresentados de forma sucinta no tópico anterior, constituem os principais sistemas meteorológicos a causar alterações nas condições do tempo nas microrregiões que compõem o Estado da Paraíba. Uma explanação mais detalhada sobre as características desses sistemas de tempo será apresentada a seguir.

3.4 Zona de Convergência Intertropical

Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o sistema meteorológico mais importante na determinação de quão abundante ou deficiente serão as chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil

A ZCIT está inserida numa região onde ocorre à interação de características marcantes atmosféricas e oceânicas: i) Zona de Confluência dos Alísios (ZCA); ii) Zona do Cavado Equatorial; iii) Zona de Máxima Temperatura da Superfície do Mar; iv) Zona de Máxima Convergência de Massa; e v) Zona da Banda de Máxima Cobertura de Nuvens Convectivas, todas interagindo próximas à faixa equatorial. Apesar dessa

interação as características não se apresentam, necessariamente, ao mesmo tempo, sobre a mesma latitude. No trabalho apresentado por (Hastenrath e Lamb, 1977) é mostrado que, durante os meses de verão no Hemisfério Norte (JJA), a Zona de Confluência dos Alísios aparece sobre o cavado equatorial e as regiões de máxima cobertura de nuvens, precipitação e convergência de massa são quase coincidentes, localizando-se, aproximadamente, a três graus ao sul da ZCA. Nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, a Zona de Máxima Cobertura de Nuvens, e de precipitação e convergência de massa localizam-se ao norte da Zona de Convergência do Atlântico (ZCA).

Normalmente a ZCIT migra sazonalmente de sua posição mais ao norte, aproximadamente (12°N) em agosto e setembro, para posições mais ao sul e aproximadamente (4°S) em março-abril. Sintetizando o que foi apresentado anteriormente, pode-se dizer que a ZCIT é uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do Hemisfério Norte com os ventos alísios do Hemisfério Sul. Assim, a convergência dos ventos faz com que o ar, quente e úmido ascenda, carregando umidade do oceano para os altos níveis da atmosfera, ocorrendo à formação das nuvens. **(Fonte: FUNCEME).**

A quantidade e qualidade de chuvas produzidas por esse sistema, dependem de inúmeros fatores meteorológicos, como: a posição e intensificação das altas pressões subtropicais, a TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico e o aquecimento produzido pela radiação solar. Todos esses fatores atuando em conjunto determinam o comportamento da estação chuvosa em todo setor norte do semi-árido nordestino, e especificamente no Estado da Paraíba.

Dessa forma em anos de El Niño, há uma redução da velocidade dos alísios, tendo como consequência à diminuição do fornecimento de umidade para a ZCIT, que

conseqüentemente produz chuvas mais irregulares e em menor quantidade que em anos normais sob o norte do nordeste brasileiro. As pesquisas têm, no entanto mostrado que os eventos de El Niño são responsáveis por apenas 30% das secas nos estados nordestinos, e que atestam que outros fatores como os apresentados no parágrafo anterior, estão diretamente relacionados às estiagens em nossa região.

3.5 Ondas de Leste

As Ondas de Leste são ondas que se formam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios, e se deslocam de oeste para leste, ou seja, desde a costa da África até o Litoral leste do Brasil.

Na América do Sul, as Ondas de Leste ocorrem na faixa tropical do Atlântico e deslocam-se para oeste provocando chuvas principalmente no Litoral e Zona da Mata, que se estende desde o Recôncavo Baiano até o Litoral do Rio Grande do Norte. Como essa região é dominada pela massa de ar tropical marítima e pelo Anticiclone do Atlântico Sul, que provoca subsidência e a conseqüente inversão dos alísios. O ar úmido é injetado pela circulação anticiclônica e a zona de convergência, associada ao cavado, provoca a ascensão desse ar, favorecendo a formação de nuvens de grande extensão vertical. Imediatamente após a passagem da onda, o nível de inversão dos alísios volta a baixar (Vianello & Alves, 2000).

Quando as condições oceânicas e atmosféricas estão favoráveis as Ondas de Leste também provocam chuvas no Estado do Ceará, principalmente na parte centro-norte do estado, dessa forma esse sistema produz chuvas em quase toda a porção leste do Litoral nordestino.

3.6 Vórtices Ciclones de Ar Superior

Vórtices Ciclônicos de Ar Superior constituem um dos principais sistemas meteorológicos precipitantes a produzir chuvas na Região Nordeste. Dessa forma, produzem precipitação na porção norte da referida região, e bom tempo nas porções sul e central. Originam-se entre as latitudes de 0 a 28°S e 20°W e 45°W. Apresentam um núcleo frio (alta pressão) em relação à periferia, e subsidência que inibe nebulosidade.

Na periferia há alta nebulosidade e chuvas intensas. Os vórtices se deslocam para o oceano ou para o continente. Associado ao vórtice existe uma Frente Fria que produz chuva na zona frontal e bom tempo na retaguarda. Quando a configuração vórtice-frente permanece por vários dias, então se tem a situação de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

A escala de tempo de atuação desses sistemas é de dias, podendo durar algumas horas, e até mesmo mais de duas semanas. A formação desses sistemas coincide com a época do ano quando o escoamento em altos níveis (200hpa) é meridional, sul a norte.

No verão o intenso aquecimento na América do Sul (tropical) causa o desenvolvimento de um anticiclone sobre o continente. A intensidade do anticiclone sobre o continente em 200hpa, determina a formação de vórtices sobre o oceano.

Os Vórtices Ciclones surgem em altos níveis da atmosfera (12 km) de altitude, e se estendem até aproximadamente 500 mb em média, apenas em 60% dos casos atingem o nível de 700mb, e só 10% conseguem atingir a superfície. Esses sistemas se caracterizam pela ascensão de ar quente e úmido na periferia, e subsidência de ar frio e

seco em seu centro, o que provoca transformação de energia potencial em energia cinética.

Os Vórtices Ciclônicos que atuam no Nordeste são observados na primavera, Outono e Verão, com máxima ocorrência em janeiro. Causam precipitação na costa norte da referida região e nos estados do Piauí e oeste de Pernambuco, mantendo céu limpo na Bahia. (Kousky e Gan, 1991; Gan, 1993 *Apud* Varejão-Silva, 2001).

No Estado da Paraíba a atuação de Vórtices Ciclônicos de Ar Superior se dá principalmente nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, sendo nos dois primeiros meses citados anteriormente, o principal sistema meteorológico a produzir chuvas no referido estado. Há registros de períodos chuvosos produzidos por vórtices na Paraíba em diversos anos, dentre os quais vale mencionar: 1977, 1984, 1985, 1986, 1989, 1992, 1994, 2001 e 2004, sendo este último o mais chuvoso e longo, com as chuvas perdurando por quase todo o mês de janeiro, e distribuindo-se de forma intensa em quase toda a Região Nordeste.

Os Vórtices Ciclônicos podem ser secos ou úmidos, daí porque em alguns anos não produzem chuvas no Nordeste, constituem ainda um mistério para a Meteorologia, sendo objeto de estudo de inúmeras pesquisas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Dados Utilizados

No presente estudo utilizaram-se séries de precipitação anual de 54 municípios do Estado da Paraíba, com suas respectivas médias normais climatológicas, arquivadas no banco de dados da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande, sendo oriundas de postos pluviométricos e estações meteorológicas monitoradas pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados faltosos foram eliminados, o que constitui uma limitação ao estudo a ser realizado.

Para escolher os municípios analisados nesta pesquisa, dividiu-se o Estado da Paraíba em suas seis microrregiões climáticas. Foram escolhidos doze municípios pertencentes às microrregiões do Alto-sertão e Cariri/Curimataú, onze pertencentes ao Sertão, sete pertencentes ao Agreste e Brejo, e cinco municípios pertencentes ao Litoral, de acordo com a disponibilidade de dados de chuva. Os municípios analisados na pesquisa apresentam-se logo abaixo, Tabelas de 1 a 6:

Tabela 1 – Informações referentes aos municípios representativos da Microrregião do Alto-sertão da Paraíba

Município	Abreviatura	Latitude (graus, min)	Longitude (graus, min)	Altitude (m)	Série de dados de precipitação (anos)
Antenor Navarro	AN	-06 43	-38 32	240	1913 – 2006
Cajazeiras	Cj	-06 53	-38 34	291	1910 – 2006
S. J. de Piranhas	SJP	-07 07	-38 30	300	1911 – 2006
B. de Santa Fé	BSF	-07 19	-38 31	575	1933 – 2006
Conceição	Cn	-07 33	-38 31	370	1910 – 2006
Sousa	Ss	-06 45	-38 14	200	1910 – 2006
São Gonçalo	SG	-06 50	-38 19	235	1937 – 2006
Itaporanga	It	-07 18	-38 10	230	1910 – 2006
Aguiar	Ag	-07 05	-38 11	280	1933 – 2006
Coremas	Co	-07 00	-37 58	220	1964 - 2006
Piancó	Pi	-07 11	-37 57	250	1910 – 2006
Manaíra	Mn	-07 42	-38 10	605	1933 – 2006

Tabela 2 - Informações referentes aos municípios representativos da Microrregião do Sertão da Paraíba

Município	Abreviatura	Latitude (graus,min)	Longitude (graus, min)	Altitude (m)	Série de dados de precipitação (anos)
Uiraúna	Ui	-06 31	-38 25	300	1962 - 2006
Catolé do Rocha	CR	-06 21	-37 45	250	1931 – 2006
B. do B.do Cruz	BBC	-06 11	-37 32	190	1935 – 2006
Pombal	Pb	-06 46	-37 49	178	1910 – 2006
Malta	Mt	-06 54	-37 32	340	1922 – 2006
Catingueira	Ct	-07 08	-37 37	290	1933 – 2006
Água Branca	AB	-07 31	-37 39	710	1931 – 2006
Patos	Pt	-07 12	-37 17	250	1911 – 2006
Teixeira	Tx	-07 13	-37 16	770	1911 – 2006
São Mamede	SM	-06 55	-37 06	270	1962 - 2006
Santa Lúzia	SL	-06 52	-36 56	290	1911 – 2006

Tabela 3 - Informações referentes aos municípios representativos da Microrregião do Cariri/Curimataú da Paraíba

Município	Abreviatura	Latitude (graus,min)	Longitude (graus, min)	Altitude (m)	Série de dados de precipitação(anos)
Taperoá	Tp	-07 12	-36 50	500	1910 – 2006
Olivedos	Ol	-06 59	-36 15	545	1933 - 2006
Pedra Lavrada	PL	-06 45	-36 28	525	1934 – 2006
Picuí	Pc	-06 31	-36 22	450	1910 – 2006
Monteiro	Mn	-07 52	-37 07	596	1964 – 2006
S. S.Umbuzeiro	SSU	-08 09	-37 12	600	1962 – 2006
Sumé	Sm	-07 39	-36 56	510	1931 – 2006
Caraúbas	Ca	-07 43	-36 31	460	1931 – 2006
S. João do cariri	SJC	-07 24	-36 32	445	1911 – 2006
Soledade	Sl	-07 42	-36 22	560	1912 – 2006
Cabaceiras	Cb	-07 30	-36 17	390	1926 – 2006
Boqueirão	Bq	-07 29	-36 07	380	1961 - 2006

Tabela 4 - Informações referentes aos municípios representativos da Microrregião do Agreste da Paraíba

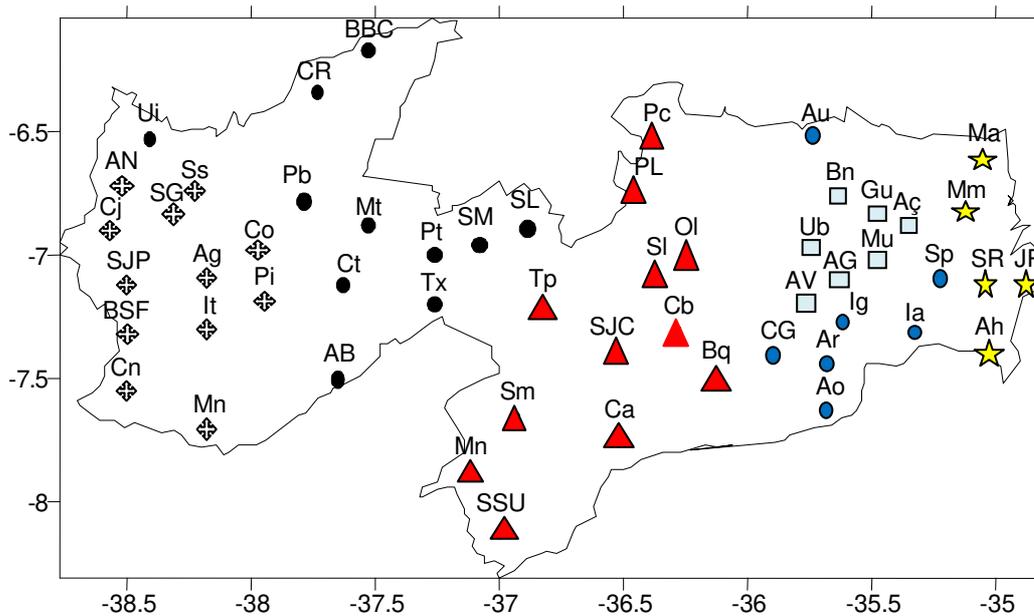
Município	Abreviatura	Latitude (graus,min)	Longitude (graus, min)	Altitude (m)	Série de dados de precipitação(anos)
Araruna	Au	-06 31	-35 44	580	1911 - 2006
Campina Grande	CG	-07 12	-35 51	508	1910 – 2006
Ingá	Ig	-07 17	-35 37	144	1910 – 2006
Itabaiana	Ia	-07 20	-35 20	045	1910 – 2006
Sapé	Sp	-07 06	-35 14	125	1924 – 2006
Umbuzeiro	Ub	-07 42	-35 40	553	1910 – 2006
Aroeiras	Ao	-07 31	-35 41	340	1962 – 2006

Tabela 5 - Informações referentes aos municípios representativos da Microrregião do Brejo da Paraíba

Município	Abreviatura	Latitude (graus,min)	Longitude (graus, min)	Altitude (m)	Série de dados de precipitação(anos)
Alagoa Nova	AV	-07 04	-35 47	500	1911 – 2006
Alagoa Grande	AG	-07 03	-35 38	180	1910 – 2006
Areia	Ar	-06 58	-35 42	445	1910 – 2006
Mulungú	Mu	-07 02	-35 29	100	1926 – 2006
Guarabira	Gu	-06 51	-35 29	089	1910 – 2006
Araçagi	Ac	-06 51	-35 22	170	1962 - 2006
Bananeiras	Bn	-06 46	-35 38	552	1930 – 2006

Tabela 6 - Informações referentes aos municípios representativos da Microrregião do Litoral da Paraíba

Município	Abreviatura	Latitude (graus,min)	Longitude (graus, min)	Altitude (m)	Série de dados de precipitação(anos)
João pessoa	JP	-07 07	-34 53	005	1912 – 2006
Mataraca	Ma	-06 36	-35 03	035	1962 - 2006
Alhandra	Ah	-07 24	-34 54	049	1936 – 2006
Santa Rita	SR	-07 08	-34 59	016	1910 – 2006
Mamanguape	Mm	-06 50	-35 07	054	1910 – 2006



- ◆ Municípios da microrregião do Alto-sertão da Paraíba
- Municípios da microrregião do Sertão da Paraíba
- ▲ Municípios da microrregião do Cariri da Paraíba
- Municípios da microrregião do Agreste da Paraíba
- Municípios da microrregião do Brejo da Paraíba
- ★ Municípios da microrregião do Litoral da Paraíba

Figura 1 – Distribuição espacial dos municípios analisados no Estado da Paraíba

4.2 Análise de Tendência e Variabilidade da Precipitação

4.2.1 Variabilidade da Precipitação

Para se verificar a variabilidade da precipitação pluvial nas séries analisadas, e diferenciar períodos secos e úmidos em cada município, foram calculados os desvios acumulados de acordo com a equação (1), sendo graficamente representado como uma função de “k”, com k variando de 1 a n, segundo (Lázaro et al, 2001).

$$S_k \approx \sum_{i=1}^k d_i \quad (1)$$

Onde: d_i é a soma do desvio da precipitação observada em relação a média normal climatológica “ dp_i ” no ano i , com o desvio acumulado “ S_{i-1} ” calculado no ano $i - 1$.

Dessa forma no primeiro ano de cada série, S_1 é igual ao desvio em relação a média normal climatológica “ dp_1 ” considerada para cada município, assim tem-se que:

$$dp_i = p_i - \bar{p} \quad (2)$$

Onde: p_i e \bar{p} são respectivamente a precipitação observada em dado município no ano i , e a média normal anual de chuvas na referida município.

Para se verificar o padrão do comportamento da precipitação pluviométrica de cada município, em relação a média, fez uso do desvio padrão da precipitação, o qual, segundo Assis et al. (1996) é dado por:

$$\delta = \sqrt{\sum (p_i - \bar{p})^2 / (n - 1)} \quad (3)$$

Em que “ n ” representa o tamanho da série estudada, e os demais termos já foram definidos anteriormente.

4.2.2 Tendência da Precipitação

Para verificar a possibilidade de ocorrência de tendência nas séries temporais estudadas, fez-se uso do teste estatístico não paramétrico de Mann-Kendall, conforme a metodologia proposta por Sneyers (1992). Esse teste considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente,

e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples). (Goossens & Berger, 1986) afirmam que o teste de Mann-Kendall é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas e permite também a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência Back (2001). Este teste é uma ferramenta amplamente utilizada na literatura científica, e baseia-se na interdependência entre duas variáveis, e no caso de séries temporais uma delas, o tempo, é conhecido (Lázaro et al, 2001).

Considere uma série temporal de tamanho n (x_i , onde $i = 1, \dots, n$), para cada x_i , o número m_i de $x_j < x_i$ com $j < i$ é calculado. Então obtém-se a equação (4), de acordo com (Lázaro et al, 2001):

$$d_N \approx \sum_{i=1}^N m_i \quad (4)$$

Segundo Back (2001), sob a hipótese nula (H_0) de ausência de tendência d_N , a série com grande número de termos n apresenta uma distribuição normal respectivamente com média (E) e variância (Var), conforme as equações (5) e (6) abaixo:

$$E(d_N) = N(N-1)/4 \quad (5)$$

$$Var(d_N) = N(N-1)(2N+5)/72 \quad (6)$$

O sinal paramétrico estatístico $u(d_N)$ é obtido pela equação (7) a seguir, e é comparado a uma distribuição padrão normal, que requer um nível de significância usual de 0,05 (Goossens & Berger, 1986; Sneyers, 1992).

$$u(d_N) = (d_N - E(d_N)) / \sqrt{\text{Var}(d_N)} \quad (7)$$

A hipótese nula é rejeitada quando há tendência significativa na série, ou seja, quando $|u(d_N)| > 1,96$. O sinal estatístico $u(d_N)$ indica se a tendência é crescente ou decrescente, dessa forma ($u(d_N) > 0$) indica tendência crescente, e ($u(d_N) < 0$) indica uma tendência decrescente na série.

A versão seqüencial do teste de Mann-Kendall consiste na representação gráfica da série temporal estudada, e de uma série retrograda. A série retrograda é calculada para cada x_i . O número m_i de termos x_j , com $j > i$ e $x_j < x_i$. Uma tendência significativa caracteriza-se quando a curva que denota a série temporal estudada atinge um nível de significância de 5%. Se as curvas, da série temporal e da série retrograda se cruzam entre valores críticos da ordem de 5%, então existe uma mudança, e o ponto de intersecção representa o início da mesma (Lázaro et al, 2001).

A partir dos valores de tendência obtidos para os municípios analisados, foram elaborados cenários de precipitação para os anos de 2050 e 2100. Esses cenários foram obtidos a partir da definição de Silva (comunicação pessoal) pela equação (8):

$$C_n = \bar{p} + t \times \Delta T \quad (8)$$

Em que: \bar{p} é a média normal climatológica da precipitação;

t é a tendência da série;

ΔT é o intervalo de tempo entre o ano do prognóstico e o último ano de dados da série.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o entendimento da variabilidade da precipitação na área de estudo, são apresentados a seguir, gráficos do desvio acumulado das seis microrregiões climatologicamente homogêneas do Estado da Paraíba, sendo que cada uma, é representada por quatro municípios, conforme observam-se abaixo nas figuras de 1a a 6d:

- **Alto-sertão**

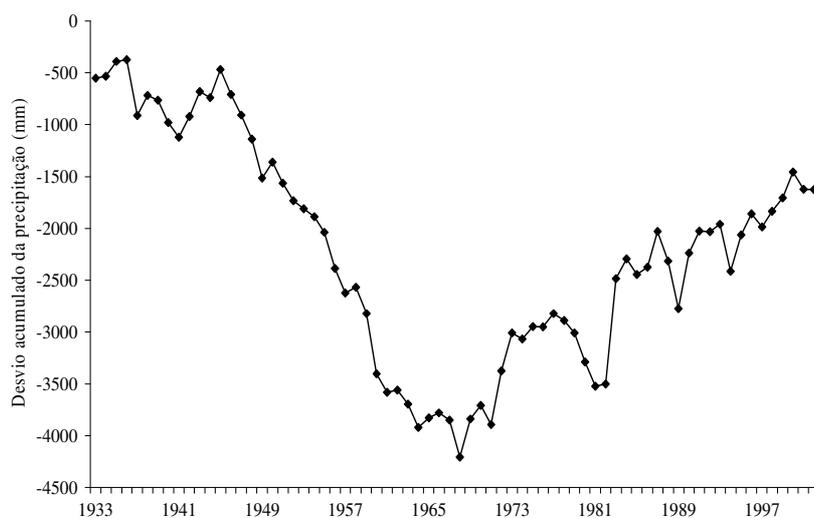


Figura 1a – Desvio acumulado da precipitação no município de Manaíra

No referido município o desvio acumulado apresenta-se negativo ao longo de toda a série estudada, assumindo um valor mínimo de cerca de - 400 por volta de 1936, e um máximo de - 4200 em 1968. Inicialmente o desvio encontra-se próximo a -500 em 1933. Do referido ano até 1949 o desvio aumenta até atingir aproximadamente -1500. De 1949 até 1965, o desvio continua a intensificar-se, atingindo nesse último ano citado o valor de -3800. De 1965 a 1981 o desvio acumulado sofre um decréscimo suave, chegando a - 3600 em 1981. De 1981 a 2002, o desvio cresce consideravelmente, atingindo aproximadamente – 1500 em 2002. É importante ressaltar que nesse município, os desvios negativos não são necessariamente indicadores de seca, mas de anomalias, de cuja causa estão associadas a eventos de interação oceano-atmosfera como El Niño, e a temperatura das águas dos oceanos Atlântico Sul e Norte, além da intensificação ou não das altas pressões subtropicais, que são condicionantes da circulação atmosférica global, e que têm efeito direto na atuação de sistemas

meteorológicos precipitantes nos municípios tratadas nesse estudo. Assim poder-se-ia, por exemplo, explicar os valores negativos do desvio acumulado entre 1979 e 1983 e dos os anos de 1993 e 1998, pela ocorrência do fenômeno El Nino, que no citado período apresentou elevada magnitude. Já períodos como o de 1984 a 1986, e os anos de 1988, 1989 e 1994, que foram chuvosos em várias localidades do estado, poderiam ser justificados pela ocorrência do fenômeno La Niña. No entanto nessa localidade, tais anos também apresentaram desvios negativos, justificando que em pequena escala, existem outros mecanismos além dos anteriormente citados que são capazes de influenciar nas condições do tempo, e cujos reflexos acabam por tornar o clima um elemento altamente complexo, governado por uma quantidade incalculável de variáveis.

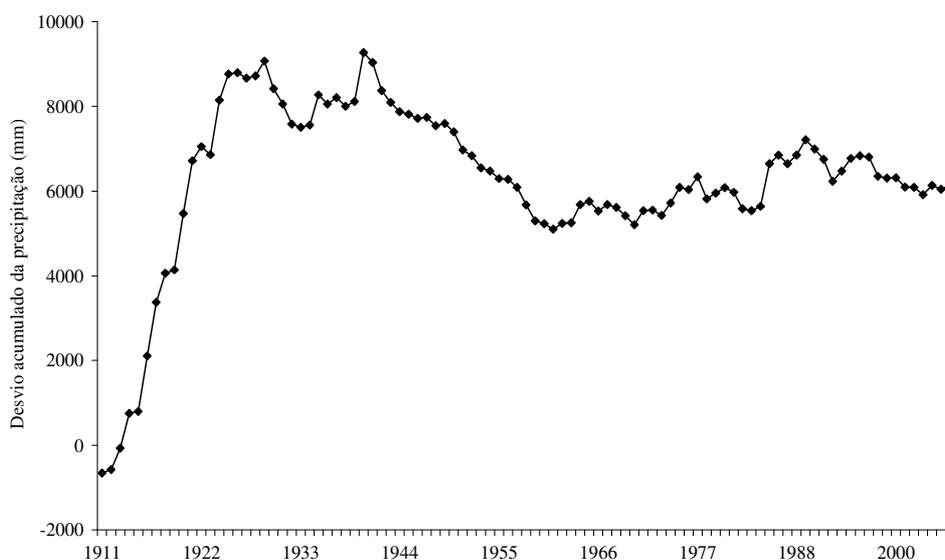


Figura 1b – Desvio acumulado da precipitação no município de Conceição

Em Conceição, o desvio acumulado apresenta-se predominantemente positivo, com um máximo valor negativo de - 655 em 1911, e um máximo valor positivo de 9260

em 1940. O mínimo valor do desvio ocorre em 1914, aproximadamente 0. De 1911 a 1922 o desvio acumulado cresce significativamente, de -655 até 7045. De 1922 a 1933 O desvio acumulado oscila de 7045 até 7506. Entre 1933 e 1944 o desvio cresce até atingir 7874, de 1944 a 1955, há uma redução do desvio, que oscila entre 7874 e 6293, de 1955 a 1966, o desvio acumulado continua a decrescer, atingindo 5531. Entre 1966 e 1977 o desvio cresce novamente e atinge o valor 5531. De 1977 até 2006, o desvio acumulado cresce suavemente, de 5531 até 6136 no último ano citado. É importante ressaltar que de 1997 a 1988, o desvio apresentou-se sempre muito positivo, o que atesta que o referido município pode não ter sofrido efeito do fenômeno El Niño em períodos secos como o de 1979 a 1983, e nos anos de 1993 e 1998. Conclusão como esta serve para reforçar a idéia de que a precipitação não é produto só dos fenômenos que ocorrem em grande escala, mas também de sua própria natureza, altamente variável no tempo e espaço.

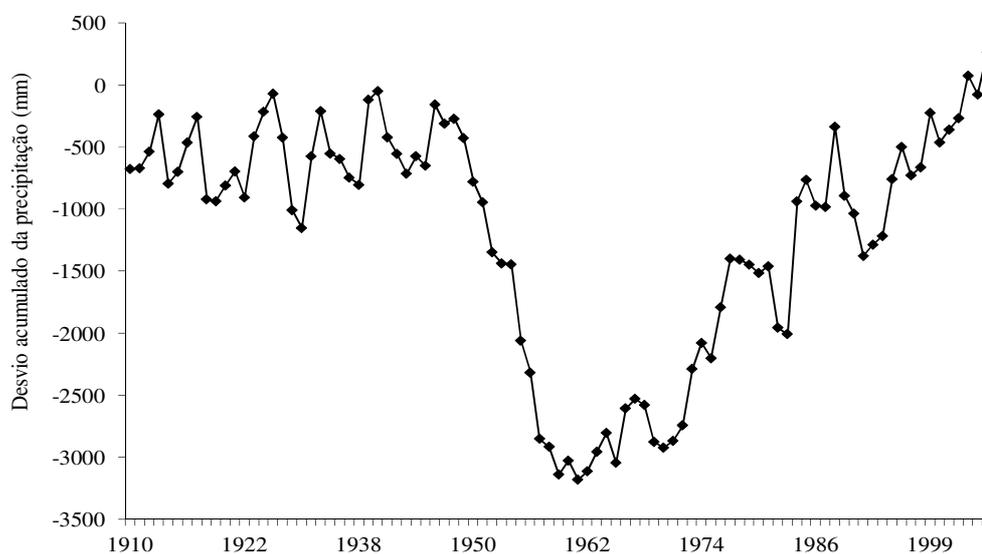


Figura 1c – Desvio acumulado da precipitação no município de Cajazeiras

No município de Cajazeiras o desvio acumulado apresenta-se predominantemente negativo, atingindo um valor máximo negativo de -3373 em 1961, e um máximo positivo de 70 em 2005. O mínimo valor do desvio acumulado no citado município é de - 118 em 2003. O desvio varia de - 870 em 1910 a - 346 em 1946, nesse período o comportamento do mesmo é aproximadamente cíclico. A partir de 1946 o desvio intensifica-se negativamente coincidindo com um período aparentemente seco no município, o qual só termina por volta de 1962 quando o desvio acumulado começa a reduzir, mantendo um comportamento decrescente até 2005. Em Cajazeiras os períodos de episódios de El Niño, 1979 a 1983 e os anos de 1993 e 1998, coincidem com desvios negativos da precipitação, no entanto o período de 1984 a 1986 e os anos de 1988, 1989 e 1994, apresentam desvios acumulados negativos, logo inferi-se que a precipitação observada nesse município nesses anos pode não ter sido afetada pelo fenômeno La Nina.

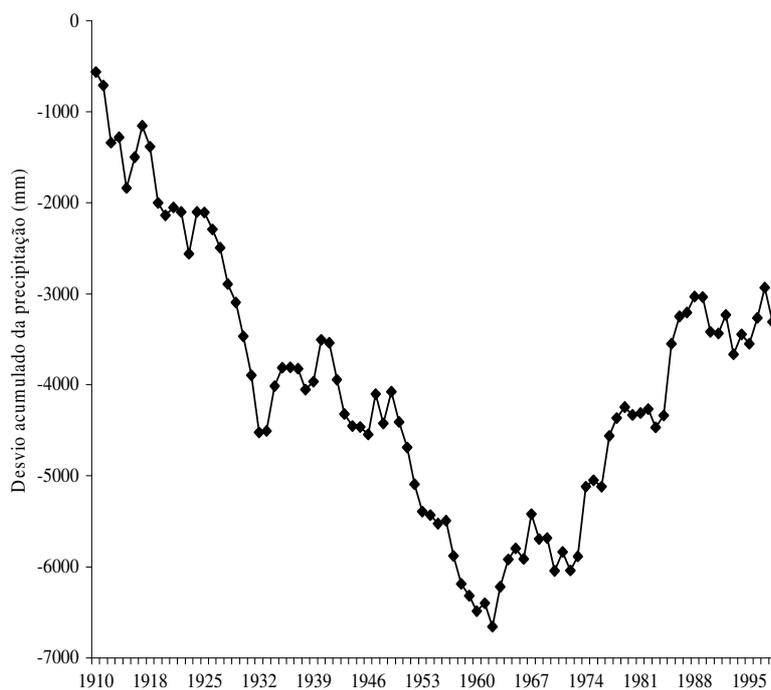


Figura 1d – Desvio acumulado da precipitação no município de Souza

Em Souza, o desvio acumulado apresenta-se sempre negativo, com um valor máximo de -6667 em 1962, e um mínimo de -562 em 1910. A série apresenta dois comportamentos distintos, um crescente, com o desvio acumulado intensificando-se, fato observado entre os anos de 1910 e 1962, e um decrescente, com o desvio diminuindo progressivamente, como pode ser notado entre 1962 e 1998. Claramente entre 1910 e 1962, a seqüência consecutiva de anos com desvios negativos sugere a ocorrência de anos secos, principalmente no caso dos anos que apresentam desvios mais negativos, como 1958, 1959, 1961, 1962 e 1963, por exemplo. O período de 1962 a 1998 caracteriza a suavização dos desvios, com a possível ocorrência de períodos de

chuva anuais mais próximos a média normal climatológica do referido município. É importante notar que mesmo em anos considerados chuvosos no Estado da Paraíba, como 1984, 1985, 1986, 1988, 1989 e 1994, o desvio acumulado em Souza permaneceu negativo.

Nos demais municípios do Alto-sertão da Paraíba, o desvio acumulado da precipitação apresentou comportamento semelhante, mas evidenciou-se ainda a alta variabilidade temporal da precipitação, como no município de Antenor Navarro, onde o desvio acumulado oscilou entre o valor máximo negativo de - 2295 e o máximo positivo de 2189, assim como também em Coremas, onde tal oscilação ocorreu entre os valores de - 3422 e 755. Dessa forma, o desvio acumulado nesses citados locais variou entre muito positivo e muito negativo, o que é bem característico do clima da região.

- **Sertão**

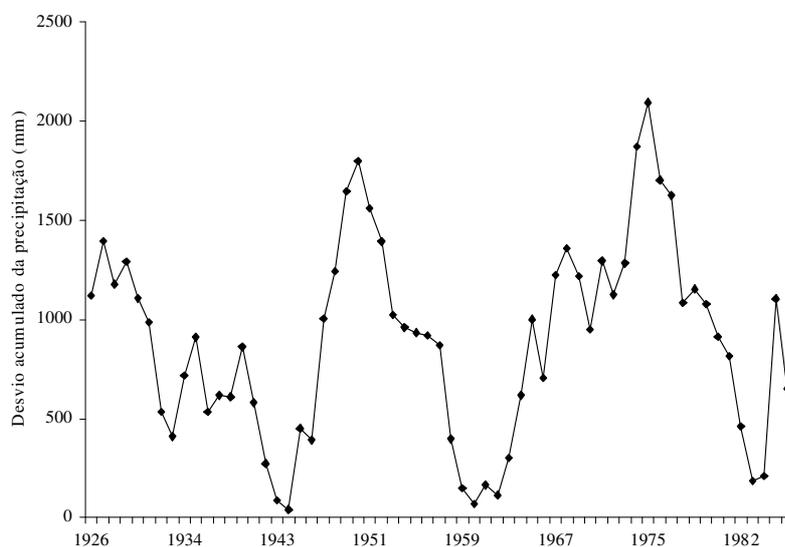


Figura 2a – Desvio acumulado da precipitação no município de Patos

Nesta local, o desvio acumulado apresenta uma variação sempre positiva, dessa forma observa-se um valor mínimo do desvio de 40 em 1944, e um máximo de 2095 em 1975.

Entre 1926 e 1934 o desvio acumulado decresce, de 1120 a 408. Entre 1934 e 1943, o desvio oscila de 408 a 85. O desvio continua a diminuir até 1944, quando começa a aumentar significativamente, caracterizando aparentemente a ocorrência de um longo período chuvoso no município até 1950. Desta data em diante, o desvio acumulado diminui a cada ano, até atingir um valor de 68 em 1960. Até 1970, o desvio volta a aumentar, configurando outro período úmido, ficando em torno de 2095 em 1975, ano mais chuvoso na referida localidade. Após 1975, o desvio novamente decresce, ano após ano, atingindo um valor de 184 em 1983, em seguida o desvio sofre novo incremento, atingindo o valor de 1185 em 1985.

Deve-se ressaltar que Patos, o desvio acumulado da precipitação manteve-se positivo mesmo em anos de El Niño forte como no período de 1979 a 1983, confirmando o fato que mesmo em anos tão adversos como estes, é possível que ocorram chuvas próximo da média normal climatológica em localidades isoladas da Região Nordeste do Brasil.



Figura 2b – Desvio acumulado da precipitação no município de Malta

No município de Malta, o desvio acumulado da precipitação apresenta comportamento positivo e negativo, conforme a figura 2b. O valor máximo negativo, -2503 ocorre em 1993, já o máximo valor positivo verifica-se em 1931, e é aproximadamente 1160. O valor mínimo assumido pelo desvio acumulado é 6, e ocorre no ano de 1924. Os desvios negativos são observados nos anos de 1922 e 1923 e no longo período que se estende de 1956 até 2006. E os desvios positivos ocorrem ao longo do período de 1924 até 1955.

De 1922 a 1947 o desvio acumulado varia de - 597 a 1142, sofrendo uma variação positiva, caracterizando a ocorrência de um período chuvoso no município. De 1947 a 1971 o desvio sofre grande variação passando de muito positivo a muito negativo em valores da ordem 1142 a - 2188. Os valores negativos do desvio continuam a ocorrer até 2006, onde atinge um valor de cerca de - 1711.

O comportamento do desvio acumulado da precipitação neste local, mostra que mesmo em anos de La Niña como 1984, 1985, 1986, 1988, 1989, 1994, 2001 e 2006, os desvios apresentaram-se negativos. Já nos anos em que ocorreram El Niño, os desvios apresentaram-se positivos e concordando com a tendência de chuvas abaixo da média climatológica, observada na maioria das localidades da região Nordeste no mesmo período.

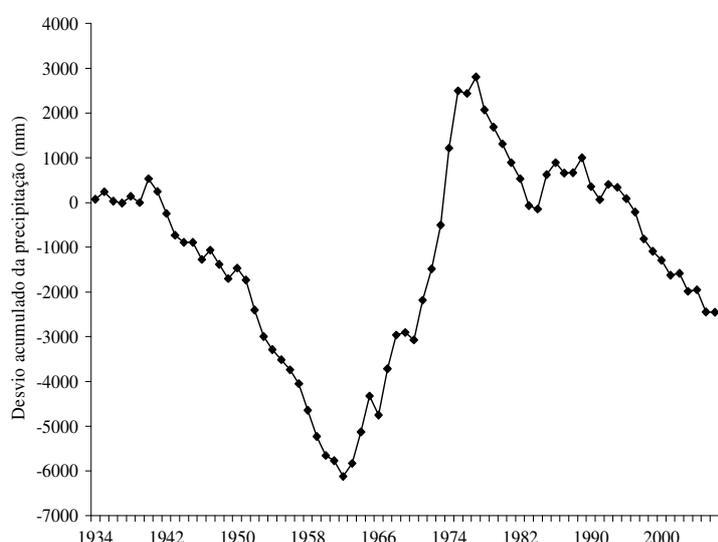


Figura 2c – Desvio acumulado da precipitação no município de Catingueira

A figura 2c acima mostra a ocorrência de três períodos distintos no referido município, o primeiro período que vai de 1934 a 1962 apresenta grande variação negativa do desvio acumulado, já o segundo, 1962 a 1977 ocorre o inverso, uma variação positiva muito acentuada. O terceiro período, 1977 a 2006 apresenta uma variação negativa menos acentuada que o primeiro. O desvio acumulado em Catingueira apresenta-se negativo em: 1937, 1939, 1983, 1984, e nos períodos de 1942 a 1973 e de 1997 até 2006, e positivo em: 1935, 1936, 1938, 1940 e 1941, e nos períodos de 1974 a

1982, e de 1985 a 1996. De 1934 a 1962, o desvio acumulado varia de 0 a - 6124, já de 1962 a 1977, oscila de - 6124 a 2808, em seguida volta a oscilar de positivo a negativo, até atingir o valor de - 2456 em 2006.

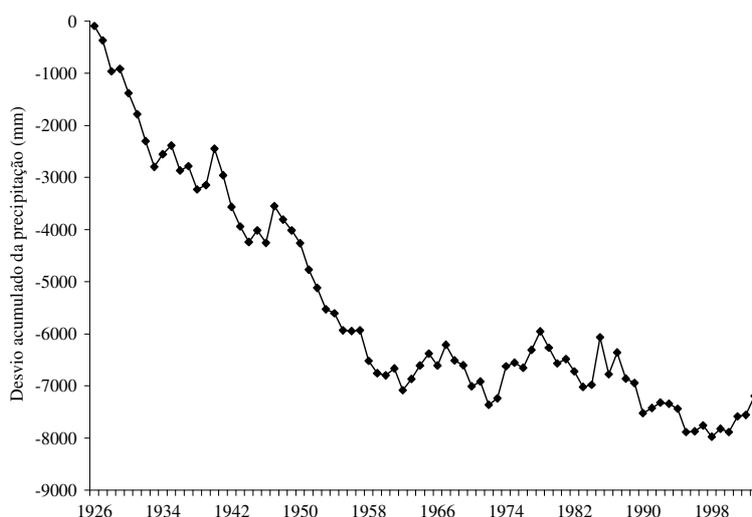


Figura 2d – Desvio acumulado da precipitação no município de Teixeira

Em Teixeira o desvio acumulado é basicamente negativo, e apresenta seu valor mínimo, -88 em 1926, e seu máximo em 1998, - 7977.

De 1926 a 1950 o desvio acumulado varia de - 88 a - 4260, em seguida continua a aumentar atingindo o valor de - 6567, o desvio permanece aumentando até atingir o valor de - 7195 em 2003.

É necessário ressaltar que os desvios tão negativos representam não apenas o fato do município se situar no Sertão do semi-árido nordestino, mas também devido a outros fatores como relevo, já que se situa no Planalto da Borborema, numa altitude de

cerca de 800 metros, cabe aqui afirmar que tais suposições baseiam-se em hipóteses, cuja natureza ainda não é comprovada, mas aceita no meio científico.

Quanto aos anos possivelmente influenciados por anomalias positivas ou negativas de chuva (El Niño e La Niña), cabe afirmar que no período de 1979 a 1983 a precipitação local foi provavelmente influenciada pelo fenômeno El Niño, assim como também os anos de 1993 e 1998, entretanto o triênio de 1984 a 1986 e os anos de 1988, 1989 e 1994, apresentam desvio negativo, e provavelmente não foram afetados pelo fenômeno La Niña.

Nos outros municípios do Sertão da Paraíba, o desvio acumulado da precipitação apresentou comportamento semelhante ao do Alto-sertão, que juntamente com a microrregião do Cariri, possuem características climáticas semelhantes. Assim no Sertão, a alta variabilidade temporal da precipitação é predominante, como na cidade de Belém do Brejo do Cruz, onde o desvio acumulado oscilou entre o valor máximo negativo de - 1165 e o máximo positivo de 2195, assim como também em Ibiara, onde tal oscilação ocorreu entre os valores de - 5730 e 2737. Dessa forma, o desvio acumulado nesses citados locais variou entre muito positivo e muito negativo.

- **Cariri/Curimatau**

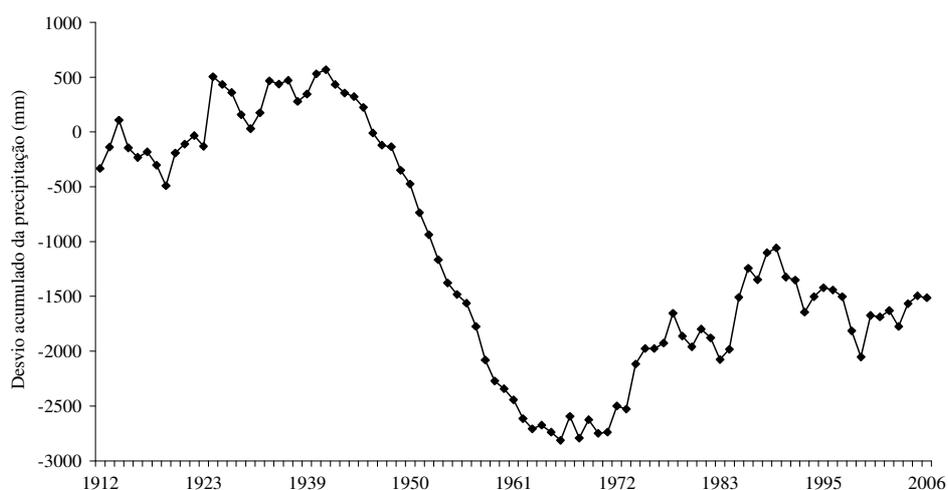


Figura 3a – Desvio acumulado da precipitação no município de Soledade

De acordo com a Figura 3a, o desvio acumulado apresenta um valor máximo positivo de 567 em 1941, e um valor máximo negativo de - 2812 em 1966, o valor mínimo do desvio é registrado em 1946, e é aproximadamente igual a 12. Os desvios negativos predominam sobre os positivos, e são observados nos anos de: 1912 e 1913 e nos períodos de 1915 a 1923 e 1946 a 2006. Os desvios positivos ocorrem em: 1914 e no período de 1924 a 1945.

De 1912 a 1940, o desvio acumulado varia de negativo, - 492 em 1919, a positivo 531 em 1940. De 1940 a 1972, o desvio varia de positivo, 567 em 1941 a negativo, - 2812 em 1966. De 1972 a 2006 o desvio oscila entre, - 2499 em 1972 e - 1513 em 2006.

No gráfico, os dois períodos distintos da série de valores do desvio acumulado denunciam a ocorrência, inicialmente de um período de chuvas próximas do normal,

entre 1912 e 1946, e em seguida, um período de redução das chuvas, com intensificação significativa das anomalias negativas de precipitação no referida município.

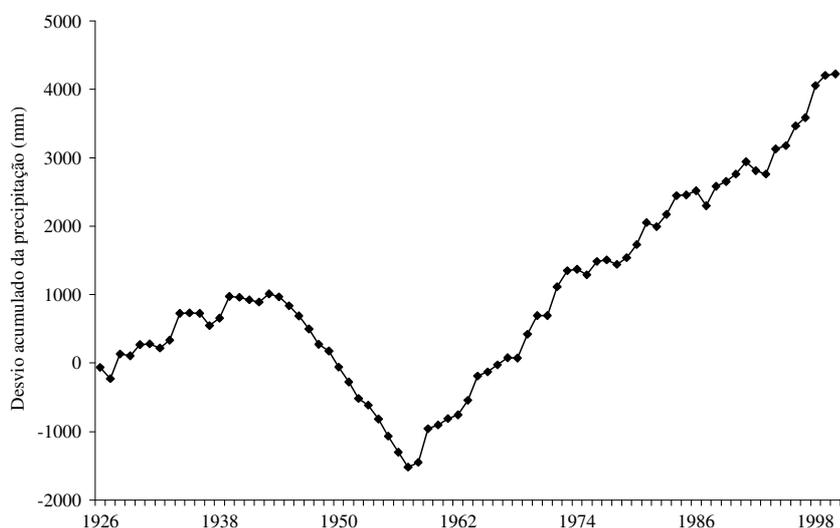


Figura 3b – Desvio acumulado da precipitação no município de Cabaceiras

Em Cabaceiras o desvio acumulado apresenta-se positivo, períodos de 1928 a 1949 e 1967 a 2000, e negativo, anos de 1926 e 1927 e período de 1950 a 1966.

Observa-se a ocorrência do máximo valor positivo do desvio, 4224 em 2000, e do máximo valor negativo, - 1520 em 1957. O mínimo valor do desvio ocorre em 1926, - 64.

De 1926 a 1957 o desvio acumulado varia de - 64 em 1926 a - 1519 em 1957. De 1957 a 1987, o desvio passa de positivo a negativo, variando de - 1519 a 2297 em 1987. A partir daí, o desvio aumenta, até atingir o valor 4224 em 2000.

O comportamento observado no desvio acumulado na Figura 3b, pode ser associado, primeiro, no caso dos períodos do desvio positivo, a ocorrência de períodos

chuvosos influenciados por eventos de La Niña, e no caso de períodos de desvio negativo, a ocorrência de eventos de El Niño. Dessa forma, a presença de variações muito significativas no comportamento do desvio acumulado de qualquer localidade analisada neste trabalho, deve-se a ocorrência de eventos extremos de chuva ou seca, tendo nos dois fenômenos definidos anteriormente, sua origem e causa principal.



Figura 3c – Desvio acumulado da precipitação no município de Pedra Lavrada

Em Pedra Lavrada, o desvio acumulado da precipitação é predominantemente negativo. O valor máximo positivo do desvio acumulado nesse município é 380, ocorrido no ano de 1934, já o máximo negativo é - 3654 verificado em 1961. O valor mínimo do desvio ocorre no ano de 1936, e é igual a - 21.

Os valores positivos do desvio acumulado ocorrem nos anos de 1934 e 1935, já os negativos ocorrem ao longo do restante da série, ou seja, de 1936 até 2005.

De 1934 a 1961 o desvio acumulado sofre grande variação negativa, sendo igual a 380 no primeiro ano da série, e em seguida tornando muito negativo, até atingir o

valor de - 3655 em 1961. Tal variação pode estar relacionada a eventos consecutivos de períodos pouco chuvosos.

De 1961 em diante os desvios negativos começam a decrescer ano após ano, chegando aos valores de: - 1276 no ano de 1980, - 1351 em 81, - 1557 em 82, - 1500 em 83, e também mesmo em anos considerados chuvosos no nordeste brasileiro, como 1984, 1985, 1986, 1988, 1989 e 1994, o desvio acumulado no referido local manteve-se negativo.

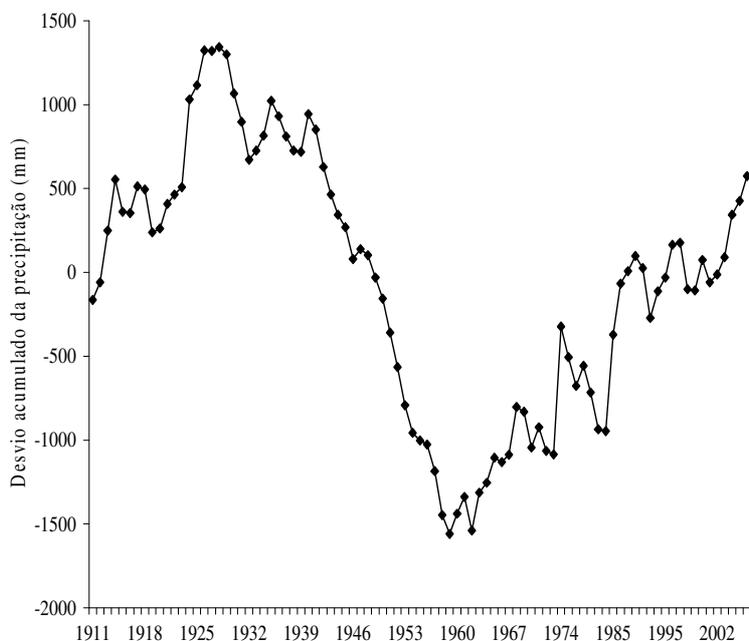


Figura 3d – Desvio acumulado da precipitação no município de Picuí

De acordo com a Figura 3d, em Picuí o desvio acumulado da precipitação apresenta variação positiva e negativa. O máximo valor positivo do desvio nesse

município é 1343 no ano de 1928, enquanto o máximo valor negativo é – 1559 no ano de 1959. O mínimo valor assumido pelo desvio na série é 6,9 no ano de 1987.

Há ligeira predominância de desvios negativos sobre os positivos na série estudada, sendo que os desvios positivos ocorrem no período de 1913 a 1948, e os negativos nos anos de 1911 e 1912 e no período de 1949 a 1986.

O gráfico da figura mostra a ocorrência, inicialmente de um período úmido, e em seguida de um período seco. Possivelmente a ocorrência de grande variação negativa do desvio acumulado entre 1940 e 1959, seja motivada por um considerável período de estiagem, ou de chuvas abaixo da média normal climatológica no local de estudo. De 1959 em diante, o desvio acumulado apresenta variação positiva, decrescendo, e com ele a precipitação anual sobre a localidade aumenta ano após ano, com o desvio tornando-se novamente positivo de 2003 até 2006.

No cariri, o desvio acumulado para as demais localidades, ou seja, Boqueirão, São Sebastião do Umbuzeiro, Monteiro, Taperoá, Caraúbas e São João do Cariri apresentou-se altamente variável, com valores oscilando entre muito positivos e muito negativos, da mesma forma que nos quatro municípios anteriormente apresentados, Nos municípios de Sumé e Olivedos, o desvio acumulado da precipitação oscilou entre valores positivos e negativos menos intensos que nos outros locais dessa microrregião.

- **Agreste**

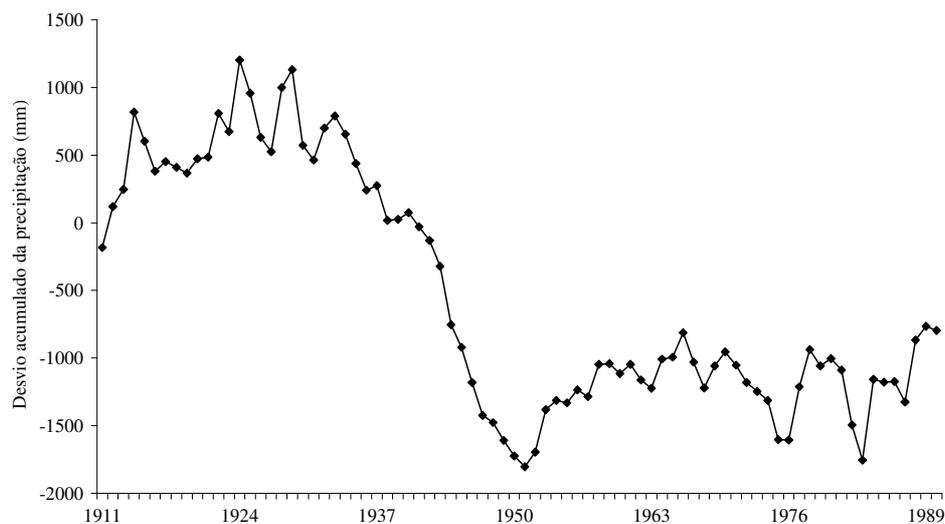


Figura 4a – Desvio acumulado da precipitação no município de Campina Grande

Conforme a Figura 4a, o desvio acumulado da precipitação em Campina Grande é positivo no período de 1912 a 1940, e negativo em 1911 e no período que vai de 1941 a 1990. Dentre os desvios positivos, o máximo valor registrado ocorreu em 1924, 1201, dentre os negativos, o maior valor encontrado foi - 1802 em 1951. O mínimo valor do desvio, 19, ocorreu em 1938.

Em 1911 o desvio é da ordem de -183, torna-se positivo e em 1924 assume o valor de 1201. De 1924 a 1937, o desvio acumulado decresce assumindo o valor de 274 no último ano citado. De 1937 a 1951 o desvio acumulado torna-se novamente negativo, intensificando-se e atingindo o valor de - 1802. De 1951 a 1963, o desvio acumulado decresce, atingindo o valor -1223 em 1963. De 1963 a 1976, o desvio acumulado intensifica-se de novo, assumindo o valor de - 1606 em 1976. Deste ano até 1990, o desvio acumulado desintensifica-se, chegando a - 797 em 1990.

É interessante frisar que Campina Grande, como segunda maior cidade do Estado da Paraíba, com cerca de 374.000 habitantes e uma área urbana de 100Km², atingiu seu ponto máximo de crescimento com a industrialização a partir de 1950, é importante notar que a substituição de áreas vegetadas por construções de concreto e asfalto, causam modificações no clima de um local, e em muitos casos um aumento nos totais pluviométricos da cidade, como mostram estudos recentes realizados. No entanto, conforme mostra o comportamento do desvio acumulado, na referida localidade essa hipótese não tem se verificado, ou seja, houve a partir dessa data um decréscimo da precipitação anual observada na cidade, tornando válida a hipótese de que fatores como a atuação dos sistemas meteorológicos precipitantes, e a elevação da temperatura média da cidade tenham contribuído de forma direta nos índices pluviométricos do local.

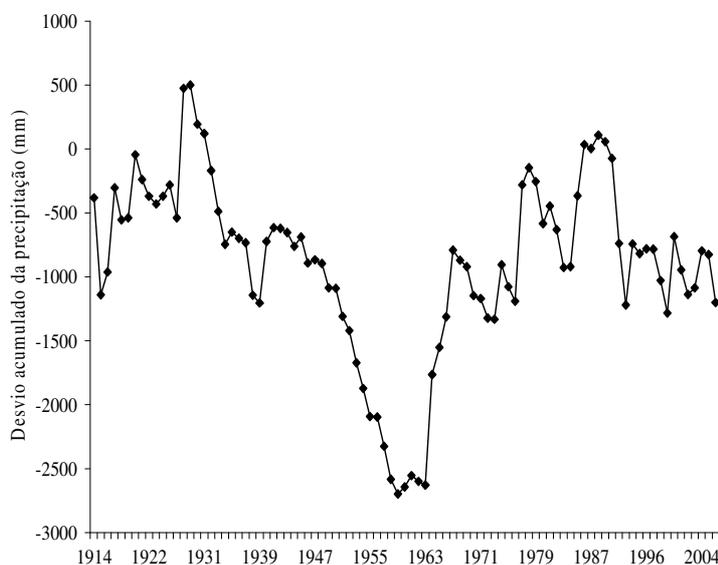


Figura 4b – Desvio acumulado da precipitação no município de Araruna

Em Araruna, o desvio acumulado da precipitação oscila, de positivo a negativo, sendo seu valor máximo positivo de 501, registrado em 1925, e seu valor máximo negativo de - 2696 registrado em 1959. O valor mínimo do desvio acumulado, 2 , ocorre em 1987.

O desvio acumulado é inicialmente negativo, aproximadamente - 380 em 1911, deste ano até 1931, o desvio oscila até atingir o valor 122 nesse último ano. De 1931 a 1947, o desvio acumulado é igual a: - 132 em 1932, - 486 em 1933, - 746 em 1934, - 651 em 1935, - 697 em 1936, - 733 em 1937, - 1144 em 1938, - 1205 em 1939, - 722 em 1940, - 615 em 1941, - 622 em 1942, - 643 em 1943, - 760 em 1944, - 689 em 1945, - 893 em 1946 e - 866 em 1947. De 1947 a 1963, o desvio acumulado intensifica-se negativamente atingindo o valor de - 2627 em 1963, tal fato pode estar associado a ocorrência de um considerável período de déficits de chuva no município, entre principalmente os anos de 1941 e 1959, quando o desvio acumulado variou entre - 615 em 1941 e - 2696 em 1959. É importante apontar o período entre 1959 e 1963, como o período de desvio mais negativo de toda a série estudada. De 1963 a 1979, o desvio acumulado decresce, de muito negativo em 1963 a próximo de zero, - 255 em 1979. Este período marca o término da seqüência de valores muito negativos do desvio. Entre 1979 e 1996, o desvio intensifica-se de forma moderada, atingindo o valor - 781 em 1996. Neste período deve-se mencionar o período de 1979 a 1983, em que o desvio variou de: - 255 em 1979, - 581 em 1980, - 445 em 1981, - 630 em 1982 e - 926 em 1983. O triênio de 1984 a 1986, caracteriza-se por um razoável decréscimo do desvio, que registrou - 919 em 1984, - 368 em 1985 e 35 em 1986. De 1996 a 2006, o desvio variou entre - 781 em 1996 e - 1202 em 2006. Nesse período, o desvio atingiu: - 1219 em 1993 e - 1029 em 1998. Em 1994, o desvio foi de - 743, enquanto em 2004, foi de - 796.

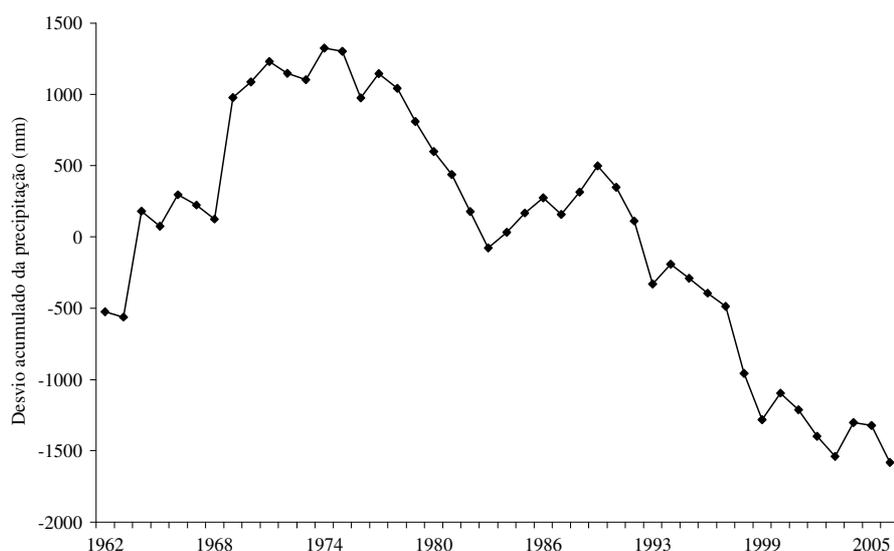


Figura 4c – Desvio acumulado da precipitação no município de Aroeiras

Em Aroeiras, o desvio acumulado é inicialmente negativo, aproximadamente – 500 em 1962, em seguida o desvio torna-se positivo, atingindo o valor de 125 em 1968, deste ano em diante, o desvio acumulado intensifica-se positivamente dando início ao período mais intensamente positivo dentro da série estudada. Dessa forma o desvio acumulado em 1969 chega 975, em 1970 é 1086, em 1971 torna-se 1230, em 1972 é 1148, em 1973 é 1108 e em 1974, o desvio acumulado atinge seu valor máximo positivo que é 1324, a partir do citado ano, começa a decrescer ano após ano, tornando-se negativo, aproximadamente igual a – 76 em 1983. De 1984 em diante o desvio torna-se de novo positivo, e é igual a 33, valor mínimo do desvio presente na série de dados. Em 1985 o desvio acumulado é igual a 168, em 1986 é 275, em 1988 é 314, em 1989 é 499. De 1989 em diante começa a decrescer, assim em 1990 o desvio acumulado é 350, em 1991, 111, em 1992 é igual a 88, e em 1993 o desvio acumulado intensifica-se e torna-se negativo, - 329. Em 1994, o desvio reduz-se, e atinge o valor – 192, no entanto de

1994 até 2006, o desvio acumulado intensifica-se negativamente, ano após ano, assim em 1998 chega ao valor de - 955, e em 2006 atinge o valor máximo negativo dentro da série estudada, - 1583.

O gráfico da Figura 4c mostrou que, o desvio acumulado no período de 1979 a 1983 é negativo apenas em 1983, enquanto os anos de 1993 e 1998 apresentam-se bem negativos, já os períodos de 1984 a 1986, e de 1988 e 1989 o desvio acumulado é positivo, no entanto o ano de 1994 apresentou-se negativo, assim como também o de 2006. Esses resultados demonstram que a precipitação no citado local, apresentou boa concordância com os estudos relacionados à ocorrência de secas e períodos chuvosos no nordeste, nos anos de 1983, 1993, 1998 que foram secos na maioria dos municípios da região, e em 1984, 1985, 1986, 1988 e 1989, que foram chuvosos. Os anos de 1979, 1980, 1981, 1982, 1994 e 2006 não apresentaram boa concordância. É importante frisar que nesse local o desvio acumulado apresentou-se mais negativo que se esperava.



Figura 4d – Desvio acumulado da precipitação no município de Ingá

Em Ingá, o desvio acumulado da precipitação é igual a – 528 em 1910, - 723 em 1912, a partir daí o desvio acumulado decresce e atinge o valor de aproximadamente – 390 em 1913. Em seguida o desvio acumulado torna-se positivo, 314 em 1914, 76 em 1917 e 60 em 1918, valor mínimo assumido pelo desvio na série, em seguida continua a intensificar-se e em 1926, atinge o valor máximo positivo próximo a 941. O desvio acumulado permanece a oscilar em valores muito positivos até 1931, quando atinge o valor de cerca de 876. A partir dessa data, ano após ano, o desvio acumulado começa a decrescer atingindo o valor de 146 em 1941. Daí em diante o desvio acumulado torna-se negativo, e intensifica-se negativamente, atingindo os valores aproximados de: - 322 em 1943, em – 552 em 1944, - 897 em 1946. O desvio acumulado continua a crescer, atingindo seu ápice, valor máximo negativo próximo a – 3182 em 1960. De 1960 em diante o desvio acumulado começa a desintensificar-se: - 2896 em 1961, - 2326 em 1964, - 1929 em 1970, - 1399 em 1974, - 1149 em 1978, - 1266 em 1979, - 1356 em 1980, - 1206 em 1981, 1205 em 1982, -1414 em 1983. Já o triênio de 1984 a 1986, também é negativo, -1275 em 1984, - 836 em 1985, - 546 em 1986. Os anos de 1988, 1989 e 1994, também apresentam-se negativos, ou seja: - 1002 em 1988, - 1419 em 1989 e – 1539 em 1994. Já em 1993 e 1998, o desvio acumulado assume os valores de: - 1192 em 1993 e – 1661 em 1998.

Uma provável distorção no comportamento do desvio acumulado da precipitação, nas localidades da microrregião do agreste paraibano, é a presença de tão alta variabilidade temporal da precipitação, além da ocorrência de valores tão negativos do desvio acumulado. Em todos os locais analisados dessa microrregião, podem ser observadas variações do desvio acumulado, similares a das localidades do setor semi-árido do estado. Mesmo considerando-se que o Agreste paraibano, é considerado uma zona de transição entre o clima úmido do Litoral e o clima seco do Cariri, não era de se

esperar que as amplitudes do desvio acumulado em todos os municípios dessa microrregião, fossem tão significativas. Levando-se em consideração a influência de eventos como El Niño, e outros, que causam estiagens no setor semi-árido do Estado da Paraíba, era de se esperar que o desvio acumulado da precipitação no agreste se apresentasse menos negativo, e menos variável, já que eventos intensos de seca e chuva são menos comuns nessa microrregião que no Alto-sertão, Sertão e Cariri da Paraíba. Com base nos resultados obtidos, em municípios como Itabaiana, o desvio acumulado apresenta uma amplitude elevada, com um valor máximo positivo de 334 e um máximo negativo de - 6090. Em Sapé, o desvio acumulado oscilou também de forma muito intensa, um valor máximo positivo de 256 e um máximo negativo de - 5544.

- **Brejo**

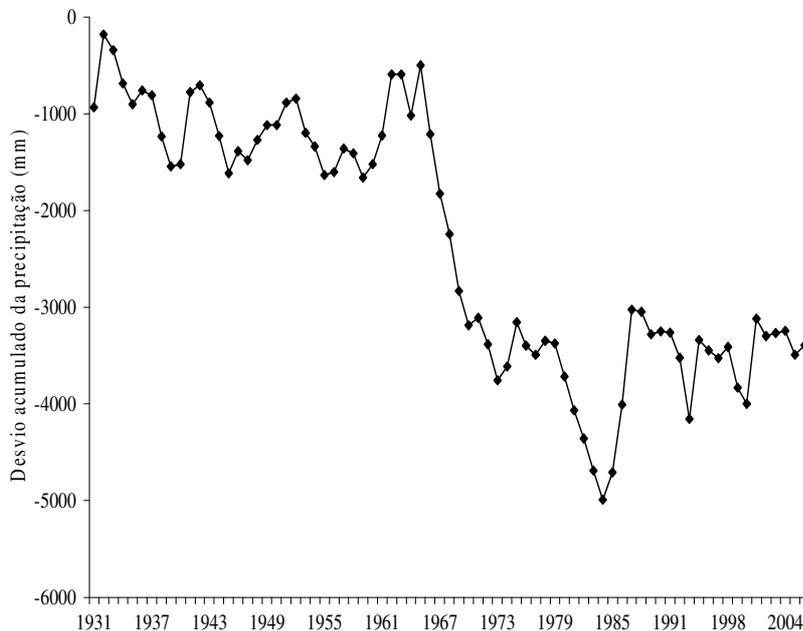


Figura 5a – Desvio acumulado da precipitação no município de Bananeiras

De acordo com a Figura 5a, em Bananeiras o desvio acumulado da precipitação é negativo em todos os anos da série observada.

Inicialmente o desvio é igual a - 932 em 1931, depois decresce, - 180 em 1932, mínimo valor assumido ao longo da série, em seguida volta a intensificar-se, - 900 em 1935, - 1238 em 1938, - 1522 em 1940, em seguida o desvio acumulado volta a decrescer, - 775 em 1941, - 705 em 1942, - 883 em 1943, em seguida o desvio novamente se intensifica, - 1229 em 1944 e - 1614 em 1945. A partir deste ano o desvio acumulado efetua outra oscilação, tornando-se menos negativo no período de 1946 a 1952, assumindo neste último ano o valor de - 843. De 1952 a 1955, o desvio se intensifica negativamente, - 1198 em 1953, - 1337 em 1954, - 1634 em 1955. Entre 1955 e 1959, o desvio acumulado sofre pouca oscilação, sendo igual a - 1361 em 1957, -1408 em 1958 e - 1662 em 1959. De 1959 a 1967, o desvio acumulado, desintensifica-se em 1960, 1961, 1962 e 1963, atingindo neste último ano o valor de - 594. Em 1964 o desvio acumulado é de - 1017, em 1965, atinge o valor de - 498. De 1965 a 1973, o desvio acumulado intensifica-se ano após, sendo de - 1213 em 1966, - 1826 em 1967, - 2245 em 1968, - 2834 em 1969, - 3187 em 1970, - 3109 em 1971, - 3383 em 1972, - 3756 em 1973, em seguida o desvio acumulado diminui suavemente atingindo - 3154 em 1975, - 3491 em 1977 e - 3345 em 1978. De 1978 a 1984, o desvio acumulado volta a intensificar-se, sendo - 3374 em 1979, - 3715 em 1980, - 4066 em 1981, - 4359 em 1982, - 4691 em 1983 e - 4990 em 1984, valor máximo do desvio acumulado na referida série. A partir de 1984, o que inclui os três anos posteriores, o desvio acumulado decresce, sendo - 4709 em 1985, - 4009 em 1986 e - 3024 em 1987. Vale frisar que em Bananeiras, mesmo em anos de La Niña como 1984, 1985 e 1986, o desvio acumulado da precipitação permaneceu negativo, assim como também nos anos de 1988, 1989, 1994 e 2006. Já em 1993, onde o desvio acumulado foi de - 3523 e

1998, onde foi de -3410, os desvios negativos mostraram boa concordância com os eventos de El Niño vigentes naqueles anos.

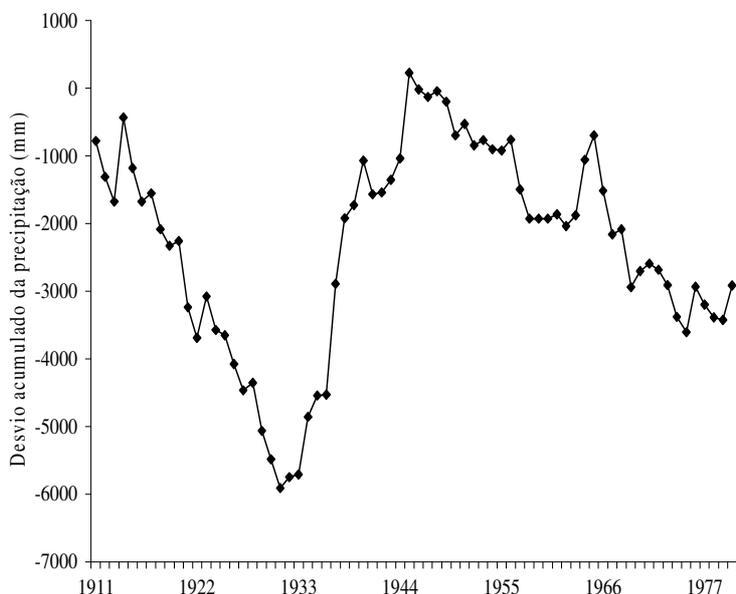


Figura 5b – Desvio acumulado da precipitação no município de Guarabira

Em Guarabira, o desvio acumulado da precipitação varia de positivo a negativo, sendo negativo na maioria dos anos da série. Inicialmente o desvio acumulado vale aproximadamente - 783 em 1911, em seguida intensifica-se um pouco, - 1308 em 1912 e - 1675 em 1913. Em 1914 o desvio acumulado decresce, - 430. A partir daí ano após ano o desvio intensifica-se negativamente, ou seja, - 1177 em 1915, - 1555 em 1917, - 2319 em 1919, - 3235 em 1921, - 3077 em 1923, - 3652 em 1925, - 4466 em 1927, - 5062 em 1929 e - 5907 em 1931, sendo este último o máximo valor negativo do desvio acumulado na série. Após o pico do desvio negativo ocorrido no citado ano, o desvio acumulado volta a decrescer, ano após ano, assim em 1933 é igual a - 5711, em 1935 é

- 4544, em 1937 é - 2893, em 1939 é - 1728, em 1941 é - 1566, em 1943 é - 1352, e em 1945 o desvio acumulado é 224, máximo valor positivo do desvio acumulado presente na série. De 1945 em diante, o desvio acumulado tende novamente a intensificar-se negativamente, assim em 1947 é igual a - 129, em 1949 é - 198, em 1951 é - 532, em 1953 é - 768, em 1955 é - 920, em 1957 é - 1498, em 1959 é - 1930, em 1961 é - 1866, em 1963 é - 1879. No período de 1963 a 1967, o desvio acumulado decresce novamente, assim em 1964, o desvio acumulado é igual a: - 1058, em 1965 é - 696, em 1966 é - 1514 e em 1967 é - 2163. A partir deste último ano citado, o desvio acumulado oscila entre valores mais ou menos negativos, dessa forma em 1969 o desvio é igual a: - 2943, em 1971 é - 2595, em 1973 é - 2907, em 1975 é - 3608, em 1977 é - 3199 e em 1980 é igual a - 2918, sendo o desvio neste último ano muito negativo, onde o fenômeno El Niño provocou chuvas abaixo da média normal climatológica em muitos locais do nordeste brasileiro. Vale ainda afirmar que o Brejo paraibano tem, de acordo com o gráfico apresentado para esta microrregião, sofrido com períodos consecutivos de chuvas abaixo da média, as causas para tal fato, podem estar além da atuação dos sistemas precipitantes, e podem quem sabe estar relacionadas à ação antropogênica, mudanças na cobertura vegetal, poluição, e outros fatores que podem ter relação direta com a variabilidade das chuvas no local.

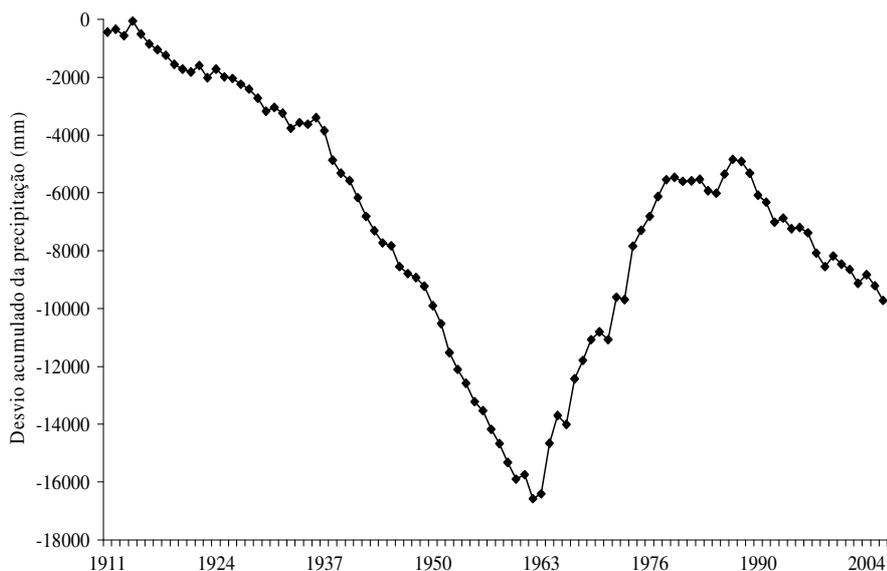


Figura 5c – Desvio acumulado da precipitação no município de Alagoa Nova

De acordo com a Figura 5c, o desvio acumulado em Alagoa Nova apresenta-se totalmente negativo entre 1911 e 2006. Oscilando próximo de zero, o que indica chuvas próximas da média normal entre 1911 e 1914, sendo este último ano citado, o de menor desvio da precipitação ao longo da série estudada. Depois de 1914, o desvio acumulado intensifica-se negativamente, ano após ano, até 1962, ano em que o desvio acumulado atinge o seu máximo valor. De 1962 até 1986, o desvio acumulado decresce, tornando-se ano após ano menos negativo. No período posterior, compreendido entre os anos de 1986 e 2006, o desvio acumulado volta a intensificar-se negativamente.

Em 1911 o desvio acumulado é aproximadamente igual a - 435, em 1912 é - 340, em 1913 é - 558, em 1914 é - 61. Já nos anos seguintes o desvio acumulado vale: - 509 em 1915, - 1049 em 1917, - 1554 em 1919, - 1821 em 1921, - 2014 em 1923, - 1996 em 1925, - 2244 em 1927, - 2722 em 1929, - 3041 em 1931, - 3766 em 1933, -

3626 em 1935, - 3847 em 1937, - 5318 em 1939, até chegar em 1962, onde o desvio acumulado da precipitação vale - 16575.

De 1962 em diante o desvio acumulado da precipitação é igual a: - 14656 em 1964, - 14008 em 1966, - 11798 em 1968, - 10810 em 1970, - 9604 em 1972, - 7849 em 1974, - 6808 em 1976 e - 5549 em 1978. No período de 1979 a 1983, em que as condições do tempo foram influenciadas por eventos de El Niño de intensidade forte, o desvio acumulado apresentou-se igual a: - 5453 em 1979, - 5593 em 1980, - 5581 em 1981, - 5532 em 1982 e - 5922 em 1983. Já no triênio 1984, 1985 e 1986 e em 1988 e 1989, houve um ligeiro decréscimo do desvio acumulado, no entanto mesmo considerando a ocorrência do fenômeno La Niña nesses anos, o desvio acumulado também apresentou-se negativo, assim como também em 1994 e 2006. Nos anos de 1993 e 1998, o desvio acumulado apresentou-se igual a: - 7012 e - 8076 respectivamente.



Figura 5d – Desvio acumulado da precipitação no município de Mulungú

Conforme a Figura 5d, em Mulungú o desvio acumulado da precipitação oscilou entre valores positivos e negativos, sendo predominantemente negativo. Os valores do desvio acumulado inicialmente apresentam-se positivos, aproximadamente 132 em 1926 e 54 em 1927, menor valor do desvio presente na série. Daí em diante o desvio acumulado torna-se negativo até o final da série estudada. Assim em 1929 o desvio acumulado é igual a - 92, em 1931 é - 171, em 1933 é - 441, em 1935 é - 396, em 1937 é - 756, em 1939 é - 1400, em 1941 é - 977, em 1943 é - 1167, em 1945 é - 1250, o desvio acumulado torna-se ainda mais negativo entre 1945 e 1958, quando atinge nesse último ano citado, o máximo valor negativo ao longo de toda a série, - 5332. De 1958 a 1971, o desvio acumulado decresce, tornando-se menos negativo, assim em 1960 ele é igual a - 5059, em 1962 é - 4998, em 1964 é - 4335, em 1966 é - 3297, em 1968 é - 2592, em 1970 é - 1553, em 1972 é - 1109, em 1974 é - 1411, em 1976 é - 1876 e em 1978 é igual a - 2058. De 1979 a 1983, período de El Niño, o desvio acumulado manteve-se negativo, ou seja, - 1816 em 1979, - 1685 em 1980, - 1633 em 1981, - 1722 em 1982 e - 2130 em 1983. No período de 1984 a 1986 e em 1988 e 1999, mesmo com a ocorrência do fenômeno La Niña nesses anos, o desvio acumulado na referida localidade permaneceu negativo.

As incoerências observadas no comportamento do desvio acumulado da precipitação nas localidades do Agreste, estão presentes e de forma ainda mais intensa nas localidades que compõem o Brejo paraibano, já que esta é, após o Litoral, a microrregião mais chuvosa e de chuvas mais bem distribuídas do Estado da Paraíba. Cabe lembrar que tais distorções no desvio acumulado da precipitação, devem-se a dois possíveis motivos:

A ocorrência freqüente de chuvas abaixo da média normal climatológica na referida microrregião, assim como também no Agreste, já mencionado, e principalmente

no Litoral. Devem-se a precipitação deficiente produzida pela ITCZ – Zona de Convergência Intertropical, em anos de ocorrência de eventos como El Niño, TSMs desfavoráveis no Atlântico Sul , bloqueios devido atuação da Alta do Atlântico Sul, e outros fatores a serem adiante mais bem detalhados. Esses fenômenos atuam de forma decisiva, provocando flutuações da precipitação abaixo da normal no setor norte do Nordeste do Brasil. Apesar dos efeitos, secas ou chuvas abaixo da normal, serem mais sentidos nas microrregiões do Alto-sertão, Sertão e Cariri paraibanos, no Agreste, Brejo e Litoral, ocorrem também déficits no total anual de chuvas, motivados pela atuação irregular da ITCZ, que produz chuvas nas referidas microrregiões nos meses de março e principalmente abril. Não apenas chuvas abaixo da normal, mas secas no setor leste da Paraíba podem ocorrer, apesar de serem raras, dessa forma, a existência de anos secos isolados nas séries de precipitação dos municípios do Agreste e principalmente Brejo e Litoral, conforme foi constatado nesta pesquisa, tiveram efeito direto na magnitude dos desvios de anos posteriores, já que os desvios analisados neste trabalho são acumulados. Assim, as variações tão negativas dos desvios acumulados em anos consecutivos, podem ser consequência de uma limitação da ferramenta estatística utilizada, principalmente nas referidas microrregiões, onde as chuvas são geralmente bem distribuídas e os índices pluviométricos elevados.

Com base nos resultados obtidos do desvio acumulado da precipitação, para os demais municípios do Brejo paraibano, pode-se afirmar que no município de Araçagi, o desvio apresentou-se predominantemente negativo, oscilando entre muito negativo, - 4750 em 2003 e ligeiramente positivo, 193 em 1967. Em Alagoa Grande, observou-se comportamento similar, com o desvio acumulado apresentado-se totalmente negativo, oscilando entre muito negativo, - 4496 em 1963, e ligeiramente negativo, - 86 em 1911. Já Areia, foi à localidade do Brejo que apresentou menor variabilidade do desvio

acumulado, o qual oscilou entre ligeiramente positivo, 143 em 1987, e muito negativo, -2992 em 1962.

- **Litoral**



Figura 6a – Desvio acumulado da precipitação no município de Mataraca

Em Mataraca, o desvio acumulado da precipitação varia de positivo a negativo, sendo negativo na maioria dos anos da série estudada. Dentre os anos em que o desvio acumulado apresenta-se positivo tem-se: 1970, 1971, 1972, 1975 e 1979. Dentre os que o desvio acumulado é negativo tem-se: 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968 e 1969, além de 1973 e 1974, 1976, 1977 e 1978 e todo o período de 1980 a 2006.

Em 1963 o desvio acumulado é aproximadamente - 1509, em seguida intensifica-se um pouco, - 1726 em 1964, depois decresce atingindo o valor de - 581 em 1965, em 1966, 1967 e 1968, o desvio acumulado é respectivamente igual a: - 857, -

441 e - 23. Em 1969, o desvio acumulado é próximo a - 225, em 1970 é 254, valor máximo positivo atingido pelo desvio acumulado na série analisada, em 1971 é 72, em 1972 é 151, em 1973 é - 210, em 1974 é - 61, em 1975 é 150, em 1976 é - 22, sendo este o valor mínimo assumido pelo desvio acumulado na série estudada. Em 1977 o desvio acumulado é - 122, em 1978 é - 116 e em 1979 é 158. De 1980 a 1986, o desvio acumulado intensifica-se negativamente ano após ano, assim em 1980 o desvio acumulado é - 521, em 1981 é - 1078, em 1982 é - 1553 e em 1983 é - 1623. No período de 1984 a 1986, o desvio acumulado também permanece negativo, respectivamente: - 2333, - 2299 e - 1977, assim como também os anos de 1988, 1989 e 1994. Em 1987 o desvio acumulado é igual a - 1542, deste ano até 1992, o desvio acumulado intensifica-se negativamente e de forma significativa, sendo igual a - 2184 em 1988, - 2848 em 1989, - 3200 em 1990, - 3743 em 1991 e - 4679 em 1992. De 1993 a 1998, o desvio acumulado continua se intensificando negativamente, dessa forma em 1993 é igual a - 4403 e em 1998 é - 5897, sendo este o valor máximo negativo assumido pelo desvio ao longo de toda a série.



Figura 6b – Desvio acumulado da precipitação no município de Mamanguape

Conforme mostra a Figura 6b, em Mamanguape, o desvio acumulado da precipitação oscila de positivo a negativo, havendo ligeira predominância dos desvios acumulados positivos sobre os negativos.

De 1911 a 1935, o desvio acumulado apresentou-se positivo em: 1915, 1923, 1924, 1925, 1926, 1927, 1928, 1929, 1930, 1931, 1932, 1933, 1934 e 1935, valor máximo positivo assumido pelo desvio ao longo da série estudada. Nesse referido período, o desvio acumulado da precipitação apresentou-se negativo em 1911, 1912, 1913, 1914, 1916, 1917, 1918, 1919, 1920, 1921 e 1922. De 1935 a 1956, o desvio acumulado desintensifica-se, tornando-se menos positivo. De 1956 a 1979, o desvio acumulado continua a diminuir, depois aproxima-se de zero, e em seguida torna-se negativo. Assim dentro do citado período o desvio acumulado é positivo em: 1956,

1957, 1958, 1959, 1960, 1961 e 1962. E também nos anos de 1965, 1966, 1967, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1975 e 1976. No referido período, o desvio acumulado é negativo em: 1963, 1964, 1977, 1978 e 1979, sendo registrado em 1977, o valor mínimo do desvio acumulado da precipitação. De 1979 a 2001 o desvio acumulado apresentou-se totalmente negativo, sendo observado em 2001, o valor máximo negativo ocorrido dentro da série.

Em Mamanguape o desvio acumulado é igual a - 1274 em 1911, - 1416 em 1913, 498 em 1915, - 228 em 1917, - 1202 em 1919, - 1127 em 1921, 1521 em 1923, 1926 em 1925, 2816 em 1927, 5546 em 1929, 7540 em 1931, 7749 em 1933, 8340 em 1935, 7911 em 1937 e 6745 em 1939. Em 1941 o desvio acumulado é igual a 7132, em 1943 é 6396 e em 1945 é 5875. De 1945 a 1967, o desvio acumulado varia de positivo a negativo, sendo igual a 5586 em 1947, 5634 em 1949, 5232 em 1951, 4421 em 1953, 3311 em 1955, reduzindo-se ano após ano, tornando-se negativo, - 959 em 1963, e em seguida variando positivamente, atingindo o valor de 1502 em 1967. De 1967 a 1989, o desvio acumulado continua oscilando de positivo a negativo, sendo igual a 754 em 1969, 1002 em 1971, 1270 em 1973, 1546 em 1975. Entre 1975 e 1983, o desvio acumulado sofre grande variação negativa, sendo 745 em 1976, - 1309 em 1978, - 3459 em 1980, - 5474 em 1982 e - 6686 em 1983. No restante do período analisado, ou seja, de 1983 a 1989, o desvio acumulado sofre ligeira desintensificação, tornando-se menos negativo no triênio, 1984, 1985 e 1986. Nos três anos mencionados, o desvio acumulado é respectivamente igual a: - 6407, - 5362 e - 4889. De 1986 a 1989, o desvio acumulado é igual a - 5055 em 1987, - 5884 em 1988, - 7059 em 1989. De 1990 até 2001, o desvio acumulado intensifica-se negativamente, sendo igual a - 7656 em 1993, - 8279 em 1994 e - 9818 em 1998.

Cabe ressaltar que nesta local, o desvio acumulado manteve-se negativo, tanto nos anos de 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1993 e 1998, quanto em 1984, 1985, 1986, 1988, 1989 e 1994.

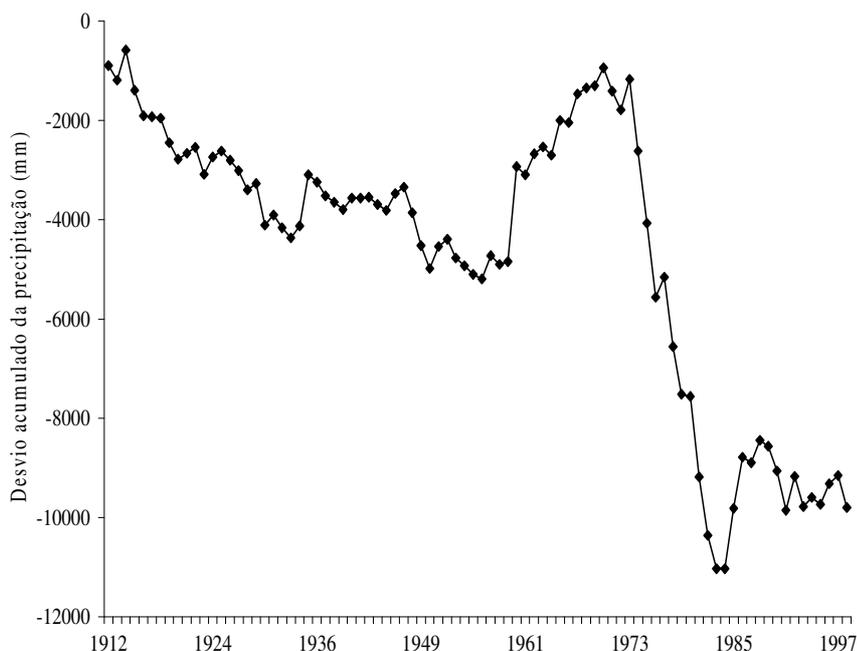


Figura 6c – Desvio acumulado da precipitação no município de João Pessoa

Em João Pessoa, o desvio acumulado apresentou-se totalmente negativo no período de 1912 a 1998.

De 1912 a 1936 o desvio acumulado intensifica-se, sendo igual a - 892 em 1912, - 575 em 1914, sendo este o valor mínimo assumido pelo desvio ao longo da série estudada, em seguida o desvio acumulado é igual a - 1908 em 1916, - 1949 em 1918, - 2780 em 1920, - 2539 em 1922, - 2735 em 1924, - 2803 em 1926, - 3396 em 1928, - 4106 em 1930, - 4166 em 1932, - 4124 em 1934 e - 3244 em 1936. De 1936 a 1961, o

desvio acumulado oscila entre valores mais ou menos negativos, variando pouco dentro deste período considerado, assim em 1937, o desvio acumulado é igual a - 3520, em 1939 é - 3797, em 1941 é - 3562, em 1943 é - 3695, em 1945 é - 3811, em 1947 é - 3346, em 1949 é - 4526, em 1951 é - 4543, em 1953 é - 4768, em 1955 é - 5105, em 1957 é - 4727, em 1959 é - 4844 e em 1961 é igual a - 3095. De 1961 a 1985, o desvio acumulado da precipitação sofre grande variação, e intensifica-se negativamente principalmente no período de 1973 a 1984. Dessa forma em 1962 o desvio acumulado é igual a - 2667, em 1964 é - 2694, em 1966 é - 2042, em 1968 é - 1348, em 1970 é - 940, em 1972 é - 1783, em 1974 é - 2611, em 1976 é - 5563, em 1978 é - 6566, em 1980 é - 7558, em 1982 é - 10559, em 1984 é - 11031, máximo valor negativo assumido pelo desvio acumulado, e em 1985 o desvio acumulado da precipitação é igual a - 9820. De 1985 a 1998, o desvio acumulado de uma forma geral varia pouco, sendo - 8784 em 1986, - 8441 em 1988, - 9058 em 1990, - 9176 em 1992, - 9559 em 1994, - 9318 em 1996 é - 9800 em 1998.



Figura 6d – Desvio acumulado da precipitação na município de Alhandra

Em Alhandra, o desvio acumulado da precipitação apresentou-se totalmente negativo ao longo da série analisada. Nessa localidade observou-se a ocorrência de duas grandes variações do desvio acumulado, uma de intensificação dos desvios, observada no período de 1936 a 1970. E outra de redução dos desvios, de 1983 a 1991. O valor mínimo assumido pelo desvio acumulado é de - 127 em 1936, já o valor máximo é de - 13055 em 1973.

De 1936 a 1970, o desvio acumulado é igual a - 127 em 1936, em seguida intensifica-se ano após ano até atingir o valor de - 13055 em 1939, em 1940, 1941 e em 1942 o desvio acumulado reduz-se e assume o valor de - 1692, em seguida o desvio intensifica-se, - 2788 em 1945, - 4970 em 1948 e - 7250 em 1951. Em 1954 o desvio é igual a - 8264, em 1957 o desvio acumulado é - 7523, em 1960 é - 9192, em 1963 o desvio acumulado é - 10648, em 1966 é - 9282, e em 1970 o desvio acumulado atinge

o valor de - 12261. De 1970 a 1983, o desvio acumulado em Alhandra oscila pouco, mantendo-se muito negativo dentro do referido período, assim em 1973, o desvio acumulado é igual a - 13055, em 1976 é igual a - 12782, em 1979 é igual a -12783 e em 1982 é igual a - 12259. De 1983 a 1991 o desvio acumulado da precipitação, desintensifica-se, dessa forma, em 1983 o desvio acumulado é igual a - 12788, em 1986 é igual a - 10087, em 1989 é igual a - 6347 e em 1991, o desvio acumulado é de - 4362. No período de 1991 a 2005, o desvio acumulado apresenta pouca oscilação, assim em 1994 o desvio acumulado é igual a - 4012, em 1998 o desvio acumulado é de - 5158, em 2002 o desvio acumulado é - 4898, e em 2005 o desvio acumulado da precipitação é igual a - 4943.

Como foi mencionado anteriormente, o desvio acumulado da precipitação apresentou-se altamente variável e muito negativo para o litoral da Paraíba, assim além dos quatro locais aqui analisados, o município de Santa Rita, apresentou um desvio acumulado oscilando entre muito positivo, 2229 em 1973, e muito negativo, - 4909 em 1993, sendo a série de valores do desvio acumulado obtida predominantemente negativa.

Dessa forma, de todo o exposto apresentado acerca da variabilidade das chuvas no Estado da Paraíba, cabe ainda ressaltar que à existência de picos, valores extremos, positivos ou negativos do desvio acumulado, devem ser associados à ocorrência de eventos extremos de chuva ou seca, ou a anos consecutivos de chuvas acima ou abaixo da média normal.

De uma forma geral, pode-se afirmar que os desvios acumulados negativos de precipitação, verificados nos municípios das microrregiões da Paraíba, podem estar associados em grande escala:

- Aos déficits da precipitação produzida pela ZCIT - Zona de Convergência Intertropical, em anos de El Niño, principalmente quando sua intensidade é forte ou moderada;
- As condições atmosféricas não favoráveis à formação de vórtices ciclônicos úmidos sobre o nordeste brasileiro, principalmente no mês de Janeiro, quando sua atuação é mais freqüente na referida região;
- As condições atmosféricas favoráveis à formação de bloqueios produzidos pela Alta do Atlântico Sul, que pode impedir e encurtar o período chuvoso normal no norte do nordeste, intensificando as anomalias negativas de chuva também na Paraíba;
- A oscilação Madden-Julian, que inibe a convecção sobre a referida área, produzindo chuvas abaixo da média normal, durante o período chuvoso;
- A ação antropogenica, estudos recentes mostraram que a poluição atmosférica decorrente de emissões antropogenicas de gases do efeito estufa, CO₂ – Dióxido de Carbono e CH₄ – Metano, está possivelmente relacionada à freqüência de aquecimento anômalo dos oceanos, dessa forma, eventos como o El Niño, que está ligado aos desvios negativos de precipitação pluvial no nordeste brasileiro, tem-se tornado mais freqüentes. Assim os eventos extremos de seca no semi-árido nordestino, tendem a se tornar mais comuns, e esta não é apenas uma tendência futura, é resultado de uma mutação do clima que vem se processando desde a Revolução Industrial iniciada em meados do século XIX.

- Também devido à ação do homem, em que as queimadas em áreas de cobertura vegetal densa, lançam na atmosfera quantidades enormes de núcleos de condensação artificiais (partículas associadas à fumaça) que não favorecem a condensação do vapor d' água, além disso, a fumaça reduz a evapotranspiração e a conseqüente formação de nuvens. Outro aspecto a ser mencionado é que o desflorestamento ou queimadas, em grandes áreas para fins agropecuários aumentam o albedo da superfície, diminuindo a quantidade de energia disponível para a evaporação e convecção, os quais são processos físicos diretamente relacionados à precipitação.

Assim é provável, mas não comprovado, que a precipitação pluviométrica no Estado da Paraíba, considerando-se a grande escala, esteja sendo afetada pela ação humana.

Em pequena escala, os desvios acumulados negativos de precipitação verificados nos municípios das microrregiões da Paraíba, podem estar associados principalmente a atuação do sistema meteorológico precipitante, se determinada localidade estiver situada numa região onde a convecção é menos intensa, então chove menos, o contrário se verifica quando a convecção é mais forte. Este raciocínio é aplicável principalmente para a região semi-árida da Paraíba, onde as chuvas são geralmente produzidas por Cúmulo-nimbos.

Pelo exposto anterior, a precipitação pluvial em pontos isolados, assim como é objeto de estudo desse trabalho, tem duas componentes, já mencionadas, uma de larga e outra de pequena escala, e que interagem determinando do perfil da precipitação em determinada área. No entanto, o homem como agente transformador do meio ambiente, pode ter influencia direta nas anomalias negativas de precipitação da região de estudo, o Estado da Paraíba.

Quanto às anomalias positivas da precipitação das microrregiões da Paraíba, em pequena escala, podem estar associadas à ação antropogênica, através do crescimento urbano, principalmente em cidades litorâneas, onde se erguem edifícios, pontes e viadutos que alteram o curso normal dos ventos, ou pela criação de ruas e avenidas de concreto e asfalto, e até mesmo pelo desvio do curso de rios. Assim onde antes havia uma floresta, agora existe uma cidade, e decorrente desta, um aquecimento mais intenso, que acabam por criar os chamados microclimas urbanos.

Em grande escala, às anomalias positivas da precipitação das microrregiões da Paraíba, podem estar associadas a eventos extremos de chuva, produzidas por Vórtices Ciclônicos de Ar Superior, Ondas de Leste e pela ZCIT – Zona de Convergência Intertropical, sendo esta muito influenciada pelas anomalias de aquecimento e resfriamento dos oceanos Atlântico e Pacífico. Quando os desvios da precipitação no norte do nordeste brasileiro forem positivos, espera-se que sobre o Pacífico equatorial predominem águas frias, La Niña, e sobre o Atlântico sul tropical predominem águas quentes. Nos casos de desvios positivos muito intensos, podem estar associados à formação do chamado dipolo do Atlântico, ou seja, águas do norte resfriadas e águas do sul aquecidas.

Concluída a análise do desvio acumulado da precipitação pluviométrica para a área de estudo, efetuou-se a análise de tendência das séries pluviométricas, apresentando-se os resultados obtidos nas Tabelas de 7 a 12, onde os municípios são agrupados por microrregião climática. Dessa forma, as citadas tabelas mostram os valores de tendências de chuva, as médias pluviométricas, o desvio-padrão, os níveis de significância indicando a confiabilidade dos prognósticos, e os prognósticos aproximados de chuva para os anos de 2050 e 2100.

Tabela 7 – Tendência, precipitação média, desvio – padrão, níveis de significância e prognóstico de chuvas para os municípios da Microrregião do Alto-Sertão da Paraíba.

Município	Tendência	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Significância (%)	Prognóstico (2050) (mm)	Prognostico (2100) (mm)
A. Navarro	-1,21	950,55	346,44	24,60	897,22	836,61
Cajazeiras	1,88	892,57	319,25	19,36	975,16	1069,02
S. J. Piranhas	2,88	964,22	342,75	25,84	1171,29	1317,11
B. de Santa Fé	2,92	810,78	369,89	20,40	941,10	1089,19
Conceição	-3,82	854,81	433,60	21,12	686,71	495,70
Sousa	2,77	736,30	313,04	4,04	880,41	1018,97
São Gonçalo	2,83	870,74	296,10	8,72	1018,10	1159,80
Itaporanga	2,58	867,79	353,15	2,08	1004,46	1133,39
Aguiar	2,35	865,13	346,75	22,24	968,58	1086,13
Coremas	1,28	866,86	326,49	55,52	932,07	996,01
Piancó	2,63	865,45	408,42	55,22	1023,14	1154,50
Manaíra	2,00	645,49	246,95	31,74	741,70	841,93

Tabela 8 - Tendência, precipitação média, desvio – padrão, níveis de significância e prognóstico de chuvas para os municípios da Microrregião do Sertão da Paraíba.

Município	Tendência	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Significância (%)	Prognóstico (2050) (mm)	Prognóstico (2100) (mm)
Uiraúna	0,26	735,41	246,20	66,00	735,26	748,04
Catolé do Rocha	-1,31	828,88	346,63	66,72	765,79	700,07
B. do Brejo do Cruz	-0,28	723,91	285,08	86,50	710,05	695,91
Pombal	2,94	717,21	289,16	0,90	855,62	1002,86
Malta	-0,40	707,12	275,97	63,12	689,51	669,49
Catingueira	-0,10	935,20	502,64	82,58	930,96	926,15
Água Branca	2,84	675,86	277,30	8,36	803,54	945,40
Patos	-1,91	709,58	330,78	44,72	602,77	507,41
Teixeira	3,32	691,65	335,42	2,04	847,47	1013,24
São Mamede	-1,62	675,44	230,06	44,72	604,36	523,58
Santa Lúzia	0,91	534,42	256,13	36,28	574,24	619,49

Tabela 9 - Tendência, precipitação média, desvio – padrão, níveis de significância e prognóstico de chuvas para os municípios da Microrregião do Cariri da Paraíba.

Município	Tendência	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Significância (%)	Prognóstico (2050) (mm)	Prognóstico (2100) (mm)
Taperoá	1,31	493,16	233,70	13,62	550,63	615,94
Olivedos	-0,81	444,57	224,35	38,44	408,09	367,56
Pedra Lavrada	2,62	362,51	206,71	1,68	477,76	608,72
Picuí	0,51	347,26	193,30	52,86	369,77	395,34
Monteiro	-1,75	560,31	273,34	21,12	476,40	388,98
S.S. Umbuzeiro	-2,72	531,96	205,21	33,20	406,24	266,55
Sumé	1,36	537,32	247,65	44,12	614,63	682,44
Caraúbas	1,06	367,97	199,02	31,24	419,02	472,19
S. João do Cariri	0,03	394,48	223,42	84,94	396,00	397,66
Soledade	0,44	383,89	191,11	33,20	403,34	424,43
Cabaceiras	2,47	341,33	189,94	1,82	464,67	588,00
Boqueirão	0,27	447,59	200,95	93,62	459,49	473,01

Tabela 10 - Tendência, precipitação média, desvio – padrão, níveis de significância e prognóstico de chuvas para os municípios da Microrregião do Agreste da Paraíba.

Município	Tendência	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Significância (%)	Prognóstico (2050) (mm)	Prognóstico (2100) (mm)
Araruna	0,35	840,39	309,80	65,28	855,65	872,98
Campina Grande	0,22	755,54	225,46	68,92	768,98	780,17
Ingá	0,49	652,27	236,48	27,14	676,29	700,80
Itabaiana	-1,82	711,57	242,52	12,36	631,53	540,57
Sapé	1,95	1008,28	308,17	38,44	1093,99	1191,39
Umbuzeiro	2,56	709,97	298,65	13,88	830,40	958,52
Aroeiras	-2,09	602,06	234,15	58,92	510,22	405,85

Tabela 11 - Tendência, precipitação média, desvio – padrão, níveis de significância e prognóstico de chuvas para os municípios da Microrregião do Brejo da Paraíba.

Município	Tendência	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Significância (%)	Prognóstico (2050) (mm)	Prognóstico (2100) (mm)
Alagoa Nova	2,64	1216,92	552,46	62,42	1338,31	1470,26
Alagoa Grande	0,95	917,24	329,56	81,80	961,82	1009,25
Areia	0,80	1347,39	381,08	98,40	1382,38	1422,15
Mulungú	2,43	815,42	325,41	28,92	922,51	1044,20
Guarabira	1,97	1145,78	513,25	21,86	1278,57	1376,96
Araçagi	1,89	893,84	435,30	81,04	977,17	1071,87
Bananeiras	1,30	1142,67	377,91	58,24	1199,89	1225,89

Tabela 12 - Tendência, precipitação média, desvio – padrão, níveis de significância e prognóstico de chuvas para os municípios da Microrregião do Litoral da Paraíba.

Município	Tendência	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Significância (%)	Prognóstico (2050) (mm)	Prognóstico (2100) (mm)
João pessoa	-0,50	1654,24	601,16	50,28	1628,22	1603,20
Mataraca	-1,49	1618,00	515,80	81,04	1540,39	1465,77
Alhandra	3,43	1636,60	551,05	47,16	1791,04	1962,63
Santa Rita	-1,51	1400,41	481,43	29,38	1257,38	1131,91
Mamanguape	-2,21	1431,97	593,44	68,18	1325,83	1215,27

Pelo exposto das Tabelas de 7 a 12, a única microrregião do Estado da Paraíba que apresentou tendência crescente de chuva em todos os municípios analisados, foi a do brejo. Já a microrregião do sertão, foi a que apresentou maior número de municípios com tendência decrescente de precipitação, 7 no total.

Os desvios- padrões mais elevados foram registrados na microrregião do litoral, e os menores no cariri. Os níveis de significância oscilaram bastante em todas as microrregiões, no entanto os melhores valores obtidos foram: 1,82% para Cabaceiras e 1,68% para Pedra Lavrada no Cariri, 2,04% para Teixeira e 0,90% para Pombal no Sertão, 2,08% para Itaporanga e 4,04% para Sousa no alto-sertão do estado.

Quanto aos prognósticos da precipitação, apesar da microrregião do brejo ter apresentado tendência crescente para todos os municípios, foi à microrregião do litoral que apresentou os prognósticos mais elevados, sendo representada por Alhandra, cuja estimativa de chuvas é de 1791,04 mm para 2050 e 1962,63 mm para 2100. Picuí com 369,77 mm para 2050, e São Sebastião do Umbuzeiro com 266,55 mm para 2100, no cariri, foram às localidades onde se registraram os menores prognósticos de chuva no referido estudo

A partir das tabelas apresentadas anteriormente, foram produzidos mapas, que mostram de forma espacializada, a distribuição dos resultados obtidos sobre o Estado da Paraíba.

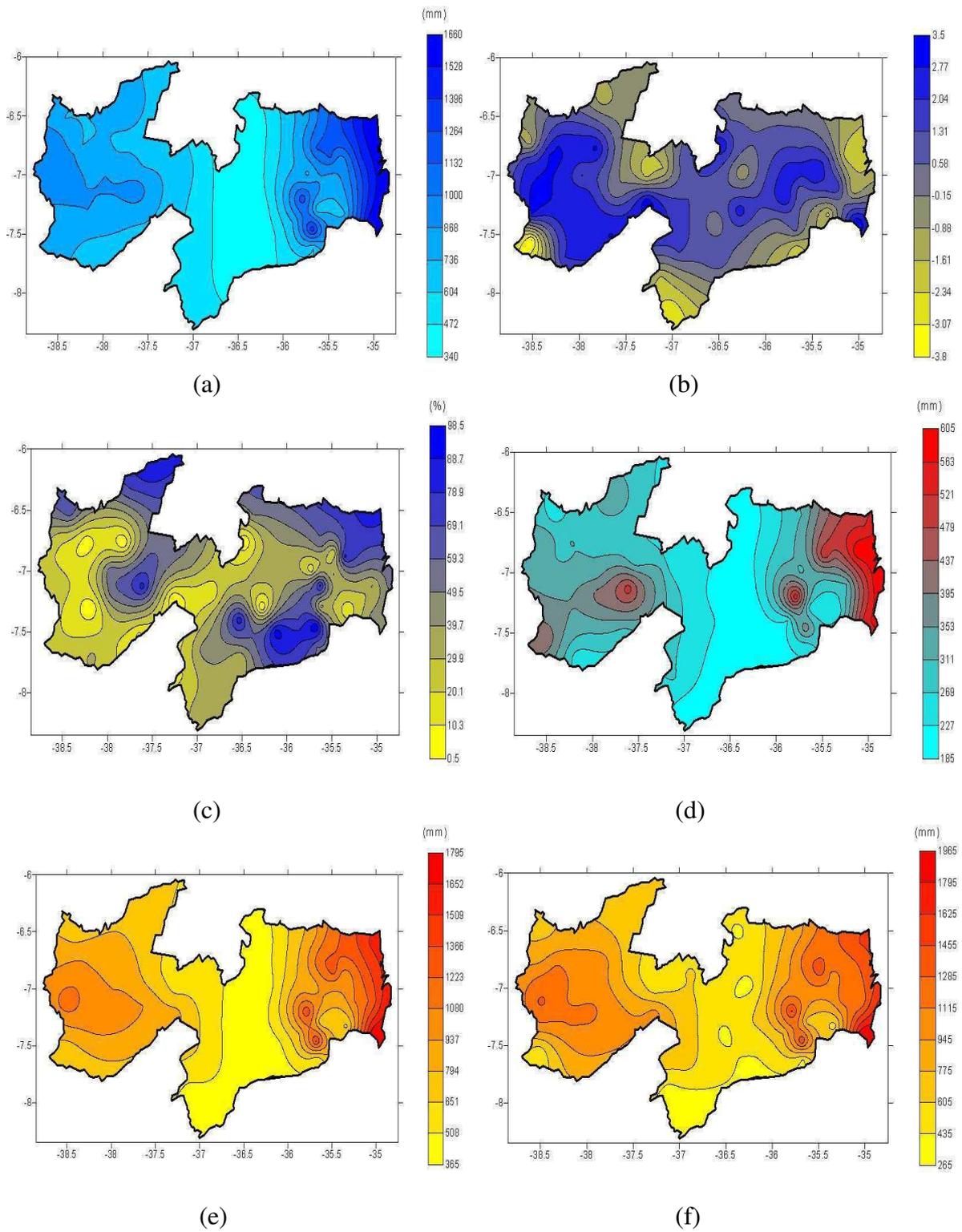


Figura 7 – Precipitação média (a), tendência (b), nível de significância (c), desvio-padrão (d), prognóstico para (2050) (e) e prognóstico para (2100) (f) para os municípios das microrregiões climatológicas do Estado da Paraíba.

Na Figura 7a, a precipitação média no Estado da Paraíba apresentou-se altamente variável, com valores mais expressivos para o setor leste do estado, que corresponde às microrregiões climatológicas do brejo e litoral. Nesses locais, a precipitação média variou de 1000 mm/ano a 1600 mm/ano. À medida que se desloca para oeste, a precipitação decresce, fato observável até a microrregião do cariri, que é a mais seca do estado.

No agreste, a precipitação média sofreu considerável redução, variando entre 736 mm/ano e 1000 mm/ano.

Já no cariri, a precipitação média oscilou aproximadamente entre 340 mm/ano e 472 mm/ano no setor leste da microrregião, e entre 472 mm/ano e 604 mm/ano no oeste.

A partir do cariri até o setor oeste do estado, a precipitação média voltou a aumentar, oscilando entre 604 mm/ano e 736 mm/ano na microrregião do sertão, e entre 736 mm/ano e 1000 mm/ano no alto-sertão.

Dessa forma, a partir da análise da Figura 7a pode-se afirmar que os elevados índices pluviométricos no setor leste, estão associados aos ventos úmidos oriundos do Oceano Atlântico, que têm influência no clima do litoral e brejo da Paraíba o ano todo. À medida que se adentra no estado, a influência do oceano na precipitação diminui, e surge um componente importante para o perfil das chuvas principalmente no agreste e cariri, o Planalto da Borborema, que favorece precipitação em maior quantidade para o agreste, e em menor para o cariri.

Quanto ao sertão e alto-sertão, as chuvas são em grande parte dependente da Zona de Convergência Intertropical, sendo sua atuação mais intensa no alto-sertão, provavelmente devido à referida microrregião se situar mais distante do mar.

Na análise da Figura 7b, observa-se que a tendência da precipitação apresentou-se negativa, variando entre -2,34 e -0,15 nas porções leste e nordeste da microrregião do litoral, assim como também no extremo sul do agreste. Variação similar foi registrada para o norte e extremo norte da microrregião do sertão. No extremo sul do cariri, assim como também no extremo sudoeste do alto-sertão, a tendência da precipitação mostrou-se ainda mais negativa, variando entre -3,8 e -0,15.

A tendência da precipitação mostrou-se positiva, oscilando entre 1,31 e 3,5 e no extremo sul do litoral, parte da porção central do agreste e brejo, parte do oeste e noroeste do cariri, extremo sul do sertão, e em quase toda a microrregião do alto sertão paraibano.

Os menores valores da tendência positiva, entre 0,58 e 1,31 foram registrados, em grande parte, sobre microrregião do cariri, além de algumas aéreas principalmente do norte e sul do agreste.

É provável que a existência de tendência positiva ou negativa da precipitação em todas as localidades do referido estado, conforme é apresentado pela Figura 7b, seja resultado não só de causas naturais, mas também antropogênicas. Nessa ótica, é preciso levar em consideração o desmatamento, principalmente da Mata Atlântica, que hoje apresenta-se com cerca de 8% de sua área original, o crescimento urbano em centros do litoral, como é o caso de João Pessoa, Santa Rita e Bayeux, Campina Grande no agreste e Patos, Sousa e Cajazeiras no sertão. É possível acreditar que a mudança da paisagem introduzida nessas microrregiões assim como também nas demais, possa ter causa efeito nos distúrbios do tempo, e conseqüentemente na precipitação que é alterada a longo prazo.

Analisando-se a Figura 7c, pode-se observar que o nível de significância, ou nível de rejeição para os prognósticos obtidos, indica melhor confiabilidade dos prognósticos para as áreas em coloração amarelada, que abrangem grande parte do alto-sertão, assim como também o oeste, sudoeste e noroeste do cariri, e, além disso, algumas áreas isoladas do agreste do estado. Nesses setores, o nível de significância variou entre 29,9% e 0,5%, que implica respectivamente numa faixa de confiabilidade entre 70,1% e 99,5%.

No nordeste da microrregião do litoral e extremo norte do cariri, no extremo sul do agreste e em grande parte do sertão do estado, o nível de significância oscilou entre 49,5% e 98,5%, que implica respectivamente numa faixa de confiabilidade entre 50,5% e 1,5%.

Nas demais áreas, o nível de significância oscilou entre 29,9% e 49,5% que implica numa faixa de confiabilidade entre 70,1% e 50,5%.

Na Figura 7d, o desvio padrão da precipitação apresenta-se mais intenso nas microrregiões do litoral e brejo, e em grande parte do agreste e alto-sertão do estado, nessas áreas o desvio padrão oscilou entre 311 mm e 605 mm. No sudeste do agreste, e em toda a porção leste do cariri, o desvio padrão oscilou entre 185 mm e 227 mm, já na faixa oeste da referida microrregião e no leste do sertão, oscilou entre 227 mm e 269 mm. No setor norte e oeste do sertão, o desvio padrão variou entre 269 mm e 311 mm.

Dessa forma, o comportamento do desvio - padrão da precipitação para as microrregiões analisadas, é bem coerente com a climatologia das chuvas para as mesmas, ou seja, o litoral e brejo apresentam desvio - padrão mais elevado porque são as localidades mais chuvosas do estado, e além disso, as séries de precipitação analisadas apresentaram alguns poucos anos em que choveu muito abaixo da média, fato que elevou o desvio - padrão da precipitação nessas áreas. No agreste, sertão e alto-

sertão, o desvio-padrão apresentou-se elevado, já que essas microrregiões são acometidas comumente por eventos extremos do tempo. Já o cariri, por ser a microrregião mais seca do estado, apresentou as menores variações do desvio padrão, pois apesar da ocorrência de eventos extremos de chuva na microrregião, nos anos chuvosos a altura da lâmina precipitada nunca é muito elevada.

De acordo com a Figura 7e, os prognósticos de precipitação mais elevados para o ano de 2050, são observados principalmente para o setor leste do estado, incluindo a microrregiões do litoral em sua totalidade, e a faixa norte e nordeste do brejo, onde os totais pluviométricos anuais devem se situar entre 1080 mm/ano e 1795 mm/ano. Na microrregião do agreste, o acumulado da precipitação deve variar entre 651 mm/ano e 794 mm/ano nos setores sudeste e leste da microrregião, e entre 794 mm/ano e 1223 mm/ano para o restante da microrregião. Para a microrregião do cariri, a previsão é de chuvas oscilando entre 365 mm/ano e 508 mm/ano exceto para o setor oeste, onde a precipitação deve oscilar entre 508 mm/ano e 651 mm/ano. Para a faixa leste do sertão, o prognóstico é chuvas mostra um acumulado anual da ordem de 508 mm/ano a 651 mm/ano, já para as demais áreas da microrregião, esperam-se totais pluviométricos entre aproximadamente 651 mm/ano e 794 mm/ano. Para o alto-sertão, a precipitação anual deve variar entre, 794 mm/ano e 1223 mm/ano em grande parte da microrregião, exceto para os extremos norte e sul, onde deve se situar entre 651 mm/ano e 794 mm/ano.

Na figura 7f, o prognóstico da precipitação pluviométrica para os municípios das microrregiões da Paraíba para o ano de 2100, apresenta-se similar ao prognóstico para 2050, ou seja, o litoral e o brejo e alto-sertão apresentam-se como as áreas mais chuvosas. No litoral o acumulado anual de chuvas deve variar entre 1465 mm/ano e 1965 mm/ano, já no brejo as chuvas devem oscilar entre 945 mm/ano e 1285 mm/ano.

Em grande parte do alto-sertão, a precipitação média anual deve situar-se entre 945 mm/ano e 1285 mm/ano, no entanto, no setores sul e norte da microrregião, as chuvas devem oscilar entre 435 mm/ano e 1115 mm/ano. No sertão, a precipitação média anual deve oscilar de 605 mm/ano no setor leste a 1115 mm/ano no setores sul e oeste da microrregião, no setor norte os totais acumulados de precipitação devem oscilar entre 435 mm/ano e 605 mm/ano. Já no cariri, a precipitação média deve ficar entre 435 mm/ano e 605 mm/ano em grande parte da microrregião, e entre 265 mm/ano e 435 mm/ano no setor sul da referida microrregião.

Dessa forma, a Figura 7 apresenta além de elementos estatísticos importantes, possíveis cenários futuros para as chuvas no Estado da Paraíba. Cabe ressaltar que tais resultados são apenas estimativas, podendo ser passíveis de erros, e que a ação antropogênica aqui enfatizada não é comprovada cientificamente, apenas aceita por grupos de cientistas que vinculam possíveis alterações no comportamento do clima, à ação do homem. Vale lembrar que o objetivo desse trabalho, não é mostrar que o homem tem interferido no comportamento da precipitação na área de estudo, mas apenas mensurar que as chuvas no Estado da Paraíba, tendem a sofrer alterações, inclusive significativas em alguns municípios, ou microrregiões, e o que motiva tais mudanças, pode ser a ação humana associada a fatores de ordem natural.

6. CONCLUSÕES

O modelo matemático de cálculo do desvio acumulado, gerou resultados distorcidos para as Microrregiões do Agreste e principalmente Brejo e Litoral do Estado da Paraíba, pois superestimou os desvios negativos da precipitação nos municípios dessas microrregiões, sendo dessa forma inadequado para analisar a variabilidade da precipitação em áreas chuvosas.

O modelo matemático de cálculo do desvio acumulado, gerou resultados coerentes para as microrregiões do Alto-sertão, sertão e Cariri, pois essas microrregiões são susceptíveis a ocorrência de eventos climáticos extremos de chuva e de seca, daí a alta variabilidade dos desvios acumulados da precipitação nesses locais.

Em algumas localidades analisadas nesta pesquisa, como é o caso de Patos, o desvio acumulado da precipitação apresentou-se totalmente positivo, isso significa que o volume precipitado acima da média nos anos chuvosos, foi superior ao déficit da precipitação em relação à média nos anos secos, no caso de localidades em que o desvio acumulado apresentou-se totalmente negativo, como foi o caso de Souza, Teixeira, Bananeiras, Alagoa Nova, João Pessoa e Alhandra, espera-se que tenha ocorrido o contrário.

Foi observada tendência crescente ou decrescente de chuvas para todas os municípios analisados do Estado da Paraíba.

A única microrregião do Estado da Paraíba, que apresentou tendência crescente de chuva em todas as localidades foi a do Brejo.

A microrregião do Litoral foi a que apresentou os prognósticos de chuva mais elevados, sendo representada por Alhandra, cuja estimativa de chuvas é de 1791,04 mm para 2050 e 1962,63 mm para 2100.

Picuí com 369,77 mm para 2050, e São Sebastião do Umbuzeiro com 266,55 mm para 2100, no Cariri, foram os municípios onde se registraram os menores prognósticos de chuva no referido estudo

Uma limitação à realização desse estudo foi à presença de dados faltosos no interior das séries de precipitação dos municípios, que prejudicou a qualidade dos resultados obtidos.

Os níveis de significância indicam prognósticos da precipitação mais confiáveis para a área que abrange principalmente a microrregião do alto-sertão da Paraíba.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, L. M.; CASTRO, C. A.C.; JÚNIOR, H. C.; SANCHES, M. B.; CALBETE, N. O.; MENDES, D. Análise Subjetiva da Previsão do SIMOC para o Nordeste do Brasil no Período de Março-Maio de 2000 – Estudo de Caso. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, XII, 2001, Fortaleza-CE. Anais: Fortaleza-CE: SBA, 2001, p. 625-626.

ASSIS, Francisco Neto de; ARRUDA, Hermano V. de; PERREIRA, Antônio R. **Aplicações de Estatística à Climatologia: Teoria e Prática**. Pelotas: Ed. Universitária/ UFPel, 1996. 161P e 31.

BACK, Álvaro José. Aplicação de Análise Estatística para Identificação de Tendências Climáticas. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726. 2001.

Boletim de Previsão Climática Para o Estado da Paraíba (Quadrimestre Fevereiro a Maio de 2005 para o semi-árido paraibano). Disponível em [http:// www.lmrs-semarh.ufcg.edu.br](http://www.lmrs-semarh.ufcg.edu.br) Acesso em 20 de Agosto de 2007.

BURN, D.H.; ELNUR, M.A.H. Detection of Hydrologic Trends and Variability. **J. of Hydrology**. v. 255. p.107–122. 2002.

CHEN, Z.; GRASBY, S.; OSADETZ, K.G. Relation Between Climate Variability and Groundwater Levels in the Upper Carbonate Aquifer, south Manitoba, Canada. **J. of Hydrology**. v. 290, 43–62. 2004.

CHU, P.S.; YU, Z.P.; HASTENRATH, S. Detecting Climate Change Concurrent With Deforestation in the Amazon Basin: Which Way Has it Gone? **Bull. Amer. Meteor. Soc.** v. 75, p. 579 – 583.1994.

DIRMEYER, P.A.; SHUKLA, J. Albedo as a Modulator of Climate Response to Tropical Deforestation. **J. Geophys. Res.**, 99, D10, p.20863- 20877. 1994.

DIAS DE PAIVA, E. M. C.; CLARKE, R. Time Trends in Rainfall Records in Amazonia. **Bull. Amer. Meteor Soc.** v.75, p.579-583. 1995

DUARTE, A. F. Variabilidade e Tendência das Chuvas em Rio Branco, Acre, Brasil. **Revista Brasileira Meteorologia**. v.20, n.1, 37-42, 2005.

Fortaleza. Funceme. Sistemas Meteorológicos Causadores de Chuva na Região Nordeste do Brasil. Jan. 2002. Disponível em <http://www.funceme.br/departamento/entender2.htm>. Acesso em: 22 de Julho de 2007.

FERREIRA, N. S. **Zona de Convergência Intertropical**. Disponível em <http://www.funceme.br/meteorologia/zcit18.htm> Acesso em: 22 de Julho de 2007.

FU, C. An Aridity Trend in China in Association with Global Warming. In *Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emission and Environmental Effects of Climate Change*. New York, p. 1-17. 1994.

FU, C.; WANG, Q. The Definition and Detection of the Abrupt Climatic Change. *Chin. J. Atmos. Sci.* v. 16, p. 482-493. 1992.

GAN, T.Y. Hydro Climatic Trends and Possible Climatic Warming in the Canadian Prairies. *W. Resource Res.* v.34 (11), p. 3009–3015. 1998.

GOSWAMI, P.; MATHEW, V. A Mechanism of Scale Selection in Tropical Circulation at Observed Intraseasonal Frequencies. *J. Atmos. Sci.* v 51, p. 3155-3166. 1994.

GOOSSENS, C.H.; BERGER, A. Annual and Seasonal Climatic Variation Over the Northern Hemisphere and Europe During the Last Century. *Annales Geophysicae*, 4: p. 385–400. 1986.

HASTENRATH, S.; Lamb. Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans. *University of Wisconsin Press*. v. 177 p. 1977

HASTENRATH, S.; GREISCHAR, L. Circulation Mechanisms Related to Northeast Brazil Rainfall Anomalies. **J Geophys. Res.**, v.98, n.d, p. 5093 – 5102, 1993.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of Climatic Hazards in Northeast Brazil. **Quart. J. R. Meteor. Soc.** v. 110, p. 411- 425. 1977.

HASTENRATH, S. Interannual Variability and Annual Cycle: Mechanisms of Circulation and Climate in the Tropical Atlantic. **Mon. Wea. Rev.** v. 112, p.1097-1107. 1984.

HULME, M.; MARSH, R.; JONES, P.D. Global Changes in a Humidity Index Between 1931 – 1960 and 1961 – 1990. **Clim. Res.**v.2, p. 1-22.

Institute of Hydrology. Amazônia Florestas, Pastagens e o Clima: **Resultados do Projeto ABRACOS**. Wallingford, Oxford. p.18.1994.

JONES, P. The Instrumental Record: its Accuracy and use in Attempts to Identify the 'CO₂ Signal'. **Analysis of Climate Variability Applications of Statistical Techniques**, Berlin, pp. 54–75.: 334 pp. 1995.

KENDALL, M.G. Rank Correlation Methods. **Griffin**, London. 1975.

KOREN, I.; KAUFMAN, Y.J.; LORRAINE A.R.; MARTINS, J.V. Measurement of the Effect of Amazon Smoke on Inhibition of Cloud Formation. **Science**, v.303, n.27,p.1342-1345, 2004.

KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T. Principal Modes of Outgoing longwave Radiation and 250-mb Circulation for the South American Sector. **J. Climate**. v. 7, 1131-1143. 1994.

LATORRE, M. R. D.O.; CARDOSO, M. R. A. Análise de Séries Temporais em Epidemiologia: uma Introdução Sobre os Aspectos Metodológicos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**. v. 04, n 03, p. 145-151, 2001.

LEAN, J.; WARRILOW, D.A. Simulation of the Regional Climatic Impact of Amazon Deforestation. **Nature**, 342, p. 411-413. 1989.

LETTENMAIER, D.; WOOD, E.; WALLIS, J. Hydro-climatological Trends in the Continental United States, 1948-88, **J. Climate**.v. 7, p. 586-607, 1994.

LUCAS, E. W. M. Aplicação de Modelos Hidrológicos Mensais Estocástico-Determinístico na Bacia Hidrográfica do Xingu - Pará **Dissertação de Mestrado**. UFCG, Programa de Pós Graduação em Meteorologia, Campina Grande, Campus I, UACA, 2007. P.40.

LETTENMAIER, D.; HOOPER, E.; WAGONER, C.; FARIS, K. Trends in Stream Quality in the Continental United States, 1978-87, **W. Resources**. Res. v. 27, p. 327-329, 1991.

MANN, H.B., Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica** v.13, p. 245–259. 1945.

MANABE, S. Summer Dryness due to an Increase of Atmospheric CO₂ Concentration. **Clim. Change** v. 3, p. 347-386. 1981.

MARENGO, J.A. Mudanças Climáticas e Seus Efeitos Sobre a Biodiversidade Brasileira. Disponível em: http://www.qualidade.eng.br/ambiente/artigos_mudancas_climaticas_biodiversidade_brasil.htm Acesso em 04 de Setembro de 2007.

MARENGO, J. Variations and Change in South American Streamflow. **Clim. Change**, v.31, p. 99-117.1995.

MARENGO, J.; UVO, C. Long-term Streamflow and Rainfall Fluctuations in Tropical South America: Amazonia, Eastern Brazil and Northwest Peru (to be submitted to **J. Geoph. Res.**) 1996.

MARENGO, J.A. Interdecadal Variability and Trends of Rainfall Across the Amazon Basin. **Theoric Application Climatology**. doi 10.1007/s00704-004-0045-8, 2004.

MARENGO, José A.; UVO, Cíntia B. Variabilidade e Mudança Climática no Brasil e América do Sul. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliensp10a/mudanca.html>. Acesso em 04 de Agosto de 2007.

MECHOSO, C. R.; LYONS, S. W.; SPAHR, J. A. The Impact of Sea Surface Temperature Anomalies on the Rainfall Over Northeast Brazil. **J. Climate**, v. 3, p.812-826.. 1990

MENEZES, H. E. A.; SILVA, R. M.; ALVES, L. M.; CAMARGO JÚNIOR, H. Verificação do Prognóstico de Precipitação Sazonal Simulada pelo Modelo Eta Climático Para o Nordeste do Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, XIII, 2003, Santa Maria-RS. **Anais**: Santa Maria-RS: SBA, 2003b, p. 999-1000.

MENEZES, H. E. A. Um Estudo da Zona de Convergência do Atlântico Sul **Dissertação de Mestrado**. UFCG, Programa de Pós Graduação em Meteorologia, Campina Grande, Campus I, DCA, 2006. P.03.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the Dynamics of the Droughts in Northeast Brazil: Observations, Theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model. **J. Atmospheric Science**. 1981.

NOBRE, P.; MELO, A.B. C. de Variabilidade Climática Intrasazonal Sobre o Nordeste do Brasil em 1998-2000. Disponível em: http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/artigos/artigo_variabilidade_dez01.pdf. Acesso em: 15 de Agosto de 2007.

O Estado da Paraíba. Disponível em <http://www.pt.wikipedia.org/wiki/Para%C3%adba>. Acesso em: 22 de Julho de 2007.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; JÚNIOR, J. Z.; ÁVILA, M. H. de Variabilidade Climática. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/prod_cc/trabalhos-em-anais-de-eventos/tema1-2.pdf/download.pdf .Acesso em: 28 de Julho de 2007.

PANDA, K. D.; MISHRA, A.; JENA, S.K.; JAMES, B.K.; KUMAR, A. The Influence of Drought and Antropogenic Effects on Groundwater Levels in Orissa, Índia. **J. of Hydrology**. p. 1-14

ROPELEWSKI, C.; HALPERT, M. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño-Southern Oscillation. **Mon. Wea. Rev.** v. 115, p.1606-1626. 1987.

ROPELEWSKI, C.; HALPERT, M. Precipitation Patterns Associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation. **J. Climate** v. 2, p. 268-283. 1989.

REPELLI, C.; ALVES, J.M.B. O uso de Análise de Correlações Canônicas para Prognosticar a Variabilidade Espacial da Precipitação sobre o Nordeste do Brasil. **Rev. Brás. Meteor.** v.11, p.67-75. 1996.

SILVA, V. P. R Comportamento Estatístico de Séries Temporais de Pluviometria no Nordeste do Brasil. **Dissertação de Mestrado**. UFPB, Programa de Pós Graduação em Meteorologia, Campina Grande, Campus II, DCA, 1992. P.16.

SNYERS, R. On The Statistical Analysis of Series of Observations, Technical Note, 143, **WMO**, Geneve, 11, 1990.

SNEYERS, R. On the use of Statistical Analysis for the Objective Determination of Climatic Change. **Meteorol. Zeitschrift**. V.1: p. 247–256. 1992.

SPIEGEL, M.R. **Estatística**. São Paulo – SP: Mc Graw – Hill. 580p. 1998

SHUKLA, J.; MINTZ, Y. Influence of Land-surface Evapotranspiration on the Earth's Climate. **Science**.v.215, p. 1498-1501.1982.

TARDY, Y.; MORTATTI, J.; RIBEIRO, A.; VICTORIA, R; PROBST, J. L. Fluctuations de la Pluviosite, de Lcoulements et de la Temperature Sur le Bassin d lAmazone et Oscilations du Climat Global au Cours du Siecle Coul. C. R. **Acad. Sci. Paris**, v. II, p. 955 - 960. 1994.

THOMAS, A.Spatial and Temporal Characteristics of Potential Evapotranspiration Trends Over China. **Int. J. Climatol**. v. 20 p. 381-396.2000.

UVO, C.; REPELLI, C.; ZEBIAK, S.; KUSHINIR, Y. The Influence of Tropical Pacific and Atlantic SST on Northeast Brazil Monthly Precipitation. **J. Climate**. 1996.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília – DF: INMET, Gráfica e Editora Pax, 2001.

VIANELLO, R. L.; ALVES, R.A. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Viscosa – MG: UFV, Gráfica Universitária da UFV, 2000.

WARD, M.N.; FOLLAND, C. K. Prediction of Seasonal Rainfall in the North Nordeste of Brazil Using Eigenvectors of Sea-surface Temperature. **Int. J. Clim.** v. 11, p.711-43. 1991.

WEICKMANN, K. M.; LUSSKY, G. R.; KUTZBACH, J. E. Intraseasonal (30-60 day) Fluctuations of Outgoing Longwave Radiation and 250 mb Streamfunction During Northern Winter. **Mon. Wea. Rev.**v.113, p. 941-961. 1985

WEI, F.; CAO, H. Regional Characteristics of Drought Anomalies in North China. **Chin.Q.Apll. Meteor.** v.9, p.205-211.1998.

WETHERALD, R.T.; MANABE, S. Detectability of Summer Dryness Caused by Greenhouse Warming. **Clim. Change.** v. 43, p. 495-511. 1999.

WILKS, D. S. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction. v. 59, p. 330-331.1995.

XAVIER, T. M. B. S. *et al.* Previsão Regional de Chuva Para o Estado do Ceará Através do Projeto “Tempo de Chuva”: 1964 – 1999. **Rev. Brás. Recur. Hídri.** v.5, p. 69-92. 2000.

XU, Z.X.; TAKEUCHI, K.; ISHIDAIRA, H. Monotonic Trend and Step Changes in Japanese Precipitation. **J. Hydrol.** v. 279. p. 144–150. 2003.

YANG, D.; LI, C.; HU, H.; LEI, Z.; YANG, S.; KUSUDA, T.; KOIKE, T.; MUSIAKE, K. Analysis of Water Resources Variability in the Yellow River of China During the Last Half Century Using the Historical Data. **Water Resour. Res.** v.40 (6). P.01–12. 2004.

YAN, Z. Some Chaotic Features of the wet/dry Fluctuations in North China. **Acta Meteor. Sin.** v. 53, p. 232-237. 1995.

YAN, Z. Interdecadal Oscillations of Precipitation in North China and its Relation With Global Temperature Change. **Q. J. Appl. Meteor.** v. 10, p. 16-21. 1999.

ZHUGUO, M.; CONGBIN, F. Interannual Characteristics of the Surface Hydrological Variables Over the Arid and Semi-arid Areas of Northern China. **Global and Planetary Change.** v.37,p. 189 – 200. 2003.

ZHANG, X.; HERVEY, K.D.; HOGG, W.D.; YUZYK, T.R. Trends in Canadian Stream Flow. **Water Resour. Res.** v. 37 (4), p. 987–998. 2001.