



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
MESTRADO EM METEOROLOGIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA**

**DIAGNÓSTICOS DE TENDÊNCIA DE MUDANÇA CLIMÁTICA NO  
NORDESTE SETENTRIONAL**

**Aluno: RHODOLFFO ALLYSSON FELIX DE ALENCAR LIMA**

**Orientador: Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO**

**Campina Grande - PB  
Abril de 2008.**

**RHODOLFFO ALLYSSON FELIX DE ALENCAR LIMA**

**DIAGNÓSTICOS DE TENDÊNCIA DE MUDANÇA CLIMÁTICA NO  
NORDESTE SETENTRIONAL**

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

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Subárea: Climatologia

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO

**Campina Grande - PB**

UFMG - BIBLIOTECA - CAMPUS I	
2791	25.09.08

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFG

L732d

2008 Lima, Rhodolfo Allysson Felix de Alencar.

Diagnósticos de tendência de mudança climática no Nordeste setentrional / Rhodolfo Allysson Felix de Alencar Lima. — Campina Grande, 2008.

64 f.: il.

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

Referências.

Orientadores : Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito.

1. Climatologia. 2. Mudanças Climáticas 3. Tendências. I. Título.

CDU – 551.58(812/813)(043)

RHODOLFFO ALLYSSON FÉLIX DE ALENCAR LIMA

DIAGNÓSTICOS DE TENDÊNCIA DE MUDANÇA CLIMÁTICA NO NORDESTE  
SETENTRIONAL

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 04/04/2008

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. ENIO PEREIRA DE SOUZA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. ANTONIO RICARDO SANTOS DE ANDRADE  
Unidade Acadêmica de Garanhuns  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho primeiramente a DEUS.

*Tu, que habitas sob a proteção do Altíssimo, que moras à sombra do Onipotente, dize ao Senhor: “Sois meu refugio e minha fortaleza, meu Deus, em que eu confio”. (Salmo90).*

Aos meus pais (Antônio Basílio de Lima e Terezinha Felix de Alencar Lima), as minhas irmãs (Thoyama Nadja de Alencar Lima Dias e Maryama Naara Felix de Alencar Lima), aos meus sobrinhos (Maria Luíza de Alencar Lima Dias e Pedro Henrique de Alencar Lima Dias) e a minha noiva (Francianne Jeniffer Gomes da Silva), ofereço.

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, por tudo que conquistei nessa vida, por ter me dado coragem pra enfrentar todos os obstáculos, pelas pessoas que me ajudaram para conseguir mais um objetivo.

Aos meus pais, pelo incentivo e força que me deram durante esse período de trabalho.

A minha noiva, Francianne Jeniffer Gomes da Silva, pelo amor, dedicação, companheirismo e compreensão, Te Amo!

A minha família que nos momentos difíceis e na alegria compartilhamos juntos.

Ao professor e orientador desse trabalho, José Ivaldo Barbosa de Brito, pela dedicação, incentivo e por acreditar no meu trabalho.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior), pelos recursos financeiros concedidos durante o curso.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico)

Aos professores, Célia Campos Braga, Enio Pereira de Souza, Vicente de Paulo Rodrigues da Silva e Francisco de Assis Salviano de Sousa.

A Coordenação da Pós-Graduação em Meteorologia, na pessoa do professor Bernardo Barbosa da Silva e Divanete Rocha da Cruz, secretária dessa coordenação, pelo apoio e amizade.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Ciências Atmosféricas/CCT/UFCG.

Aos amigos da “Casa dos Artistas” Ulisses Urquiza, Sérgio Mafra, Hugo Arcoverde, Danilo Urquiza, pela amizade e confiança depositada.

Aos amigos da “Casa dos Pai” Hélder Araújo, Sérgio Mafra, Hugo Jácome, Hewerton Pereira, Jôffyli Rodrigues, por estarem comigo até hoje nessa jornada de trabalho.

Ao colega e amigo Hudson Ellen Alencar Menezes que muito contribuiu para a conclusão desse trabalho, a José Flávio Portela Soares, Fabiane da Cunha Dantas e aos demais colegas que me ajudaram nesse período.

Enfim, a todos aqueles que participaram de forma direta ou indireta da elaboração deste trabalho, **muito obrigado!!!**

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi usar a análise estatística para detectar tendências dos totais anuais das temperaturas mínimas, máximas e médias, temperaturas mínimas e máximas absolutas, umidade relativa do ar; precipitação pluvial; evaporação medida no tanque classe A; disponíveis na UACA/UFCG para a Região Nordeste Setentrional. Foi usada uma série histórica de 1961 a 1990 de oito variáveis meteorológicas das estações dos estados Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Foi empregada a análise de regressão para identificar as tendências, também foi utilizado o teste t de Student para testar a significância dos coeficientes de regressão linear. Os resultados que não houve tendências significativas de aumento e decréscimo foi a precipitação pluvial total já a temperatura máxima absoluta não apresentou uma tendência predominante, mas na parte central da Região ocorreu uma tendência de diminuição. Foi identificada tendência significativa de diminuição da umidade relativa e uma elevação da evaporação. Também foi identificado tendências de aumento da evaporação e de diminuição da umidade relativa decorrente da elevação da temperatura. Observou-se uma diminuição da amplitude térmica anual da temperatura no interior do Nordeste Setentrional; devido ao aumento da temperatura noturna com noites mais quentes.



## **ABSTRACT**

The present research has as objective detects possible tendencies of climatic changes on the Septentrional Northeast. It was used data of relative humidity of the air, annual total precipitation, annual total evaporation, measure in the tank class A, and annual temperatures: medium maximum, medium minimum, average, absolute maximum and absolute minimum. The data are available in UACA/UFCG for the period of January from 1961 to December of 1990 from eight climates variables, from the meteorological stations from the Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco States. The least square method was used to analyze the observed tendencies. Student's t-test was use to verify the reliability of the linear regression coefficients. It was verified a tendency of decrease of the relative humidity and an elevation of the evaporation. The temperatures presented increase tendencies, except for the absolute maximum. The precipitation and the annual absolute maximum didn't show predominant tendency of decline nor of increase. However, in the central part of the Area it observed a tendency of decrease of the absolute maxim. It is ended that happened increase of the temperature, mainly, with hotter nights, and of the evaporation and a decrease of the relative humidity and of the annual thermal width of the temperature inside the Septentrional Northeast.

## SUMÁRIO

		Pág
	LISTA DE FIGURAS.....	i
	LISTA DE TABELAS.....	ii
	LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	iii
1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS .....	18
2.1	Objetivo Geral .....	18
2.2	Objetivos Específicos.....	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1	Séries Temporais.....	19
3.2	Métodos para Estimativa da Tendência.....	20
3.3	Método dos Mínimos Quadrados.....	21
3.4	Teste de Hipótese para Regressão Linear.....	22
3.4.1	Erro Padrão de Estimação.....	23
3.4.2	Erro Padrão do Coeficiente Angular.....	24
3.4.3	Teste para significância do coeficiente de regressão – Uso do Teste t de Student.....	24
3.4.4	Inferência sobre o coeficiente de Correlação Linear.....	25
3.5	Variabilidade e Mudanças Climáticas.....	26
3.6	Climatologia no Nordeste Brasileiro.....	29
3.7	A Importância do Clima na Atividade Econômica.....	34
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.1	Material.....	35
4.1.1	Área de Estudo.....	35
4.1.2	Banco de Dados.....	36
4.1.3	Variáveis Climatológicas Estudadas.....	37
4.1.4	Softwares.....	37
4.1.5	Tipo de Vegetação na Área em Estudo.....	37
4.2	Métodos.....	39
4.2.1	Método para Análise da Tendência.....	39
4.3	Análise Estatística dos Dados.....	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41

5.1	Temperatura Máxima.....	45
5.2	Temperatura Mínima.....	46
5.3	Temperatura Média.....	47
5.4	Temperatura Máxima Absoluta.....	48
5.5	Temperatura Mínima Absoluta.....	49
5.6	Umidade Relativa.....	51
5.7	Precipitação.....	52
5.8	Evaporação.....	53
6	CONCLUSÕES.....	55
7	SUGESTÕES.....	56
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57
9	ANEXOS.....	64

## LISTA DE FIGURAS

Figuras	Descrição da Figura	Pág
Figura 1	Mapa do Nordeste Setentrional.....	36
Figura 2	Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da temperatura máxima média anual (°C/ano).....	46
Figura 3	Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da temperatura mínima média anual (°C/ano).....	47
Figura 4	Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da temperatura média anual (°C/ano).....	48
Figura 5	Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da temperatura máxima absoluta anual (°C/ano).....	49
Figura 6	Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da temperatura mínima média anual (°C/ano).....	50
Figura 7	Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da umidade relativa do ar (%/ano).....	51
Figura 8	Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da precipitação pluvial total anual (mm/ano).....	53
Figura 9	Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da evaporação total anual medida no tanque classe A (mm/ano)....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores calculados de t (número superior) – teste de Student – e dos coeficientes de regressão (número inferior) – tendência – para cada localidade e o correspondente número de anos utilizados das variáveis....	44
----------	--	----

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

### SIGLAS

AMS – American Meteorological Society

As - Tropical úmido

Aw' - Tropical semi-úmido

Bsh - Semi-árido quente

BSwh - quente e semi-árido

CE – Ceará

CCM - Complexos Convectivos de Mesoescala

ENOS - EL Nino-Oscilação Sul

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

MCGAs - Modelos de Circulação Geral da Atmosfera

NEB – Nordeste do Brasil

OMJ – Oscilações de Madden e Julian

OMM – Organização Meteorológica Mundial

PB – Paraíba

PE – Pernambuco

POAs - Perturbações Ondulatórias no Campo dos Alísios

RN – Rio Grande do Norte

TSMs – Temperaturas da Superfície do Mar

UACA – Unidade Acadêmica de Ciências Atmosfera

UFPG – Universidade Federal de Campina Grande

UNEP - United Nations Environment Programme

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico do Sul

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

## **SÍMBOLOS**

$a_0$  – Coeficiente Linear

$a_1$  – Coeficiente Angular de Regressão

C – Cilicidade

°C - Graus Celsius

CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono

Evap. – Evaporação

gl – Graus de Liberdade

I – Caráteres Irregulares

m - Metro

mm - Milímetro

mm/ano - Milímetro por ano

n – Número de Observações

Pág – Página

Precip. – Precipitação

S – Sazonalidade

$S_{a_1}$  - Erro Padrão do Coeficiente de Regressão Amostral

$S_e$  – Erro Padrão de Estimação

$S_x$  – Desvio Padrão de  $x$

T. Máx - Temperatura Máxima

T. Máx. Abs – Temperatura Máxima Absoluta

T. Méd – Temperatura média

T. Mín - Temperatura Mínima

T.Mín. Abs – Temperatura Mínima Absoluta

T – Tendência a Longo Prazo

$t_t$  – Teste de Estatístico

X – Variável Independente

Y – Variável Dependente

$\delta$  – Coeficiente Angular de Regressão Populacional



## 1 INTRODUÇÃO

Os estudos sobre mudanças climáticas globais e regionais têm chamado a atenção, não apenas da comunidade científica na última década, mas também do público em geral. A variabilidade interanual do clima do Semi-árido nordestino é merecedor de grandes atenções, pois, após um período de secas severas 1982 a 1983 devido ao El Niño, ocorreram chuvas abundantes de 1984 a 1986, impulsionado por um evento de La Niña, e, em seguida houve duas grandes secas, uma de 1990 a 1993 e a outra de 1997 a 1999, decorrentes de intensos fenômenos El Niño e de configuração de dipolo positivo no Atlântico Tropical. Além disso, durante quase um século o Semi-árido nordestino sofreu fortes ações antrópicas, primeiro com o desenvolvimento da pecuária, denominado de ciclo do couro, e depois com agricultura, principalmente a cotonicultura, o conhecido ciclo do algodão (SANTOS, 2006).

Ressalta-se a importância da identificação de alterações nos registros meteorológicos para os estudos nas engenharias que se utilizam das séries climatológicas para simulação com uso de análise estatística a hipótese de que as séries históricas são homogêneas, isto é, que não apresentam tendência. Portanto, é salutar investigar possíveis tendências de mudanças climáticas na região Nordeste do Brasil, uma vez que, os principais ingredientes para produção destas mudanças climáticas estão presentes na Região.

Os estados do Nordeste Setentrional (Paraíba, Ceará, Pernambuco e Rio Grande do Norte) estão entre os estados nordestinos que apresentam grande variabilidade interanual da precipitação pluvial e, conseqüentemente, do clima, pois, as chuvas nestes Estados são produzidas, principalmente, pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), vórtices ciclônicos da alta troposfera, ondas de leste e ocasionalmente por sistemas frontais austrais, e são modulados por eventos tipo El Niño/La Niña; padrões de dipolo das águas superficiais do Atlântico Tropical e Oscilações de Madden e Julian (OMJ). (SOARES e BRITO, 2006). Estes sistemas produzem flutuações intensas no clima que são capazes de influir na atividade agrícola e na dinâmica da vegetação regional.

A propósito, Braga et al. (2003) demonstraram a influencia da flutuabilidade interanual do clima na região Nordeste sobre a dinâmica da vegetação regional, principalmente do Semi-árido. Enquanto, Santos (2006) utilizou um período de 70 anos de dados diários da precipitação sobre o Rio Grande do Norte e Paraíba e detectou localidades com tendências positivas e negativas, estatisticamente significativas, de índices de precipitação. Com base nestas informações é importante verificar se as tendências observadas para a precipitação pluvial também são observadas em outras variáveis meteorológicas, a exemplo, das temperaturas média, máxima e mínima, da umidade relativa do ar e da evaporação.

Portanto, neste trabalho é proposto identificar a ocorrência de tendências de variáveis meteorológicas observadas, nos estados do Nordeste Setentrional. Utilizou-se o método dos Mínimos Quadrados para a análise da tendência de séries temporais de variáveis meteorológicas (precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar, evaporação), verificou-se a ocorrência de tendências negativas, positivas e neutras. Também foi utilizado o teste estatístico t de Student (MEYER, 2000), para analisar a significância estatística das tendências, aos níveis de significância de 0,01; 0,02; 0,05 e

0,10, ou seja, a uma confiabilidade de 99%, 98%, 95% e 90% respectivamente. Ressalta-se que o teste t de Student é mundialmente aceito para este tipo de análise.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é detectar possíveis tendências de mudanças climáticas para os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Análise exploratória dos dados através da estatística clássica dos parâmetros climatológicos das variáveis climáticas de interesse para região semi-árida do Nordeste do Brasil;

Analisar os dados climatológicos com a finalidade de identificar as componentes de séries temporais: (tendência; ciclo; sazonalidade e a aleatória) das variáveis de umidade relativa, temperaturas, precipitação, evaporação;

Verificar a relação entre a tendência anual de longo prazo da precipitação pluvial.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Séries Temporais**

Yevsevich (1972) define tendência em uma série temporal como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas.

Goossens e Berger (1986) apresentam as definições de alguns termos usados para caracterizar modificações climáticas. Segundo esses autores, mudança climática é um termo completamente geral em que engloba todas as formas de inconstância climática de natureza estatística ou causas físicas.

Uma série temporal é um conjunto de observações tomadas em tempos determinados, comumente em intervalos iguais (KAZMIER, 1982).

Matematicamente, uma série temporal é definida pelos valores  $Y_1, Y_2, \dots$ , de uma variável  $Y$ , por exemplo a temperatura do ar, nos tempos  $t_1, t_2, \dots$ . Portanto,  $Y$  é uma função de  $t$  simbolizada por  $Y = F(t)$ .

As séries temporais podem ser decompostas em quatro grandes componentes: tendência, ciclicidade (variações cíclicas), sazonalidade (variações sazonais) e variações irregulares ou aleatórias: T, C, S e I.

- i) (T) tendência – descreve um movimento suave, a longo prazo, dos dados, para cima ou para baixo. Na análise das séries temporais, existem dois objetivos principais associados ao isolamento das tendências. O primeiro envolve a identificação da tendência com o objetivo de uso em previsões. O segundo envolve a sua remoção de forma a permitir o estudo dos outros componentes da série temporal.
- ii) (C) Ciclicidade – Corresponde a um certo grau de regularidade a longo prazo no comportamento das séries temporais.
- iii) (S) sazonalidade – Representa regularidade de variações na série em períodos curtos de tempo, geralmente dentro de um ano.
- iv) (I) variações irregulares – correspondem a ruídos na série temporal em decorrência de fatores variados. Como são aleatórios, não são previstos nos modelos.

Uma investigação dos componentes T, C, S e I é frequentemente classificada como decomposição de uma série temporal em seus movimentos componentes básicos. Alguns estatísticos preferem considerar as flutuações da variável Y como a soma  $T + C + S + I$  (SPIEGEL, 1977).

### **3.2 Métodos para Estimativa da Tendência**

Segundo Meyer, (2000) há vários métodos de estimativa, os mais utilizados são:

- i) Ajustar uma função do tempo, como uma função linear, polinomial, exponencial ou outra função suave a variável climatológica no tempo t. (Métodos paramétricos).
- ii) Suavizar (ou filtrar) os valores da série ao redor de um ponto para estimar a tendência naquele ponto (Método não paramétrico).

iii) Análise não paramétrica por meio de testes de hipóteses (Teste de Run, Mann-kendall).

Entre os diversos métodos para elaboração de estudo de tendências optou-se pelo dos Mínimos Quadrados, pois, sua análise estatística é de fácil entendimento, uma vez que, apresenta uma reta de regressão com um valor numérico positivo ou negativo, para o coeficiente angular de regressão, que pode ser um indicativo de tendência significativa e respectivamente a reta ou curva de regressão de Y para X, neste caso, é denominada de tendência e é freqüentemente empregada para as finalidades de avaliação, predição e previsão. Além disso, a confiabilidade do coeficiente de regressão pode ser verificada por um teste de hipótese, julgando, assim, a confiabilidade da tendência encontrada, utilizando-se para isto o teste t de Student.

### 3.3 Método dos Mínimos Quadrados

Na elaboração do Método dos mínimos quadrados procura-se uma reta ou curva de regressão que apresente o menor erro em um conjunto de pontos de uma variável independente X e uma variável dependente Y.

Na presente pesquisa a variável independente X é o tempo, em anos, 1961, 1962, 1963, e assim sucessivamente, até o final da série. A variável dependente Y são os valores médios anuais de temperaturas máximas, mínimas, médias, temperaturas máximas e mínimas absolutas anuais, umidade relativa, totais anuais de precipitação e evaporação.

A reta de mínimo quadrado que se ajusta a um conjunto de pontos  $(X_1, Y_1)$   $(X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$  é discutida pela equação da reta:

$$Y = a_0 + a_1 X, \quad (1)$$

em que as constantes  $a_0$  (coeficiente linear) e  $a_1$  (coeficiente angular) são determinadas mediante a resolução simultânea do sistema de equações:

$$\sum Y = a_0 N + a_1 \sum X \quad (2)$$

$$\sum XY = a_0 \sum X + a_1 \sum X^2$$

que são denominadas equações normais da reta de mínimo quadrado (1).

As constantes  $a_0$  e  $a_1$  do sistema de equações (2), podem ser determinadas por meio das fórmulas:

$$a_0 = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (3a)$$

$$a_1 = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (3b)$$

As equações (2) podem ser obtidas formalmente, a primeira através da soma, membro a membro, dos termos da equação (1), isto é,  $\sum Y = \sum (a_0 + a_1 X) = a_0 N + a_1 \sum X$ , enquanto que a segunda é obtida, na realidade, multiplicando-se, primeiramente, ambos os membros da equação (1) por  $X$  e depois as somando, isto é,  $\sum XY = \sum X(a_0 + a_1 X) = a_0 \sum X + a_1 \sum X^2$ . Note-se que não é feita dessa forma a dedução das equações normais, mas que esse é simplesmente um modo de recordá-las.

### 3.4 Teste de Hipótese para Regressão Linear

Uma importante parte da verificação de adequação de um modelo de regressão linear é a realização de um teste estatístico de hipóteses em relação aos parâmetros do



modelo ajustado e do coeficiente de correlação entre a variável dependente Y e a independente X.

### 3.4.1 Erro Padrão de Estimação

O erro padrão de estimação, em termos conceituais, é um desvio padrão condicional, na medida em que indica o desvio padrão da variável dependente Y, dado um valor para variável independente X. O erro padrão de estimação  $S_e$ , do inglês, *standard error*, calcula a dispersão dos resíduos (diferença entre valores reais e preditos) dos valores amostrados ao redor da equação ajustada. Seu cálculo se baseia na hipótese de dispersão uniforme, ou seja, quanto maior a dispersão, menor a precisão das estimativas. Algebricamente, o erro padrão pode ser calculado por meio da seguinte equação:

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y_{est})^2}{n - 2}} \quad (4)$$

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a_0 \sum Y - a_1 \sum XY}{n - 2}} \quad (5)$$

onde:

Y = variável dependente

$Y_{est}$  = variável estimada

$S_e$  = é o erro padrão associado a Y

n = número de observações

Com base no cálculo do erro, serão construídas quase todas as estimativas inferenciais empregadas nas análises de regressão e correlação.

### 3.4.2 Erro Padrão do Coeficiente Angular

O cálculo do erro padrão do coeficiente de regressão amostral  $a_1$  é importante para poder construir o intervalo de confiança e efetuar os testes de hipóteses apropriados para o coeficiente angular de regressão populacional  $\delta$ . Algebricamente, o erro padrão  $a_1$  pode ser apresentado por meio da seguinte equação:

$$Sa_1 = \frac{Se}{\sqrt{(n-1).S_x^2}} \quad (6)$$

Onde:

$n - 1$  = grau de liberdade

$S_e$  = erro padrão de estimativa

$S_x$  = desvio padrão da variável  $x$

$n$  = número de observações.

### 3.4.3 Teste para significância do coeficiente de regressão – Uso do Teste t de Student

Os testes de hipóteses aplicados nas análises de regressão e correlação buscam verificar a possibilidade de aceitação da hipótese de nulidade dos coeficientes populacionais inferidos (BRUNI 2007). Como nos procedimentos tradicionais dos testes de hipóteses, deve seguir o cálculo do valor do teste estatístico. Considerando um número menor ou igual a 30 anos, algebricamente, o valor do teste estatístico teste ser apresentado como:

$$t_t = \frac{a_1 - \delta}{Sa_1} \quad (7)$$

No teste de hipótese formulado o valor de  $\delta$  (coeficiente angular populacional) é tomado igual a zero, ou seja, hipótese nula, pois este valor indica a ausência de relacionamento entre as variáveis independente e dependente. Neste caso, o valor do teste estatístico é igual a:

$$t_t = \frac{a_1 - 0}{Sa_1} = \frac{a_1}{Sa_1} \quad (8)$$

O teste de hipóteses deve-se comparar o valor de  $t_t$  calculado por (8) com os valores críticos determinados a partir a partição da distribuição t de Student. O resultado obtido pode sugerir a aceitação da hipótese de nulidade do coeficiente ou não. Caso, o  $t_t$  calculado por (8) seja igual ou superior ao valor do t crítico para um determinado grau de liberdade e percentual de significância, a hipótese de nulidade é rejeitada e a tendência observada é verdadeira para aquele nível de significância obtido (BRUNI 2007).

#### 3.4.4 Inferência sobre o Coeficiente de Correlação Linear

$$H_0 : p = 0$$

$$t_{\text{calculado}} = \frac{r_{xy} - 0}{\sqrt{\frac{1 - r_{xy}^2}{n - 2}}} \quad (9)$$

$$H_1 : p \neq 0$$

Onde  $r_{xy}$  é o coeficiente de correlação linear amostral.

### 3.5 Variabilidade e Mudanças Climáticas

As definições utilizadas na literatura sobre alterações climáticas, segundo Tucci (2002), se diferenciam de acordo com a inclusão dos efeitos antrópicos na identificação da variabilidade. Este efeito tem sido um dos grandes propulsores de estudos e pesquisa na área climática. Mas, as mudanças acarretadas sobre o clima, devem estar acontecendo de maneira paulatina, numa complexa imbricação de influências locais, regionais e globais, tendo como conseqüências a tendência para o aquecimento planetário e os freqüentes eventos extremos (BOTTA e FOLEY, 2002).

O (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) IPCC (2001), define de uma forma geral, o termo “variabilidade climática” como utilizado para as variações de clima em função dos condicionantes naturais do planeta e suas interações, daí a denominação de **variabilidade natural do clima**. Já as “mudanças climáticas” seriam as alterações na variabilidade natural do clima devido às atividades humanas. Dessa forma, é necessário identificar se está ocorrendo alteração na variabilidade natural para se poder afirmar que está havendo mudança climática (STEINKE, 2004).

Já outros autores como mencionado anteriormente adotam, para o mesmo termo, a definição de mudanças associadas direta ou indiretamente à atividades humanas que alterem a variabilidade climática natural observada num determinado período. O IPCC é mais conhecido por seus Relatórios de Avaliação, que são amplamente reconhecidos como as fontes mais confiáveis de informações sobre a mudança do clima.

Para a Organização Meteorológica Mundial (OMM), a evolução do comportamento atmosférico nunca é igual de um ano para outro ou mesmo de uma década para outra, podendo-se verificar flutuações a curto, médio e longo prazo. (CONTI, 2000).

Segundo Molion (1995; 2001), é provável que os MCGAs (Modelos de Circulação Geral da Atmosfera) não sejam adequados para tais previsões, embora eles sejam, no presente, as ferramentas disponíveis para esse tipo de estudo.

A problemática das mudanças climáticas globais levou a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e a UNEP (United Nations Environment Programme) a criarem o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) em 1988. Segundo o IPCC, no século XX, houve um aumento de 0,65°C na média da temperatura global, sendo este mais pronunciado na década de 90. Quanto à precipitação, o aumento variou de 0,2% a 0,3%, na região tropical, compreendida entre 10°N e 10°S. As causas dessas variações podem ser de ordem natural ou antropogênica, ou uma soma das duas (IPCC, 2001).

A ferramenta utilizada atualmente para a investigação dessas possíveis mudanças climáticas são os chamados (MCGAs). Esses modelos descrevem a atmosfera de forma global, utilizando equações matemáticas para prescrever as leis físicas que regem atmosfera. Segundo Abreu (2000), tais modelos são importantes para que se possam avaliar as implicações de uma mudança na composição química da atmosfera. Porém, a autora chama atenção para o fato de que os modelos atuais são limitados pelo conhecimento científico sobre a dinâmica da atmosfera.

Embora exista toda uma credibilidade envolvendo o IPCC, em função que nele estão reunidos cientistas do mundo inteiro, representando diferentes áreas do conhecimento, e que utilizam os MCGAs, de diversos institutos para as previsões de mudanças climáticas devido ao aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, ainda existem cientistas que coloca em dúvida as afirmações de seus Relatórios de Avaliação.

Segundo o IPCC (2001), o século XX teria sido o mais quente do milênio, presumivelmente devido, em grande parte, à atividade econômica humana (usinas de

energia, automóveis), responsável pela emissão de gases causadores do efeito estufa (como o CO<sub>2</sub>, principalmente), cujo acúmulo favorece o aquecimento global.

O IPCC também informou que a recente mudança no clima regional, particularmente o aumento da temperatura, já afetou muitos sistemas físicos e biológicos. (McCARTHY et al., 2001).

A dificuldade existente em separar os efeitos antrópicos no clima e a sua variabilidade natural, sobretudo, é porque o sistema climático é extremamente complexo e sua dinâmica ainda não é completamente compreendida, por mais que se tenha avançado no conhecimento sobre o sistema terra-atmosfera.

Em outro relatório divulgado pelo IPCC a temperatura global é projetada para aumentar entre 1.4°C e 5.8°C nos próximos 100 anos (HOUGHTON et al., 2001). Incertezas permanecem em vários aspectos fundamentais, incluindo a magnitude, cronometragem, e distribuição regional antecipada de mudança do clima. Estas incertezas podem e devem ser mais bem entendidas e quantificadas por meio de avanços nas áreas de pesquisa seguintes: Entendimento sobre sistemas climáticos, interações e avaliações; projeções de mudanças climáticas globais e regionais e os impactos ambientais e sociais por eles causados; métodos para quantificar as projeções de mudanças do clima;

No documento divulgado pelo IPCC em 2 de fevereiro de 2007 foi considerado um marco ao afirmar, com 90% de certeza, que o homem é o responsável pelo aquecimento global. De grande urgência são as consequências do clima, do crescimento abundante dos gases de efeito estufa na atmosfera e outros componentes, principalmente, devido ao uso de energia e agricultura. Estes gases são os que mais contribuem para o aquecimento global. Para este contexto o termo “aquecimento global”, inclui todos os efeitos climáticos e ambientais surgindo da variabilidade natural do clima como também de mudanças antropogênicas em composição atmosférica e uso da terra. Para muitas nações, a

possibilidade substancial para mudanças climáticas é vista para muitos como um impacto sério no ambiente global e bem-estar humano sobre as próximas décadas e séculos. Como os gases que provocam o efeito estufa continuam aumentando, sem uma administração central planejada nem controlada, os resultados apresentam desafios sem precedentes nos nossos conhecimentos e não previsões de impactos significantes em nossos sistemas naturais e sociedade. A princípio, isto pode ser um problema a longo prazo que requer uma perspectiva a longo prazo. Entretanto, o último relatório do IPCC já mostra as conseqüências, ou seja, os efeitos deste aumento dos gases de efeito estufa já estão presentes. Por isso, o WWF-Brasil acompanha atentamente as conseqüências do aquecimento do planeta que podem se traduzir em eventos climáticos extremos como secas na Amazônia ou furacões em áreas tidas como fora de risco, como o Catarina que passou pelo sul do Brasil. (WWF-BRASIL, 2007).

O 2º relatório do IPCC foi divulgado dia 6 de abril e abordou os impactos das mudanças climáticas, com um capítulo dedicado apenas à América Latina, com detalhes sobre o Brasil, onde, há impactos significativos em vários lugares como na Amazônia, no semi-árido nordestino e nas regiões litorâneas. (WWF-BRASIL, 2007).

### **3.6 Climatologia no Nordeste Brasileiro**

O Nordeste brasileiro (NEB) é uma região onde predomina o clima semi-árido caracterizado por uma grande variabilidade anual na precipitação (KOUSKY, 1980). Historicamente, a Região sempre foi afetada por grandes secas ou grandes cheias, como por exemplo, o ano 2004, quando diversas cidades sofreram com as cheias dos rios (SANTOS, 2006). Relatos de secas podem ser encontrados desde o século XVII, quando os portugueses chegaram ao Brasil. Segundo Marengo e Uvo (1996), estatisticamente,

acontecem de 18 a 20 anos de seca a cada 100 anos no NEB. A seca é uma característica comum da paisagem semi-árida é um fenômeno que quietamente produz destruição em muitas porções do globo. É o resultado inevitável da variabilidade do clima, variabilidade que às vezes deixa por longos meses áreas com falta de água (AMS, 2004). No Nordeste do Brasil, um dos impactos na sociedade mais significativo das secas é a emigração de população de áreas rurais para os centros urbanos e para destinos fora da região (GAISER et al., 2003 apud KROL e BRONSTERT, 2007). As conseqüências principais das secas no NEB são relacionadas à baixa produção de colheita e falta de água para os centros urbanos e comunidades rurais (SILVA, 2004).

Como objetivo principal do presente trabalho é investigar possíveis ocorrências de mudanças climáticas no Nordeste setentrional. É importante descrever sobre a climatologia do (NEB) e os fatores que provocam mudanças no clima global e regional.

No NEB observa-se uma grande variabilidade climática, podendo-se verificar desde o clima semi-árido no interior da Região, com precipitação média total anual inferior a 500 mm/ano, até o clima tropical chuvoso, observado principalmente na costa leste da Região, com precipitação média anual superior a 1800 mm (KOUSKY e CHU, 1978). Enquanto, à parte norte da Região recebe entre 1000 e 1200 mm/ano (HASTENRATH e LAMB, 1977). De maneira geral, o NEB possui uma grande homogeneidade sazonal e espacial da temperatura. Somente no sul da Bahia é verificada uma maior variabilidade sazonal da temperatura, em função da penetração das massas de ar relativamente frias nos meses de inverno, ou seja, a variabilidade espacial do clima da Região é decorrente dos diferentes regimes de precipitação.

A propósito no norte da região a estação chuvosa principal é de fevereiro a maio, no sul e sudeste as chuvas ocorrem, principalmente, de dezembro a fevereiro e no leste a estação chuvosa é de abril a julho. Esta configuração temporal das chuvas levou Rao et al.



(1993) afirmaram que a principal estação chuvosa do NEB, incluindo o norte e o leste da região que explica 60% da chuva anual, é de março a junho e a estação seca, para a maior parte da região, ocorre de setembro a dezembro.

O máximo de precipitação no norte do Nordeste, que é uma região que tem período chuvoso de fevereiro a maio, deve-se ao deslocamento anual da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) para latitudes mais ao sul, o que afeta o NEB, principalmente nos meses de março e maio (HASTENRATH e LAMB, 1977; UVO et al., 1998). O máximo no sul da região está associado à penetração de frentes frias vindas do sul que alcançam latitudes mais baixas nos meses de novembro a fevereiro (ALVES e KAYANO, 1991). No litoral leste, o máximo de precipitação observado no período de maio a julho está relacionado com a intensificação, nesta época do ano, das ondas de leste que advecta umidade para o continente e às ações das frentes frias remanescentes que se propagam ao longo da costa (KOUSKY, 1979; MARKHAN e McLAIN, 1977; ALVES e KAYANO, 1991).

As variações interanuais de chuvas no norte do NEB podem ser atribuídas às anomalias na posição e intensidade da ZCIT, causadas por anomalias positivas na temperatura da superfície do mar do Atlântico Sul, conforme o estudo de Moura e Shukla (1981), Alves e Repelli (1992), e pela ocorrência do El Niño no Pacífico Equatorial.

Molion e Bernardo (2002) sugerem que a variabilidade interanual da distribuição de chuvas sobre o NEB, tanto nas escalas espacial quanto temporal, está intimamente relacionada com as mudanças nas configurações de circulação atmosférica de grande escala e com a interação oceano-atmosfera no Pacífico e no Atlântico tropicais.

Além da variabilidade interanual, o Nordeste do Brasil também apresenta uma variabilidade intrasazonal, com pelo menos três regimes de precipitação para três áreas distintas: uma área mais ao norte, onde as precipitações significativas ocorrem no bimestre

março-abril; a faixa litorânea leste do Nordeste 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 (MENEZES et al., 2003).

Os mecanismos dinâmicos que produzem chuvas no NEB podem ser classificados em mecanismos de grande escala, em geral responsáveis pela maior parte da precipitação observada, e mecanismos de meso e microescalas, que completam os totais observados. Dentre os mecanismos de grande escala, destacam-se os sistemas frontais, associados à Zona de Convergência do Atlântico do Sul (ZCAS) e a Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera e a (ZCIT). Fazem parte dos mecanismos de mesoescala as perturbações ondulatórias no campo dos Alísios (POAs), complexos convectivos de mesoescala (CCM) e brisas marinhas e terrestres, enquanto circulações orográficas e pequenas células convectivas são os principais fenômenos de microescala atuantes na Região (DA SILVA, 2005).

O semi-árido é a área de maior abrangência territorial dentre os espaços naturais que conformam a região Nordeste do Brasil. Do ponto de vista físico-climático, o semi-árido se caracteriza por médias térmicas elevadas (acima de 26°C) e duas estações bem distintas: uma seca na qual chove muito pouco, e uma úmida quando ocorrem precipitações irregulares que vão de um mínimo de 300 mm a um máximo de 800 mm.

A ausência, escassez, irregularidade e má distribuição das precipitações pluviométricas na estação chuvosa, as intensas evaporações durante o período de estiagem e o elevado escoamento superficial das águas conjugam-se para induzir uma acentuada deficiência hídrica. O acesso à água em quantidade, qualidade e regularidade pela população rural constitui um importante fator limitante da sustentabilidade da vida no semi-árido.

Os problemas sociais desta região, entretanto, não decorrem automaticamente de suas condições ambientais, mas principalmente de fatores de ordem socioeconômica e política, como a concentração fundiária e a histórica desigualdade econômica e social.

O semi-árido não constitui um espaço homogêneo, tampouco desértico ou impróprio à vida, pelo contrário, apresenta alta diversidade ecológica e possui ricos recursos naturais. Os conhecimentos acumulados sobre o clima permitem concluir não ser a falta de chuvas a responsável pela oferta insuficiente de água na região, mas sua má distribuição, associada a uma alta taxa de evapotranspiração, que resultam no fenômeno da seca, a qual periodicamente assola a população da região.

Em 10 de março de 2005, o Ministério da Integração Nacional instituiu uma nova delimitação do semi-árido brasileiro, que atualizou os critérios de seleção e os municípios que passam a fazer parte dessa região.

Para a nova delimitação do semi-árido brasileiro, tomaram-se por base três critérios técnicos: precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Com essa atualização, a área classificada oficialmente como semi-árido brasileiro aumentou de 892.309,4 km para 969.589,4 km, sendo composta por 1133 municípios dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Norte de Minas Gerais, totalizando uma população de 20.858.264 milhões de pessoas, 44% destas residindo na zona rural. A região semi-árida corresponde à área-alvo de atuação do Programa Cisternas do Ministério do Desenvolvimento Social. (Ministério da Integração Nacional, 2005).

O ENOS (a junção do EL Nino com a oscilação Sul) e Dipolo do Atlântico Tropical afetam diretamente o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que por sua vez influencia na distribuição das chuvas sobre o Nordeste. No entanto, embora a variabilidade interanual das TSMs e ventos sobre o Atlântico Tropical sejam significativamente menores do que as observadas no Pacífico Equatorial, essas variáveis afetam substancialmente a variabilidade climática sobre a América do Sul, em especial a Região Nordeste do Brasil (HASTENRATH, 1984; NOBRE e SHUKLA,1996).

### **3.7 A Importância do Clima na Atividade Econômica**

Uma das grandes preocupações da comunidade nos últimos anos diz respeito às alterações climáticas e suas conseqüências para a população humana. Nos últimos anos, tem sido muito debatido a respeito da possibilidade de mudança climática com como conseqüência da emissão de gases pela atividade humana que causam o efeito estufa. Outras alterações previstas neste sentido são o aumento da precipitação, das temperaturas causando assim o aquecimento do planeta.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Material**

#### **4.1.1 Área de Estudo**

Este trabalho foi realizado na região do nordeste setentrional, que compreende os estados: Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

A área total estudada é de aproximadamente 360 mil quilômetros quadrados corresponde aos estados do Nordeste Setentrional, está limitado pelas longitudes  $34^{\circ}47'W$  e  $41^{\circ}12'W$  e pelas latitudes  $2^{\circ}48'S$  e  $9^{\circ}25'S$ , ou seja, inserida em uma faixa de terra com cerca de 710 km na direção leste-oeste por 730 km na direção norte-sul (Figura 1).

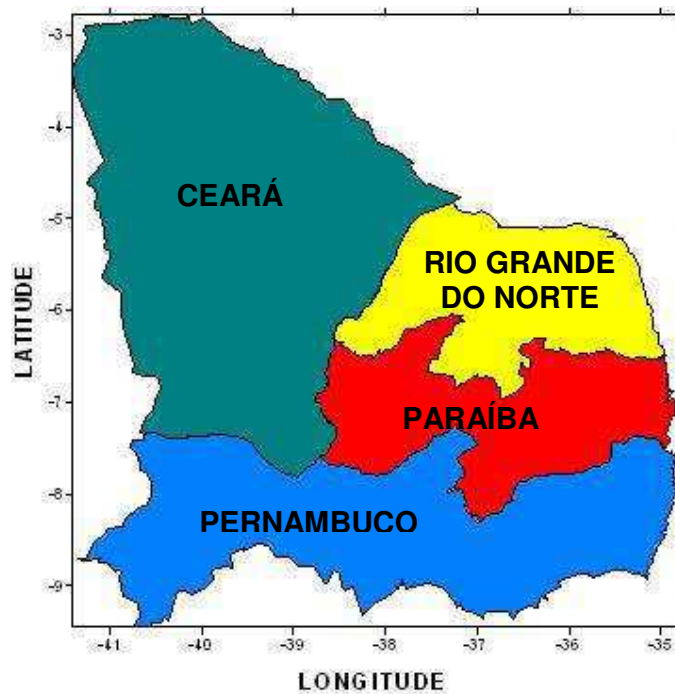


Figura 1. Localização da área estudada na região do Nordeste Setentrional.

#### 4.1.2 Banco de Dados

Para o estudo da área considerada foram utilizados os seguintes registros de dados das estações meteorológicas, relativos ao período de janeiro de 1991 a dezembro de 1990:

- No estado do Ceará: Sobral, Guaramiranga, Quixeramibim, Crateús, Morada Nova, Iguatú, Barbalha e Fortaleza.
- No Rio Grande do Norte: Ceará Mirim, Apodi, Mossoró, Florânia e Cruzeta.
- Na Paraíba: São Gonçalo, distrito de Sousa, Monteiro, Campina Grande e João Pessoa.
- No Pernambuco: Petrolina, Floreta, Triunfo, Pesqueira, Garanhuns, Surubim e Recife.

#### **4.1.3 Variáveis Climatológicas Estudadas**

Temperaturas máximas, mínimas e médias, temperaturas máximas e mínimas absolutas, umidade relativa do ar, precipitação total anual e evaporação total anual medida no tanque classe A.

#### **4.1.4 “Softwares”**

O procedimento dos dados foi realizado através dos programas computacionais, Microsoft Excel para confecção das planilhas, elaboração de gráficos e o programas Fortran para o teste de significação dos coeficientes de regressão utilizado t de Student e Golden Software Surfer 7 for Windows, para a análise, operação e elaboração de mapas. Os dados passaram por um controle de qualidade para verificação de falhas e consistência (WILKS, 1995).

#### **4.1.5 Tipo de Vegetação na Área em Estudo**

Segundo o levantamento semi-detalhado, realizado por (AMBIENTE BRASIL, 2007), as regiões do Nordeste Setentrional são as seguintes:

- Ceará: O clima predominante, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSwH (quente e semi-árido). A temperatura média anual para todo Estado é de 26,2°C, oscilando entre 19,3°C, nas áreas de maior altitude da Serra da Ibiapaba, a 28,4°C, no vale do Jaguaribe. Nos meses de agosto a março as temperaturas máximas são muito elevadas, chegando a atingir temperaturas de até 35°C. A precipitação pluvial média anual varia entre 650, nas áreas mais secas, e 1400 mm/ano, nas

zonas mais chuvosas (ALVES et al., 1998). O relevo predominante é plano em cerca de 70% do Estado, nos 30% restante são suavemente onduladas, com altitudes inferiores a 50m, na baixada litorânea, e superiores a 900m, nas áreas serranas (MEDEIROS e CAMPOS, 2002).

- Rio Grande do Norte: Observa-se a ocorrência de três tipologias climáticas distintas em cada região. Tropical úmido (As), no litoral leste em uma faixa de aproximadamente 80 quilômetros com temperaturas médias na casa dos 24°C; os índices pluviométricos registrados são superiores a 1.200mm/ano decaindo no sentido costa-interior onde atinge 800mm/ano. Tropical semi-úmido (Aw'), no extremo oeste do estado, com chuvas precipitando durante o outono e temperaturas elevadas. Nas regiões serranas (sudoeste) o volume ultrapassa os 800mm/ano. O Semi-árido quente (Bsh) tipifica as demais áreas do estado, inclusive o litoral norte; suas temperaturas médias aproximadamente em torno dos 26°C, enquanto que as chuvas são irregulares ocasionando períodos de seca, índices inferiores a 600mm/ano são registrados. O Relevo é relativamente plano, exceto na parte central e na porção sudoeste com altitude chegando ao ponto mais culminante de 700m.
- Paraíba: O clima predominante é caracterizado por altas temperaturas e chuvas escassas e irregulares, variando de acordo com o relevo. Na porção interior do Estado predomina o clima semi-árido; os índices pluviométricos nesta região variam bastante, pois, atingem valores inferiores a 400mm/ano, na parte central, e em torno de 900mm/ano, no extremo oeste do Estado. No litoral o clima é caracterizado como tropical chuvoso; as precipitações atingem valores superiores a 1.700mm/ano. Ressalta-se que os índices pluviométricos da parte central do Estado estão entre os mais baixos do país. As temperaturas médias anuais no território



paraibano variam de 21,3°C, nas áreas serranas, a 27,3°C, na depressão sertaneja, com valor médio anual para o Estado como um todo de 24,6°C. O Relevo é relativamente ondulado com destaque para o Planalto da Borborema altitudes variam entre 450 e 750 metros. Tendo o Pico do Jabre na serra de Teixeira o ponto mais elevado com 1.090m de altitude. As áreas planas estão confinadas na planície litorânea, com altitudes inferiores a 100m, e na depressão sertaneja.

- Pernambuco: duas tipologias climáticas dominam o Estado, cada qual em área diversa. Na Baixada Litorânea (Zona da Mata) predomina o clima tropical chuvoso com temperaturas próximas aos 24°C; as chuvas nesta região são de aproximadamente 1.500mm anuais sendo maior este índice no litoral próximo de (2.000mm/ano). Em outras duas áreas, como Agreste e Sertão, correspondente ao oeste do estado, ocorre o clima caracterizado como Semi-árido quente com chuvas escassas e irregulares os totais médios anuais são inferiores a 700 mm. As temperaturas mais altas são registradas no sertão (26°C), diminuindo mais para o centro chegando ao valor de 20°C, isto devido às altitudes nestas localidades. O relevo é irregular com altitudes variando de 40 a 900m, com destaque para o Planalto da Borborema, a Baixada Litorânea e a Depressão do São Francisco.

## **4.2 Métodos**

### **4.2.1 Método para Análise da Tendência**

Para se analisar mudanças de tendência nas séries das oito variáveis estudadas foi aplicado o seguinte método.

- Método da regressão linear, onde por meio do teste significativo do coeficiente angular da reta ajuste pode ser utilizado para indicar alterações climáticas.

Considerando a equação da reta do tipo:

$$Y = a_0 + a_1 X,$$

O teste utilizado consiste em determinar o intervalo de confiança do coeficiente angular  $a_1$ . Este teste é paramétrico e pode ser usado em séries contínuas, com a vantagem de usar a magnitude dos valores reais (GILBERTO, 1983).

#### **4.3 Análise Estatística dos Dados**

Para identificar tendências das oito variáveis climáticas estudadas sobre a região do Nordeste Setentrional foi aplicado análise de regressão para indicar mudanças climáticas por meio do teste de significância do coeficiente angular da reta ajustada, ao nível de 5% de probabilidade. Considera-se a hipótese nula de ausência de tendência para os dados da série, o teste t de Student consiste do cálculo do t crítico,  $H_0$  será rejeitado a um nível de significância na série Tempo. Também foi realizado um teste de hipótese no nível de significância de 5% de probabilidade sobre o coeficiente de correlação no sentido de medir a dependência das variáveis climáticas e a variável tempo. (MEYER, 2000).

Para descrição das oito variáveis climáticas aplicaram-se estatísticas descritiva com determinação da média ( $\bar{X}$ ), variância ( $S^2$ ); coeficiente de variação (CV); desvio padrão (DP) e erro padrão de estimativa ( $S_e$ ).

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A Tabela 1 mostra as localidades, as variáveis analisadas, o número de anos para cada localidade, o número inferior para cada variável climatológica representa os coeficientes angulares de regressão (tendência) de cada localidade e o número superior ao valor do t calculado através do teste de Student. Na análise a seguir é considerada apenas as localidades e variáveis cujo nível de confiabilidade, ou seja, significância estatística superior ou igual a 90% de probabilidade.

Para a umidade relativa do ar observa-se na Tabela 1 que 5 localidades, Campina Grande, São Gonçalo e Monteiro – PB, Cruzeta – RN e Guaramiranga – CE, apresentam tendência de diminuição, sendo que o coeficiente de regressão de 4 deles tem significância estatística de 99% e apenas Monteiro – PB apresenta 90% de confiabilidade. Enquanto, em 4 localidades Ceará-Mirim – RN, Morada Nova – CE, Pesqueira e Surubim – PE a tendência da umidade relativa do ar foi de aumento, 1 com nível de significância de 99% na cidade de Surubim e as outras 3 de 90%.

A temperatura máxima média anual apresenta 11 localidades com valores dos coeficientes de regressão estatisticamente significativos, sendo que 8 com tendência de aumento, das quais 4 com significâncias de 99% (Campina Grande e João Pessoa – PB, Ceará-Mirim – RN e Recife – PE), 2 com 95% (Crateús e Fortaleza – CE) e 2 com 90%

(Mossoró – RN e Petrolina – PE). Das 3 cidades com tendência negativa (Guaramiranga – CE, Floresta – PE e Morada Nova – CE) uma apresenta significância de 98%, outra com 95% e a terceira 90%.

A temperatura mínima média anual apresenta o maior número de localidades, 14, com valores dos coeficientes de regressão estatisticamente significativos. Todas apresentam tendências de aumento da temperatura mínima. Das 14 localidades, em 9 a significância é de 99% (Barbalha, Fortaleza e Guaramiranga - CE, Ceará Mirim – RN, Campina Grande, Monteiro e São Gonçalo – PB, Floresta e Recife – PE), uma com 98% (Sobral – CE), e 4 com 95% (Florânia e Mossoró – RN, Surubim e Triunfo – PE).

Tendência de aumento da temperatura média anual, com significância estatística, foram observadas em 12 localidades, sendo 4 com 99% de confiabilidade (Fortaleza – CE, Ceará-Mirim – RN, Campina Grande – PB e Recife – PE), 2 com 98% (Barbalha e Quixeramibim – CE), 4 com 95% (Mossoró – RN, Monteiro e São Gonçalo – PB, e Garanhuns – PE) e 2 com 90% (Petrolina e Triunfo – PE). Em uma localidade verificou-se tendência de diminuição com significância de 95% na cidade de Morada Nova – CE.

A temperatura mínima absoluta, menor temperatura observada em um ano, apresenta 9 localidades com tendência estatisticamente significante, todas com aumento com 99% de confiabilidade (Fortaleza, Quixeramibim e Guaramiranga – CE, Florânia – RN, Recife e Surubim – PE), com 98% de confiabilidade a cidade de Iguatú – CE e com 95% (Monteiro – PB e Sobral – CE). A temperatura máxima absoluta, ou seja, a maior temperatura observada em um ano apresentou resultados de tendências conflitantes como os demais parâmetros de temperatura, pois, verificou-se 12 localidades com coeficientes de regressão estatisticamente significante, sendo 5 com tendência de aumento (Crateús e Fortaleza – CE, Mossoró – RN, Campina Grande – PB e Petrolina – PE) e 7 de diminuição

(Iguatu, Morada Nova e Sobral – CE, Florânia – RN, Monteiro e São Gonçalo – PB e Floresta – PE) o que é conflitante com os demais resultados observados.

Para precipitação total anual foi observada uma localidade com tendência de aumento na cidade de Iguatu – CE e outra com diminuição em Petrolina - PE, e assim mesmo com significância de 90%. Já a evaporação total anual verificou-se 7 localidades com tendência de aumento (Sobral, Crateús e Guaramiranga – CE, São Gonçalo e João Pessoa – PB, Floresta e Recife – PE) e 2 com diminuição (Barbalha – CE e Garanhuns – PE) detalhes na Tabela 1.

Tabela 1 – O número inferior para cada variável climatológica representa os coeficientes angulares de regressão (tendência) e o número superior ao valor do t calculado através do teste de Student para cada localidade e o correspondente número de anos utilizados das variáveis: umidade relativa do ar (Umidade), temperatura máxima média anual (T. Máx), temperatura mínima média anual (T. Mín), temperatura do ar média anual (T. Méd), Temperatura máxima absoluta anual (T. Máx Abs), temperatura mínima absoluta anual (T. Mín Abs), precipitação pluvial total anual (Precip.) e evaporação total anual medida no tanque classe A (evap). Ausência de valores (-----). Os números em negritos significam confiabilidade de 99%, os vermelhos 98%, azuis 95% e marrom 90%.

Localidade	Nº de Anos	Umidade	T. Máx	T. Mín	T. Méd	T.Máx Abs	T.Mín Abs	Precip.	Evap.
Apodi	23	0.773	0.795	0.461	0.721	0.513	1.570	1.064	0.372
		-0.0821	0.0181	0.0068	0.0125	0.0082	0.0328	9.9399	-5.7016
Barbalha	24	0.388	1.322	<b>4.824</b>	<b>2.813</b>	1.230	0.447	0.995	<b>2.162</b>
		-0.0497	0.0277	<b>0.0636</b>	<b>0.0426</b>	0.03	0.0152	11.211	<b>-19.018</b>
Campina Grande	30	<b>5.662</b>	<b>5.791</b>	<b>5.788</b>	<b>7.007</b>	<b>2.627</b>	1.513	0.524	-----
		<b>-0.2015</b>	<b>0.0496</b>	<b>0.0357</b>	<b>0.0423</b>	<b>0.036</b>	0.0231	-0.5265	-----
Ceará Mirim	23	<b>1.830</b>	<b>2.924</b>	<b>3.688</b>	<b>3.611</b>	1.213	1.571	0.604	0.990
		<b>0.0984</b>	<b>0.0315</b>	<b>0.037</b>	<b>0.0351</b>	0.0201	0.0393	-7.3491	7.0091
Crateús	26	1.645	<b>2.306</b>	0.675	1.132	<b>3.396</b>	1.212	0.552	<b>3.419</b>
		-0.2032	<b>0.0415</b>	0.0105	0.0221	<b>0.0379</b>	0.0354	-4.3088	<b>50.396</b>
Cruzeta	22	<b>3.283</b>	0.673	1.071	1.322	0.016	0.846	0.145	-----
		<b>-0.5423</b>	0.0142	0.0209	0.0227	0.0002	0.0202	-1.43	-----
Florânia	26	1.455	1.042	<b>2.124</b>	0.182	<b>3.020</b>	<b>3.081</b>	0.225	0.834
		0.1561	-0.0208	<b>0.0271</b>	0.0028	<b>-0.0423</b>	<b>0.0722</b>	-2.0904	15.121
Floresta	27	1.019	<b>2.103</b>	<b>3.585</b>	0.062	<b>2.926</b>	1.107	1.613	<b>1.883</b>
		-0.1053	<b>-0.0349</b>	<b>0.0341</b>	-0.0009	<b>-0.0485</b>	0.0281	8.751	<b>19.996</b>
Fortaleza	30	1.054	<b>2.128</b>	<b>3.594</b>	<b>3.185</b>	<b>1.846</b>	<b>3.099</b>	0.764	0.346
		0.0639	<b>0.0161</b>	<b>0.0252</b>	<b>0.0179</b>	<b>0.0208</b>	<b>0.0425</b>	-8.711	1.8719
Garanhuns	25	0.284	1.638	0.083	<b>2.602</b>	1.428	0.530	0.467	<b>1.820</b>
		-0.0182	0.0248	-0.0002	<b>0.0307</b>	0.0348	-0.0155	2.1996	<b>-5.8122</b>
Guaramiranga	30	<b>3.279</b>	<b>2.543</b>	<b>11.650</b>	0.026	1.082	<b>4.436</b>	0.562	<b>3.883</b>
		<b>-0.2162</b>	<b>-0.0397</b>	<b>0.0754</b>	0.0011	-0.0358	<b>0.1107</b>	-5.3492	<b>19.862</b>
Iguatú	27	0.063	0.630	1.214	0.298	<b>2.091</b>	<b>2.617</b>	<b>1.755</b>	-----
		-0.0079	-0.0125	0.011	-0.0018	<b>-0.0245</b>	<b>0.07</b>	<b>15.201</b>	-----
João Pessoa	18	1.692	<b>3.160</b>	0.260	1.540	0.286	0.247	0.998	<b>2.606</b>
		-0.0919	<b>0.0361</b>	0.0066	0.0208	0.0075	-0.01	29.166	<b>29.334</b>
Monteiro	18	<b>1.893</b>	0.899	<b>3.986</b>	<b>2.354</b>	<b>2.126</b>	<b>2.020</b>	0.074	0.621
		<b>-0.1996</b>	0.0197	<b>0.0583</b>	<b>0.0268</b>	<b>-0.0385</b>	<b>0.0805</b>	0.5151	-8.0855
Morada Nova	28	<b>1.892</b>	<b>1.990</b>	0.539	<b>2.282</b>	<b>4.953</b>	0.041	0.872	-----
		<b>0.1787</b>	<b>-0.0361</b>	-0.0053	<b>-0.0291</b>	<b>-0.0437</b>	-0.0008	6.2075	-----
Mossoró	21	0.350	<b>1.842</b>	<b>2.187</b>	<b>2.269</b>	<b>2.457</b>	1.190	0.126	0.219
		-0.0613	<b>0.0516</b>	<b>0.0542</b>	<b>0.0532</b>	<b>0.0491</b>	0.0482	1.9799	-2.9615
Pesqueira	21	<b>1.919</b>	0.496	0.977	0.705	0.320	0.819	0.844	1.411
		<b>0.1151</b>	0.0099	0.0095	0.0099	0.0168	0.0243	-6.4812	15.647
Petrolina	24	0.892	<b>1.939</b>	1.087	<b>1.943</b>	<b>2.740</b>	0.391	<b>1.786</b>	1.137
		-0.1003	<b>0.0308</b>	0.0143	<b>0.0294</b>	<b>0.0557</b>	0.0149	<b>-9.9239</b>	13.96
Quixeramobim	30	0.277	1.015	1.007	<b>2.711</b>	1.350	<b>3.754</b>	0.355	1.150
		-0.0237	0.0165	0.01	<b>0.0322</b>	-0.0167	<b>0.0713</b>	-2.134	13.337
Recife	30	0.130	<b>3.180</b>	<b>2.932</b>	<b>4.468</b>	0.926	<b>2.942</b>	0.336	<b>5.581</b>
		-0.0341	<b>0.0163</b>	<b>0.0276</b>	<b>0.0206</b>	0.003	<b>0.0368</b>	-5.2818	<b>29.957</b>
Sobral	28	1.432	1.195	<b>2.682</b>	0.084	<b>2.065</b>	<b>2.125</b>	0.110	<b>3.412</b>
		-0.158	-0.0213	<b>0.046</b>	-0.0015	<b>-0.0306</b>	<b>0.0552</b>	0.9543	<b>31.064</b>
São Gonçalo	30	<b>4.982</b>	1.045	<b>6.614</b>	<b>2.151</b>	<b>2.965</b>	<b>4.865</b>	0.421	<b>4.016</b>
		<b>-0.3017</b>	-0.0117	<b>0.0487</b>	<b>0.0184</b>	<b>-0.0295</b>	<b>0.1011</b>	-2.7717	<b>32.591</b>
Surubim	29	<b>3.878</b>	0.634	<b>2.102</b>	0.630	0.855	0.455	0.097	-----
		<b>0.1933</b>	0.0087	<b>0.0116</b>	-0.0035	-0.0173	0.0126	-0.4771	-----
Triunfo	19	1.210	1.249	<b>2.509</b>	<b>1.966</b>	0.164	1.452	0.745	0.488
		-0.1899	0.0347	<b>0.0342</b>	<b>0.0432</b>	0.0051	0.0321	13.942	-6.5477

## 5.1 Temperatura Máxima

A análise regressão por meio de Teste de significância do coeficiente angular da reta ajustada a série histórica da temperatura máxima, mostrou tendência significativa de aumento em praticamente toda área. Nota-se tendências significativas em todo litoral da região, desde Fortaleza até o Recife representado pelo símbolo **S** abaixo dos valores do coeficiente angular no mapa. Também é merecedor de destaque o Agreste Paraibano, a parte oeste do Sertão Central do Ceará e o noroeste do Rio Grande do Norte. Nessas áreas, os valores das tendências são relativamente altos, superiores a  $0,04^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ , o que pode acarretar um aumento de temperatura superior a  $1^{\circ}\text{C}$  em algumas localidades num período de 30 anos, principalmente, em Mossoró - RN que apresentou a maior tendência de aumento, com um valor de  $0,052^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ , o que significa 0,52 graus em uma década. Estes resultados concordam com os de Vincent et al (2006) que encontraram aumento de temperatura superior a  $1^{\circ}\text{C}$  em 30 anos em outras regiões do Brasil. Ressalta-se, que nem todas as áreas apresentaram tendências de aumento, pois, nas microrregiões Guaramiranga e Morada Nova, no Ceará, Floresta em Pernambuco ocorreram tendências de diminuição da temperatura máxima média anual (Figura 2).

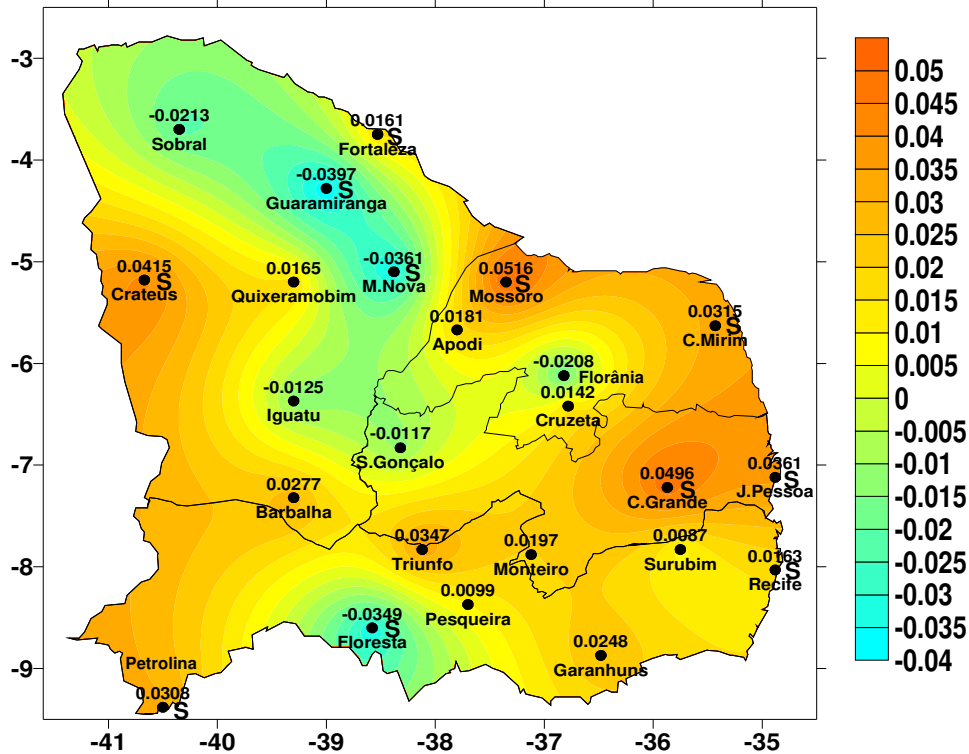


Figura 2. Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da temperatura máxima média anual (°C/ano). S representa os valores estatisticamente significativos.

## 5.2 Temperatura Mínima

A configuração das tendências da temperatura mínima média anual, em °C/ano, para o Nordeste Setentrional é mostrada na Figura 3. De um modo geral, observa-se uma tendência de aumento nos quatro estados analisados, com destaque as cidades de Guaramiranga e Barbalha, no Ceará, Monteiro e São Gonçalo na Paraíba e parte oeste do litoral norte do Rio Grande do Norte que apresentaram tendências superiores a 0,05°C/ano. Em Guaramiranga ocorreu uma taxa de aumento de 0,075°C/ano, que corresponde a uma elevação da temperatura mínima superior a 2,0°C em 30 anos. Observou-se tendência de diminuição, apenas, em Morada Nova no Estado do Ceará, em que a taxa de diminuição foi de -0,005°C/ano, porém, este valor não foi estatisticamente significativo. Portanto, pode-se



afirmar que em todo o Nordeste Setentrional ocorreu aumento da temperatura mínima média anual, no período de 1961 a 1990. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Vincent et al. (2006) que encontraram aumento de temperatura superior a 1°C em 30 anos em outras regiões do Brasil.

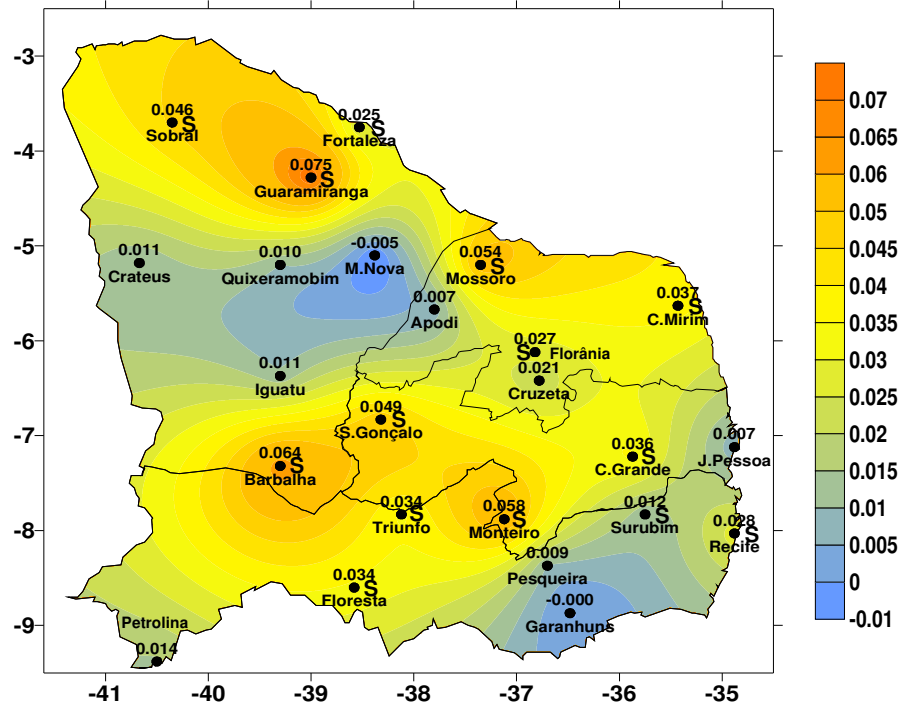


Figura 3. Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da temperatura mínima média anual (°C/ano). S representa os valores estatisticamente significativos.

### 5.3 Temperatura Média

Na Figura 4 observa-se uma tendência de aumento de temperatura média praticamente igual ao da temperatura mínima em todo Nordeste Setentrional. Destacando a região do litoral norte do Rio Grande do Norte, a cidade de Campina Grande na Paraíba, Quixeramobim e Barbalha, no Ceará, e Garanhuns no Pernambuco. Nestas áreas a taxa de aumento foi superior a 0,03°C, que representa um aumento de pelo menos 1°C na

temperatura média no Nordeste setentrional. Taxa de declínio de temperatura foi observada apenas em Morada Nova, no Ceará. Os valores negativos observados em Sobral e Iguatu, no Ceará, e em Surubim e Florestas, em Pernambuco não apresentam significância estatística.

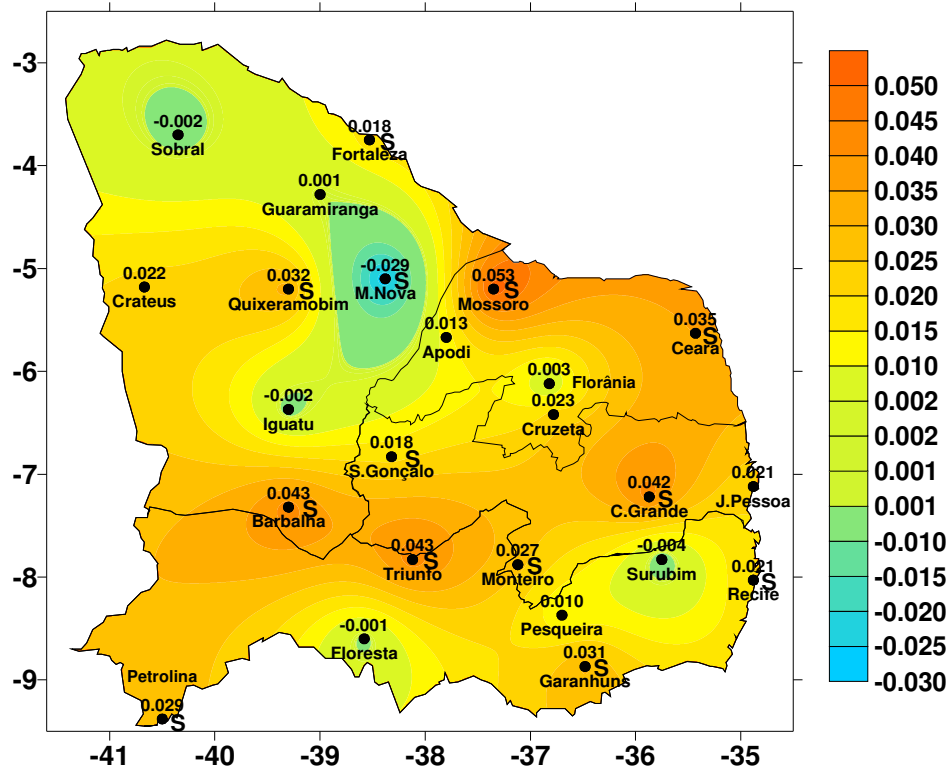


Figura 4. Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da temperatura média anual (°C/ano). S representa os valores estatisticamente significativos.

#### 5.4 Temperatura Máxima Absoluta

As tendências da temperatura máxima absoluta anual, para o período de 1961 a 1990, no Nordeste setentrional é mostrada na Figura 5. Ressalta-se de que ao contrário do observado para a temperatura máxima média anual que apresentou aumento da temperatura em quase todo Nordeste, a máxima absoluta apresenta uma grande área com taxa de

decaimento, principalmente na parte central da região, em uma faixa nas direções noroeste e sudeste, que se estende do Vale do Acaraú, no Ceará, ao Cariri Paraibano, ou seja, de Sobral até Monteiro, bem como em dois núcleos isolados, Florânia no Seridó do Rio Grande do Norte e o outro em Floresta, no Pernambuco (Figura 5). Os valores positivos, ou seja, tendências de aumento foram observadas no litoral de Fortaleza ao Recife, no Agreste Pernambucano e em todo centro oeste do Ceará. Com destaque para região de Petrolina, com a taxa de decaimento de 0,055°C/ano.

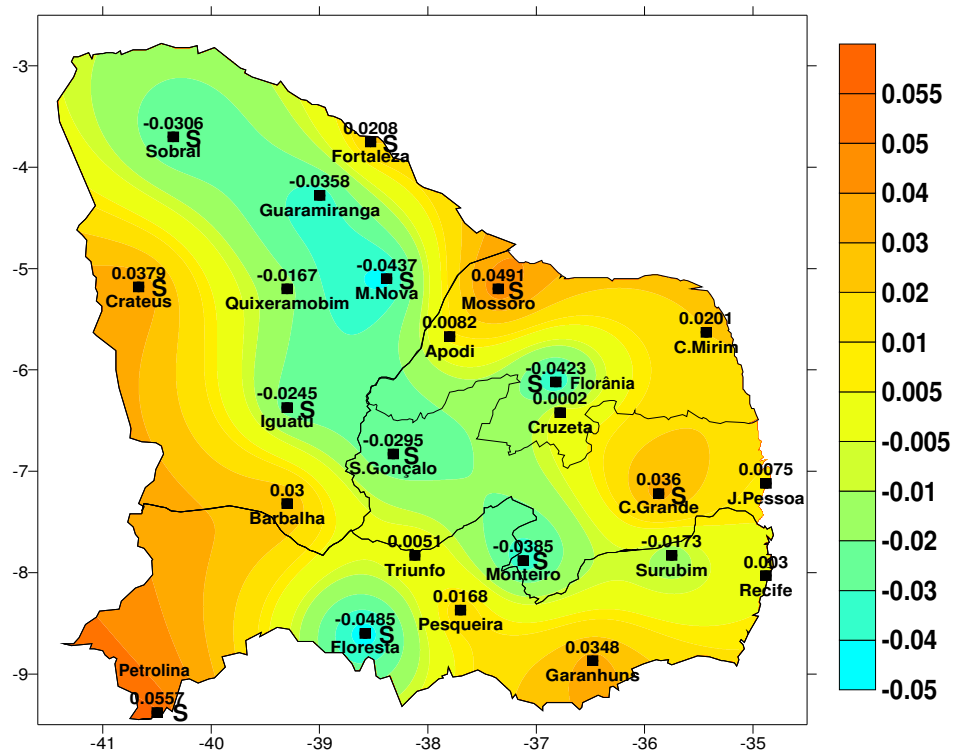


Figura 5. Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da temperatura máxima absoluta anual (°C/ano). S representa os valores estatisticamente significativos.

### 5.5 Temperatura Mínima Absoluta

Ao contrário das temperaturas máximas absolutas que de um modo geral não apresentaram uma tendência estatisticamente significativa dominante. Observa-se

claramente na Figura 6 que as temperaturas mínimas absolutas mostraram tendências positivas, ou seja, de aumento, em quase todo Nordeste Setentrional. Também é observada uma configuração quase inversa das temperaturas máxima absoluta, uma vez que os maiores aumentos ocorreram no interior da Região, predominando em uma faixa na direção noroeste e sudeste, que se estende de Sobral a Monteiro, e em dois núcleos isolados em Florânia no Seridó do Rio Grande do Norte e o outro de menor intensidade no Recife, em Pernambuco. Estes resultados mostram que a amplitude térmica anual, ao longo dos 30 anos, diminuiu de aproximadamente 3°C no interior do Nordeste Setentrional (Figuras 3 e 4).

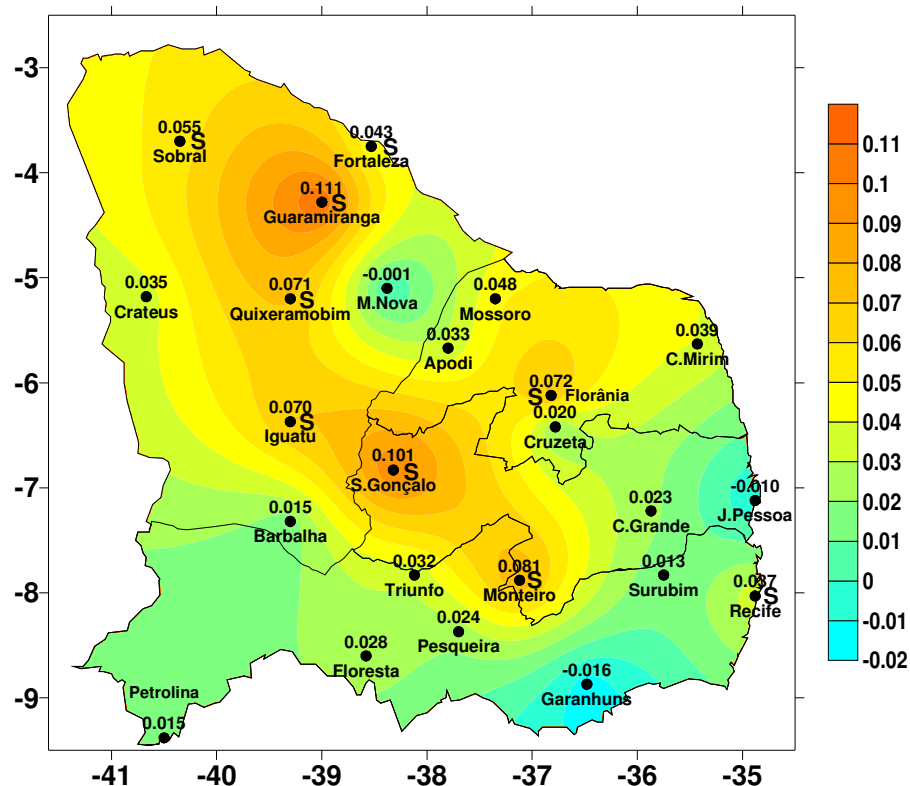


Figura 6. Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da temperatura mínima média anual (°C/ano). S representa os valores estatisticamente significativos.

## 5.6 Umidade Relativa

Na Figura 7 observa-se que, no período de 1961 a 1990 a umidade relativa apresentou uma tendência de queda na maior parte da Região Nordeste Setentrional, com maior destaque para Região do Seridó do Rio Grande do Norte na cidade de Cruzeta, com um decaimento de aproximadamente  $-0.55\%$  ao ano. Este resultado de diminuição da umidade relativa está associado ao de aumento da temperatura do ar, pois, para o mesmo conteúdo de vapor d'água na atmosfera, quanto maior a temperatura menor é a umidade relativa. Entretanto, ainda foram observadas tendências de aumento da umidade relativa em localidades isoladas. Porém, o padrão de configuração principal foi de decréscimo, como pode ser facilmente observado na Figura 7.

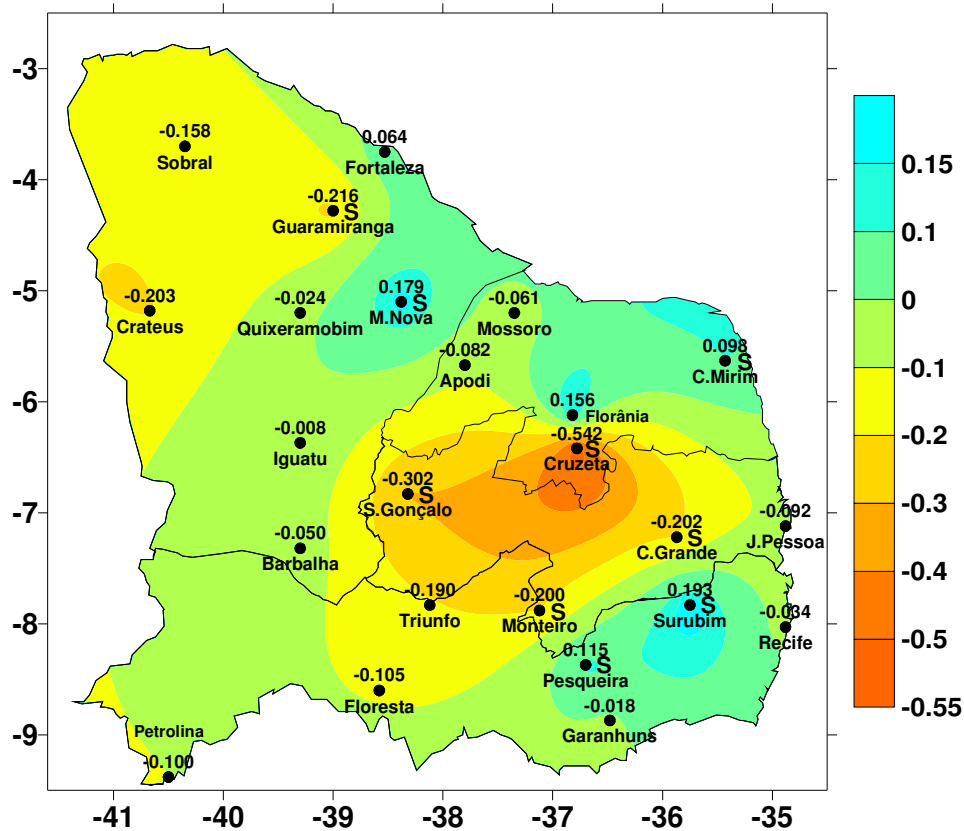


Figura 7. Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da umidade relativa do ar (%/ano). S representa os valores estatisticamente significativos.

## 5.7 Precipitação

A configuração da tendência da precipitação (mm/ano) para o Nordeste Setentrional é mostrada na Figura 8. Observou-se pela análise de regressão, por meio do Teste de significância do coeficiente angular que a série de precipitação não pode ser considerada homogênea, isto é, que não apresentam tendências. Segundo Yevjevich (1972) uma série é dita homogênea quando os dados vêm da mesma população e assim não há alteração nos parâmetros. Devido a não identificação de tendências estatisticamente significativas, com exceção de dois pontos isolados, não se verifica um padrão de configuração de tendência de aumento ou diminuição da precipitação. Esses valores são consistentes, embora superiores aos encontrados por Santos (2006) que analisou tendências na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba. Ressalta-se que devido a não observância de estatística confiável não é possível fazer conclusões sobre tendências de totais anuais de chuvas sobre os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

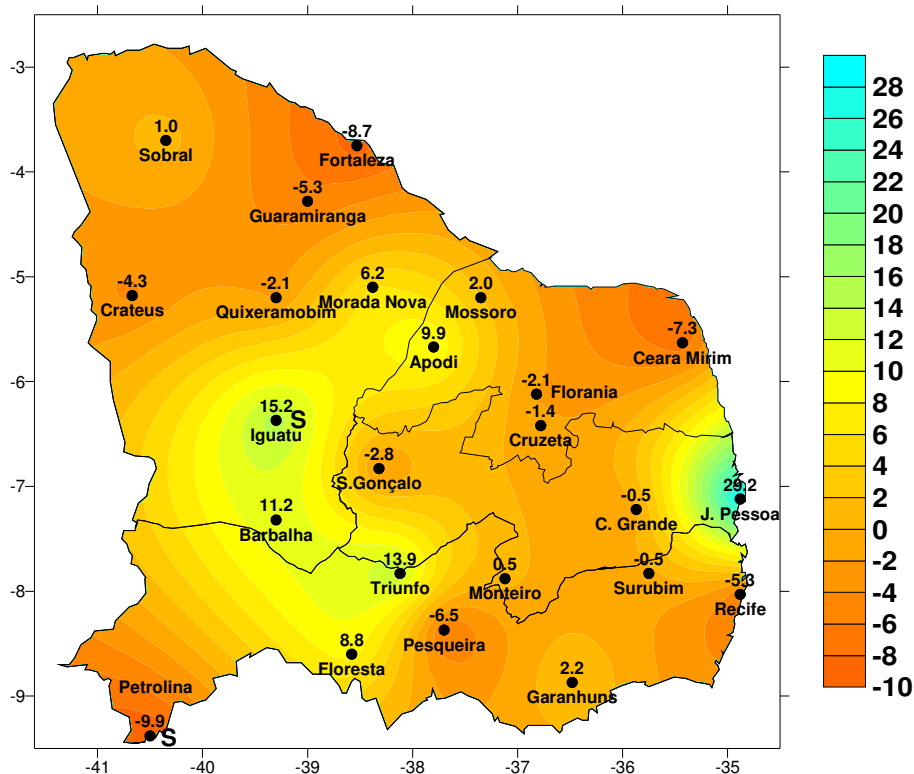


Figura 8. Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da precipitação pluvial total anual (mm/ano). S representa os valores estatisticamente significativos.

### 5.8 Evaporação

A Figura 9 mostra a configuração da variação espacial da tendência da evaporação medida no Tanque Classe A, no período de 1961 a 1990, no Nordeste Setentrional. Observa-se um padrão de aumento da evaporação em quase toda área, com destaque para a parte oeste do Sertão Central do Ceará em Crateús e São Gonçalo no Sertão da Paraíba, onde a taxa de aumento foi de aproximadamente 50 mm/ano e 32 mm/ano. Este aumento na evaporação possivelmente se deve ao aumento observado na temperatura do ar, uma vez que o ar mais aquecido tem uma capacidade maior de absorver vapor d'água. Todavia, foram observadas diminuições da evaporação em algumas áreas, tais como Barbalha no Ceará e Garanhuns no Pernambuco, que são regiões de topografia relativamente elevada.

Também se observou decaimento da evaporação em Monteiro, na divisa como Pernambuco, porém, o valor obtido de aproximadamente -8 mm/ano não é estatisticamente significativo. Embora, as áreas mais elevadas da Paraíba e Pernambuco apresentaram tendências de diminuição da evaporação, possivelmente, nesses Estados a topografia atuou como um freio aos efeitos do aumento da evaporação resultante da elevação da temperatura.

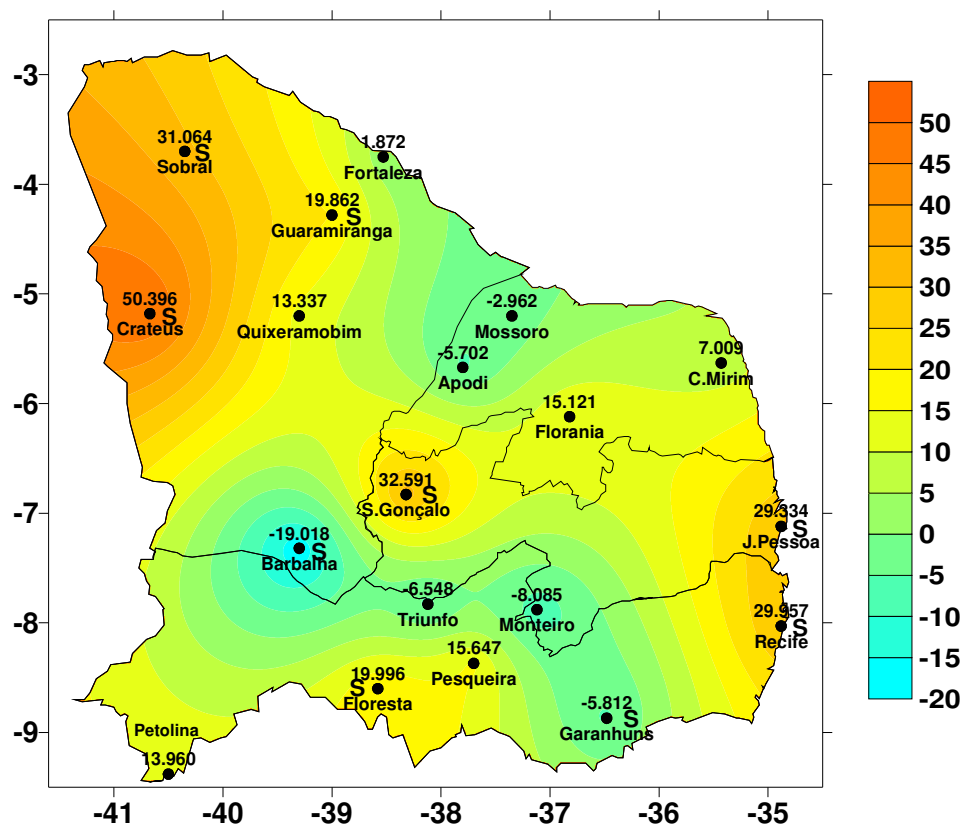


Figura 9. Mapa do Nordeste Setentrional mostrando as tendências da evaporação total anual medida no tanque classe A (mm/ano). S representa os valores estatisticamente significativos.



## 6 CONCLUSÕES

- 1) Tomando como base as tendências observadas nas estações do Nordeste Setentrional pode ser concluído que ocorreu um aumento nas temperaturas mínimas e médias e mínimas absolutas anuais nos quatro estados do Nordeste Setentrional e que as noites nesses estados estão mais aquecidas.
- 2) A temperatura máxima absoluta anual não apresentou tendência predominante de decaimento nem de aumento, em quase toda região estudada. Porém, na parte central ocorreu uma tendência de diminuição. Portanto, pode ser concluído que houve uma diminuição da amplitude térmica anual da temperatura no interior dos quatros Estados.
- 3) Com o aumento das temperaturas médias e mínimas ocorreu uma diminuição da umidade relativa do ar.
- 4) Com o aumento da temperatura do ar e diminuição da umidade relativa ocorreu uma tendência de aumento da evaporação.
- 5) A precipitação não apresentou tendências, estatisticamente significativas.
- 6) O clima do Nordeste Setentrional ficou mais quente, principalmente as noites. Portanto, ocorreu uma mudança climática na Região.
- 7) A análise regressão é adequada na identificação de Tendências de séries Temporais.

## **7 SUGESTÕES**

Para estudos futuros sugeri-se que:

Devem-se fazer estudos estatísticos de tendências climatológicas para as variáveis analisadas utilizando um período superior a 30 anos incluindo períodos mais recentes. Já que flutuações no clima em períodos de 30 a 35 anos não podem ser considerados como mudanças climáticas

Pesquisas futuras devem ser feitas para outros estados da região Nordeste e regionalizando em meso e microrregiões.

Também devem ser realizadas investigações usando outros métodos diferentes do mínimo quadrado, tais como os métodos não paramétricos.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. L. **Uso de modelos de circulação geral da atmosfera para simular o clima e a variabilidade climática.** In: João Lima Sant'Anna Neto; João Afonso Zavatim. (Org.). Variabilidade e Mudanças Climáticas. 1a ed. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2000, v., p. 83-93.

ALVES, J. M. B.; CAMPOS, J. N. B.; SOUZA, E. B.; REPELLI, C. A. Produção Agrícola de Subsistência no Estado do Ceará com Ênfase aos anos de Ocorrência de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 249-256, 1998.

ALVES, J. M. B.; KAYANO, M. T. Estudos Preliminares da Precipitação no Sul do Ceará durante a Pré-Estação das Chuvas. **Climanálise**, 6, 42-50, 1991.

ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. The Rainfall Variability Over the Northeast Brazil Region and the ENSO events. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 7 (2), 583-592, 1992.

AMBIENTE BRASIL. Disponível em [www.ambientebrasil.com.br](http://www.ambientebrasil.com.br), acessado em setembro de 2007.

AMS (Adopted by AMS Council on 9 February 2003). **Climate Change Research: Issues for the Atmospheric and Related Sciences.** *Bull. Amer. Met. Soc.*, 84, 508-515.

BOTTA, A., N. RAMANKUTTY, J. A. FOLEY. **Long-Term Variations of Climate and Carbon Fluxes Over the Amazon Basin,** *Geophysical Research Letters*, 29 (9), 2002.

BRAGA, C. C; BRITO, J.I.B.; SANSIGOLO, C.A.; RAO,T.V.R. Tempo de resposta da vegetação às variabilidade sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, p. 149-157, 2003.

BRUNI, A. L. **Estatística Aplicada à Gestão Empresarial.** – São Paulo: Atlas, 2007

CONTI, J. B. **Considerações sobre mudanças climáticas globais.** In: *Variabilidade e Mudanças Climáticas.* Maringá: Universidade Estadual de Maringá, p. 17-28, 2000.

DA SILVA, D. F. **Variabilidade Espacial e Temporal de Componentes dos Balanços de Água e de Energia sobre a Bacia do Rio São Francisco com Ênfase para a Região da ZCAS.** Dissertação de Mestrado em Meteorologia, UFCG, Campina Grande – PB, 131p, 2005.

GAISER, T., KROL, M.S., FRISCHKORN, H., DE ARAÚJO, J.C. Water Availability and Vulnerability of Ecosystems and Society in the Semi-arid Northeast of Brazil. Springer-Verlag. **Global Change and Regional Impacts.** 2003.

GILBERTO, R. O. **Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1983, 320p, 1983.

HASTENRATH, S. Interannual Variability and Annual Cycle: Mechanisms of Circulation and Climate in the Tropical Atlantic. **Monthly Weather Review**, 112, 1097-1107. 1984.

HASTENRATH, S., LAMB, P. **Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans**. University of Wisconsin Press, 113 pp, 1977.

HOUGHTON, J. T., Y. DING, D. J. GRIGGS, M. NOGUER, P. J. VAN DER LINDEN, X. DAI, K. MASKELL, C. A. JOHNSON, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press, 892 pp.

IPCC. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

KAZMIER, L. J. **Estatística Aplicada a Economia e Administração**; São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982. (Coleção Schaum)

KOUSKY, V. E.: Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. **108**, 488-498, 1980.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, 1142-1153, 1979.

KOUSKY, V. E., CHU, P.S. Flutuations in annual rainfall for Northeast Brazil. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 56, 457- 465, 1978.

KROL, M. S., BRONSTERT, A. Regional integrated modelling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. **Environmental Modelling & Software**, 22, 259-268, 2007.

MARENGO, J., UVO, C. Long-term streamflow and rainfall fluctuations in tropical South America: Amazonia, Eastern Brazil and Northwest Peru (to be submitted to **Journal of Geophysical Research**), 1996.

McCARTHY, J. J.; CANZIANI, O. F.; LEARY, N. A.; DOKKEN, D. J.; WHITE, K. S. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press, 2001, 1032 pp.

MEDEIROS, E. J. R; CAMPOS, R. T. Avaliação socioeconômica do Programa Reforma Agrária Solidária nos municípios de Iguatu e Quixeramobim - Estado do Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.40, n.4, p. 823-856 , 2002.

MENEZES, H. E. A.; SILVA, R. M.; ALVES, L. M.; CAMARGO JÚNIOR, H. Análise Subjetiva da Simulação de Precipitação do Modelo Eta Climático para o Nordeste do Brasil no Período entre Janeiro e Março de 2003. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XIII, 2003, Santa Maria-RS. **Anais**: Santa Maria-RS: SBA, 2003a, p. 811-12.

MEYER, P.L. **Probabilidade: Aplicações à Estatística**. LTC, São Paulo, 2000, 426p

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. **Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro**. Brasília, 2005. 35p.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma Revisão das Chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 01, p. 1-10, 2002.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global: fato ou ficção. **Ação Ambiental**, v. IV, nº 18, p.19-21, 2001.

MOLION, L. C. B. Um século e meio de aquecimento global? **Cadernos de Geociências**, n. 15, p. 45-56. 1995.

MOURA, A. D., SHUKLA, J. On the dynamics of the droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal Atmospheric Science**, v. 38, n. 12, p. 2653-2673, 1981.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of Sea Surface Temperatures, wind Stress, and Rainfall over the Tropical Atlantic and South American. **Journal of Climate**, v. 9, n. 10, p. 2464-2479. 1996.

RAO, V.B., LIMA, M., FRANCHITO, S.H.: Seazonal and Interannual Variations of

Rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, 6, 1754-1763, 1993.

SANTOS, C.A.C. **Estimativas e Tendências de Índices de Detecção de Mudanças Climáticas com Base na Precipitação Diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba**. Campina Grande. 115p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. 2006.

SILVA, M. C. L. Uso da Técnica dos Quantis para Monitoramento do Clima do Estado da Paraíba. Campina Grande, 2004, 33p. **Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Meteorologia** – Universidade Federal de Campina Grande.

SOARES, F.R.; BRITO, J.I.B. Estudo da Variabilidade Interanual da Aridez e da Vegetação (IVDN) da Região do Seridó do Rio Grande do Norte e Paraíba. IN: **III Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande**. Campina Grande. CD-ROM. 2006.

SPIEGEL, M. R. Estatística. **Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda**, São Paulo - SP. Coleção Schaum. 581p. 1977.

STEINKE, E. T. Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público. 2004. xviii, 201 p., 297 mm (ECO/IBUnB, (Doutor, Ecologia, 2004). Tese de Doutorado - Universidade de Brasília. Instituto de Biologia. Departamento de Ecologia, 2004.



TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e dos usos do solo nos recursos hídricos**. Brasília: ANA, 150 p. Relatório técnico, 2002.

UVO, C. B.; REPELLI, C. A.; ZEBIAK, S. E. E KUSHNIR, Y. The relationship Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil monthly precipitation. **Journal of Climate**, vol. 11, abril, 1998.

VINCENT, L. A.; PETERSON, T. C.; BARROS, V. R.; MARINO, M. B., RUSTICUCCI, M.; CARRASCO, G.; RAMIREZ, E.; ALVES, L. M.; AMBRIZZI, T.; BERLATO, M. A.; GRIMM, A. M.; MARENGO, J. A.; MOLION, L.; MONCUNILL, D. F.; REBELLO, E.; ANUNCIÇÃO, Y. M. T.; QUINTANA, J.; SANTOS, J. L.; BAEZ, J.; CORONEL, G.; GARCIA, J.; TREBEJO, I.; BIDEGAIN, M.; HAYLOCK, M. R.; AND KAROLY, D.; **Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960–2000**, dezembro de 2005.

WILKS, S. D. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. Academic Press, San Diego, 1995. 467 p.

WWF-BRASIL. Disponível em [www.wwf.org.br](http://www.wwf.org.br), acessado em outubro de 2007.

## 9 ANEXOS

Anexo - Proporções de área para as distribuições t

Graus de Liberdade	Níveis de Significância				
	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005
df					
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756
30	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704
60	1,296	1,671	2,000	2,390	,660
120	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617
.....	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576

Fonte: Do Apêndice 6 de Kazmier, L. J. Estatística Aplicada a Economia e Administração; São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982 (Coleção Schaum).