

**MODULAÇÃO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR DO PACÍFICO E  
ATLÂNTICO TROPICAL NA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DA PARAÍBA**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

C416m Cerqueira, Hallan David Velasco.  
Modulação da temperatura da superfície do mar do Pacífico e Atlântico Tropical na precipitação no Estado da Paraíba / Hallan David Velasco Cerqueira. — Campina Grande, 2010.  
112 f.: il. color.

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

Referências.

Orientadoras: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Célia Campos Braga, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Isabel Vitorino.

1. Precipitação. 2. Transformada em Ondeleita. 3. Espectro Global. 4. Sistemas Atmosféricos. 5. Escala Anual. 6. ENOS. 7. Dipolo do Atlântico. I. Título.

CDU 551.515.4(043)



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

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**MODULAÇÃO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR DO PACÍFICO E  
ATLÂNTICO TROPICAL NA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DA PARAÍBA**

**HALLAN DAVID VELASCO CERQUEIRA**

**CÉLIA CAMPOS BRAGA**

Orientadora

**MARIA ISABEL VITORINO**

co-orientadora

Campina Grande – PB, Março de 2010

**MODULAÇÃO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR DO PACÍFICO E  
ATLÂNTICO TROPICAL NA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DA PARAÍBA**

**HALLAN DAVID VELASCO CERQUEIRA**

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

**Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas**

**Linha de pesquisa: Climatologia**

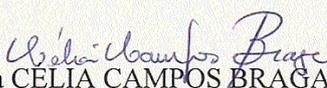
Campina Grande – PB, Março de 2010

HALLAN DAVID VELASCO CERQUEIRA

MODULAÇÃO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR DO PACÍFICO E  
ATLÂNTICO TROPICAL NA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DA PARAÍBA

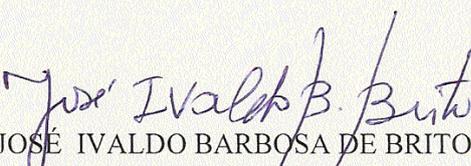
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/03/2010

BANCA EXAMINADORA

  
Profa. Dra. CÉLIA CAMPOS BRAGA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Prof.ª. Dra. MARIA ISABEL VITORINO  
Faculdade de Meteorologia  
Universidade Federal do Pará

  
Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

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

*Aos meus pais José e Lindinalva Cerqueira  
e a minha esposa Andréa Cerqueira*  
**Ofereço**

*Ao altíssimo Rei e Senhor Jesus*  
**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro a Deus, por ser o que é e por nunca me deixar abater em meio às adversidades sempre me dando forças para continuar lutando e vencendo.

As minhas queridas orientadoras professora Célia e Maria Isabel pela paciência, pelos ensinamentos dispensados e pela orientação na realização deste trabalho.

A CAPES pelo apoio financeiro e ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia da UFCG pela oportunidade de realização do curso.

À Divanete pela ajuda, paciência e competência na resolução dos problemas do dia a dia do curso.

À minha família pelo apoio e incentivo aos estudos.

À minha esposa Andréa pelo amor e compreensão em todos os momentos.

Ao meu grande amigo Ronaldo e sua família (Ruth, Humberto e Tainá) que foram uma segunda família nesse momento da minha vida.

Aos amigos da pós-graduação: Jefferson, Glayson, Vanessa, Roberta, David, Nilzele, Ana Paula e Leandro pelos momentos divertidos, pela ajuda e companheirismo.

À UACA, AESA, SUDENE e NCEP pela disponibilidade de dados utilizados na realização deste trabalho.

*O temor do Senhor é o  
princípio do conhecimento,  
mas os loucos desprezam a  
sabedoria e a compreensão.  
(Provérbios 1:7).*

*Bem - aventurado o homem que  
encontra sabedoria,  
e o homem que adquire  
conhecimento,  
pois ela é mais proveitosa do  
que a prata,  
e dá mais lucros do que o  
ouro.  
(Provérbios 3:13-14)*

## RESUMO

Este estudo objetiva fazer uma análise diagnóstica da precipitação mensal (PRP) no estado da Paraíba e relacioná-las com a temperatura da superfície do mar (TSM). Para isso foram utilizadas séries temporais de regiões homogêneas de precipitação e séries temporais (ST) de temperaturas dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical para o período de 1962 a 2007. Empregou-se o método de Transformada em Ondeletas (TO) em diferentes níveis de resolução temporal, tempo-escalas para determinar as componentes da variabilidade dominante da precipitação e TSM nas diferentes regiões do Estado. Para avaliar a eficácia da aplicação TO as séries temporais da precipitação selecionaram-se o ano anômalo de 2004. A aplicação da TO na PRP mostrou que no espectro global de energia da ondeleta o ciclo anual é intenso em todas as regiões homogêneas do estado. Além da escala anual, observaram-se interações complexas de oscilações em outras escalas de tempo, tais como: mensal, intrasazonal, semi-anual, bianual e decadal. A análise da TSM do Pacífico apresenta a escala anual mais expressiva na parte leste do oceano, decrescendo no sentido leste-oeste, onde a escala decadal se torna acentuada. Já para o Atlântico as análises de TSM indicam basicamente duas oscilações: uma na escala anual e outra na escala decadal. A TSM do Pacífico relacionou-se melhor com a PRP em eventos mais intensos do El Niño/Oscilação Sul (ENOS), e o Dipolo do Atlântico (DPA) com as chuvas no setor oeste do estado. A TO aplicada ao estudo de caso identificou escalas de sistemas atmosféricos que provocaram as precipitações de janeiro e fevereiro de 2004, onde a ZCIT interagiu fortemente com as ZCAS e VCANs, produzindo chuvas abundantes na estação chuvosa do estado.

## **ABSTRACT**

This study aims to make a diagnostic analysis of monthly precipitation (PRP) in the state of Paraíba and relate them to the sea surface temperature (SST). For this we used time series of homogeneous regions of precipitation and surface temperatures of Pacific Ocean and Tropical Atlantic oceans for the period 1962 to 2007. We employ the method of Wavelet Transformation (WT) at different levels of temporal resolution - time scales to determine the dominant components of the variability of precipitation and SST in different regions of the state. To evaluate the efficacy of applying WT precipitation time series we selected the anomalous year 2004. The application of WT in PRP showed that the overall spectrum of wavelet energy for the annual cycle is strong across all regions of the state. In addition to the annual scale, there were complex interactions of fluctuations in other time scales such as monthly, intraseasonal, semi-annual, biennial and decadal. Analysis of SST of the Pacific presents the most significant annual scale in the eastern part of the ocean, decreasing from east to west, where the decadal scale becomes pronounced. The Atlantic SST analysis indicate basically two variations: an annual scale and another at decadal scale. The SST of Pacific is better related to PRP of more intense events of El Niño / Southern Oscillation (ENSO) and Atlantic Dipole (ADP) with the rains in the western sector state. WT applied to the case study identified scales of atmospheric systems which caused the precipitation in January and February 2004, which strongly interacted with the ITCZ and the SACZ, VCANs, producing abundant rains in the rainy season in the state.

**SUMÁRIO**

	<b>Pag.</b>
LISTA DE FIGURAS.....	XIII
LISTA DE TABELAS.....	XIX
LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS.....	XX
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2: OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
2.1. Objetivo Geral.....	5
2.2. Objetivos Específicos.....	6
<b>CAPÍTULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>7</b>
3.1. Climatologia da chuva no nordeste brasileiro e no Estado da Paraíba .....	7
3.2. Origem da transformada de Fourier (TF) à transformada de ondeleta (TO).....	14
3.3. Aplicação da Transformada em Ondeletas (TO).....	15
3.4. Relação entre ENOS, DPA e Chuva no Nordeste do Brasil.....	20
<b>CAPÍTULO 4: MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>

4.1. Área de estudo.....	27
4.2 Dados.....	29
4.2.1 Dados de precipitação da Paraíba.....	29
4.2.2 Dados de TSM.....	30
4.3 Metodologia.....	31
4.3.1 Transformada em ondeletas (TO).....	32
4.3.1.1 Alguns tipos de Funções ondeletas.....	37
4.3.1.2 Cone de influência.....	38
4.3.1.3 Diferenças entre TF e a TO.....	38
4.3.2 Calculo do dipolo do Atlântico.....	40
4.3.3 Determinação dos anos de El Niño e La Niña.....	41
<b>CAPITULO 5: RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
5.1. Análise tempo-escala da precipitação.....	43
5.1.1. Região do Litoral.....	43
5.1.2 Região do Brejo.....	47
5.1.3 Região do Agreste.....	49
5.1.4 Região do Cariri/Curimataú.....	52
5.1.5 Região do Sertão.....	56

5.1.6 Região do Ato Sertão.....	60
5.2. Análise tempo-escala da TSM.....	64
5.2.1. Pacífico equatorial.....	64
5.2.2. Atlântico Tropical.....	69
5.3. Relação entre TSM e chuva.....	72
<b>CAPÍTULO 6: CHUVAS OCORRIDAS NA PARAÍBA EM JANEIRO E FEVEREIRO DE 2004.....</b>	<b>88</b>
6.1. Análise sinótica para os meses de janeiro e fevereiro de 2004 na Paraíba .....	90
6.1.1. Janeiro.....	90
6.1.2 Fevereiro.....	93
6.2. Análise de ondeletas para o período de 1998 a 2007.....	95
<b>CAPITULO 7: CONCLUSÕES.....</b>	<b>98</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>111</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>Pag.</b>
Figura 3.1 - Localização geográfica das regiões pluviometricamente homogênea do estado da Paraíba. (Fonte: Brito & Braga 2005).....	13
Figura 3.2 - Áreas selecionadas para cálculos de médias e ATSM e das componentes meridional e zonal da “pseudo-tensão” de vento no Atlântico intertropical sul e norte para modelo TEMPO DE CHUVA. (Fonte: Xavier 2001).....	24
Figura 3.3 - Áreas no Pacífico equatorial: NIÑO 1+2, 3,4 e 3.4. (Fonte: Xavier 2001).....	25
<b>CAPÍTULO 4</b>	
Figura 4.1 - Área de estudo: Estado da Paraíba e Oceano Atlântico tropical.....	28
Figura 4.2 - Localização geográfica das estações representativas das regiões pluviometricamente homogêneas do estado da Paraíba.....	30
Figura 4.3 - Regiões dos índices de monitoramento no Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical. (Fonte: Cerqueira 2008).....	31
Figura 4.4 - Primeira análise de multiresolução dada pela função ondeleta. (Fonte: Bolzan 2006).....	34

Figura 4.5 -	Segunda análise de multiresolução dada pela função ondeleta (Fonte: Bolzan 2006).....	35
Figura 4.6 -	Resultado da análise de multiresolução dada pela função ondeleta. (Fonte: Bolzan 2006).....	35
Figura 4.7 -	Parte real da função ondeleta de Morlet. (Fonte: Bolzan 2006).....	36
Figura 4.8 -	Ondeleta de Haar. (Fonte: Cruz 2008).....	37
Figura 4.9 -	Ondeleta Chapéu Mexicano. (Fonte: Bolzan 2004).....	38
Figura 4.10 -	Janelas de análise no plano tempo - frequência para a TF e para as TO. (Fonte: Cruz 2008).....	39
Figura 4.11 -	Cobertura do espectro de frequência pela TF (parte de cima) e pela TO (parte de baixo). (Fonte: Cruz 2008).....	40
<b>CAPÍTULO 5</b>		
Figura 5.1 -	Variabilidade temporal dos totais mensais da precipitação em João Pessoa e Alhandra no período de 1962 a 2007.....	44
Figura 5.2 -	a) Série temporal de precipitação, b) Escalograma de energia de ondeletas, c) Espectro global, para Alhandra.....	45
Figura 5.3 -	a) Série temporal de precipitação, b) Escalograma de energia de ondeletas, c) Espectro global, para João Pessoa.	46

Figura 5.4 -	Variabilidade dos totais mensais da precipitação em Areia e Bananeiras no período de 1962 a 2007.....	47
Figura 5.5 -	a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para Areia.....	48
Figura 5.6 -	a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para Bananeiras.....	49
Figura 5.7 -	Variabilidade dos totais mensais da precipitação em Campina Grande e Fagundes no período de 1962 a 2007.....	50
Figura 5.8 -	a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para Campina Grande.....	51
Figura 5.9 -	a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para Fagundes.....	52
Figura 5.10 -	Variabilidade dos totais mensais da precipitação em Cabaceiras e Taperoá no período de 1962 a 2007.....	53
Figura 5.11 -	a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para Cabaceiras.....	54
Figura 5.12 -	a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para Taperoá.....	56
Figura 5.13 -	Variabilidades dos totais mensais da precipitação em Patos e Imaculada no período de 1962 a 2007.....	57
Figura 5.14 -	a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para Patos.....	58
Figura 5.15 -	a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para Imaculada.....	59

Figura 5.16 -	Variabilidades dos totais mensais da precipitação de Cajazeiras e Manaíra no período de 1962 a 2007.....	60
Figura 5.17 -	a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para Cajazeiras.....	62
Figura 5.18 -	a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para Manaíra.....	63
Figura 5.19 -	Variabilidade mensal da TSM nas regiões do Niño1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4 no período de 1962 a 2007.....	65
Figura 5.20 -	a) Série temporal de TSM, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para a região do Niño 1+2.....	66
Figura 5.21 -	a) Série temporal de TSM, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para a região do Niño 3.....	67
Figura 5.22 -	a) Série temporal de TSM, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para a região do Niño 3.4.....	68
Figura 5.23 -	a) Série temporal de TSM, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para a região do Niño 4.....	69
Figura 5.24 -	Variabilidade mensal da TSM nas regiões do ATLN e ATLS no período de 1962 a 2007.....	70
Figura 5.25 -	a) Série temporal de TSM, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para a região do ATLN.....	71
Figura 5.26 -	a) Série temporal de TSM, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para a região do ATLS.....	72
Figura 5.27 -	a) Relação entre a TSM da região do Niño1+2 e precipitação em João Pessoa, b) Relação entre Dipolo do Atlântico e precipitação em João Pessoa.....	77

Figura 5.28 -	a) Relação entre a TSM da região do Niño1+2 e precipitação em Bananeiras, b) Relação entre Dipolo do Atlântico e precipitação em Bananeiras.....	79
Figura 5.29 -	a) Relação entre a TSM da região do Niño1+2 e precipitação em Campina Grande, b) Relação entre Dipolo do Atlântico e precipitação em Campina Grande.....	81
Figura 5.30 -	a) Relação entre a TSM da região do Niño1+2 e precipitação em Cabaceiras, b) Relação entre Dipolo do Atlântico e precipitação em Cabaceiras.....	83
Figura 5.31 -	a) Relação entre a TSM da região do Niño1+2 e precipitação em Patos, b) Relação entre Dipolo do Atlântico e precipitação em Patos.....	85
Figura 5.32 -	a) Relação entre a TSM da região do Niño1+2 e precipitação em Cajazeiras, b) Relação entre Dipolo do Atlântico e precipitação em Cajazeiras.....	87
 <b>CAPÍTULO 6</b>		
Figura 6.1 -	Variabilidade mensal das cidades representantes das regiões pluviometricamente homogêneas do estado da Paraíba no ano de 2004.....	89
Figura 6.2 -	(a) Estimativa da posição média pentadal da ZCIT, em janeiro de 2004, a partir da localização dos mínimos valores de ROL ao longo do Oceano Atlântico Equatorial, (b) Posição média climatológica da circulação da alta troposfera em janeiro de 2004. (Fonte: NCEP/NOAA/CPTEC/IMPE/CLIMANÁLISE).....	91
Figura 6.3 -	Pêntadas de temperatura de brilho média (K) para o mês de JANEIRO de 2004. (FONTE: Satélite GOES 12/CPTEC/INPE/CLIMANÁLISE)..	92

Figura 6.4 -	(a) Estimativa da posição média pentadal da ZCIT, em fevereiro de 2004, a partir da localização dos mínimos valores de ROL ao longo do Oceano Atlântico Equatorial, (b) Posição média climatológica da circulação da alta troposfera em fevereiro de 2004. (Fonte: NCEP/NOAA/CPTEC/IMPE/CLIMANÁLISE).....	93
Figura 6.5 -	Pêntadas de temperatura de brilho média (K) para o mês de fevereiro de 2004. (FONTE: Satélite GOES 12/CPTEC/INPE/CLIMANÁLISE)..	94
Figura 6.6 -	Análise de ondeletas em uma série mensal de precipitação de 10 anos (1998-2007) em: (a) João Pessoa, (b) Bananeiras, (c) Campina Grande, (d) Cabaceiras, (e) Patos, (f) Cajazeiras.....	96
Apêndice 5.1 -	Coeficiente de correlação linear entre os eventos de El Niño forte e moderado com as chuvas nas regiões pluviometricamente homogêneas da Paraíba.....	111
Apêndice 5.2 -	Coeficiente de correlação linear entre o gradiente térmico meridional do Atlântico com as chuvas nas regiões pluviometricamente homogêneas da Paraíba.....	112

## LISTA DE TABELAS

<b>CAPTULO 3</b>		<b>PAG.</b>
Tabela 3.1-	Precipitação média da estação chuvosa (mm/estação) e anual (mm/ano) para as regiões pluviometricamente homogêneas do estado da Paraíba. (Fonte: Brito & Braga 2005).....	13
<b>CAPÍTULO 4</b>		
Tabela 4.1-	Classificação dos anos de El Niño e La Niña segundo classificação de Trenberg (2007).....	41
<b>CAPÍTULO 5</b>		
Tabela 5.1-	Escalas de tempo usadas no escalogramas de energia de ondeletas.....	43
Tabela 5.2-	Coeficiente de correlação linear entre os anos de eventos de El Niño forte e moderado e gradiente térmico meridional do Atlântico com a precipitação na Paraíba.....	74

**LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS**

<b>AB</b>	- Alta da Bolívia
<b>AESA</b>	- Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
<b>ATLN</b>	- Atlântico Norte
<b>ATLS</b>	- Atlântico Sul
<b>ATSM</b>	- Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar
<b>CTRN</b>	- Centro Tecnológico de Recursos Naturais
<b>DPA</b>	- Dipolo do Atlântico
<b>ENOS</b>	- El Niño/Oscilação Sul
<b>EN</b>	- El Niño
<b>FUNCEME</b>	- Fundação Cearense de Meteorologia
<b>LN</b>	- La Niña
<b>LI</b>	- Linhas de Instabilidade
<b>NCEP</b>	- National Centers for Environmental Prediction
<b>NEB</b>	- Nordeste do Brasil
<b>OL</b>	- Ondas de Leste
<b>OMJ</b>	- Oscilação de Madden-Julian

<b>PRP</b>	- Precipitação
<b>ROL</b>	- Radiação de Onda Longa
<b>ST</b>	- Série Temporal
<b>SUDENE</b>	- Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
<b>TF</b>	- Transformada de Fourier
<b>TFJ</b>	- Transformada de Fourier Janelada
<b>TO</b>	- Transformada de Ondeletas
<b>TSM</b>	- Temperatura da Superfície do Mar
<b>UACA</b>	- Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
<b>UFCG</b>	- Universidade Federal de Campina Grande
<b>VCAN</b>	- Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
<b>ZCAS</b>	- Zona de Convergência do Atlântico Sul
<b>ZCIT</b>	- Zona de Convergência Intertropical
<b>°C</b>	- Graus Celsius
<b>K</b>	- Kelvin
<b>Km<sup>2</sup></b>	- Quilômetro Quadrado
<b>mm</b>	- Milímetro

## **CAPITULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

Em virtude da necessidade de se compreender melhor como os processos de interação oceano/atmosfera em diversas escalas de tempo, vêm interferindo e interagindo com os fenômenos atmosféricos causadores de precipitação, na região do nordeste do Brasil, surge o interesse de se estudar a relação entre a modulação da temperatura da superfície do mar (TSM) que condiciona a precipitação na Nordeste do Brasil, especificamente no Estado da Paraíba.

Embora a climatologia do Nordeste brasileiro, de uma forma geral, seja bastante conhecida e estudada por inúmeros autores tais como, Nimer (1972); Nimer (1979); Rao et al. (1993); Nobre & Melo (2001); Brito et al. (2004); Brito & Braga (2005); Sousa & Ambrizzi (2006); Vitorino (2006); Vitorino et al. (2008), do ponto de vista estatístico e matemático, ainda há necessidades de se investigar melhor que tipo de relação há entre alterações na TSM nos oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical, com as chuvas em regiões homogêneas do estado da Paraíba, regiões essas classificadas por Brito & Braga (2005).

Nos últimos tempos novas técnicas matemáticas e estatísticas têm sido desenvolvidas e introduzidas na literatura com a finalidade de fornecer ferramentas para a caracterização de regimes não - lineares associadas à natureza das variáveis atmosféricas e do meio ambiente (WENG & LAU 1994; BARBOSA 2005; VITORINO et. al. 2006). Em geral, o estudo dessas variáveis requer abordagens

matemáticas poderosas que possibilitem compreender os processos físicos que atuam nos sistemas de determinadas regiões. Recentemente a técnica da Transformada em Ondeletas (TO) tem sido aplicada a Séries Temporais (ST) obtidas a partir de qualquer sistema físico. Essa técnica permite decompor uma ST em diferentes níveis de resolução tempo - frequência/tempo - escalas para determinar as componentes da variabilidade dominante. A TO começou a ser estudada e difundida a partir da década de 1980 por Morlet, cujo método satisfaz o princípio da incerteza de Heisenberg através das janelas flexíveis (ao contrário da análise por Transformada de Fourier, onde as janelas, ou períodos eram fixos, não possibilitando uma análise satisfatória de séries com o sinal temporal irregular). As janelas flexíveis têm a propriedade de alargamento, enquanto se analisa as baixas frequências, e estreitamento, enquanto se analisa as altas frequências (VITORINO 2002). O termo “ondeleta” faz referência ao conjunto de funções com a forma de pequenas ondas geradas por dilatação e contração de uma função  $\psi(t)$  de variável real  $t$ , denotadas por vezes de ondeleta-mãe (WENG & LAU 1994; VITORINO et al. 2006; BOLZAN 2006). Aplicada a uma série temporal, a TO nos fornece informações preciosas tanto no domínio do tempo quanto no domínio da frequência, tendo como vantagem a possibilidade de avaliar uma série não periódica (ou não estacional). Ao contrário da análise por Fourier, que indica amplitudes e fases médias para cada harmônico de uma série, a TO permite a avaliação da amplitude de fase no tempo (ODA 2008).

Estudos relacionados às chuvas na Paraíba evidenciaram que as precipitações médias decrescem rapidamente no sentido leste oeste do Litoral ao Cariri/Curimataú, em seguida aumenta gradativamente até o extremo oeste do estado (Alto Sertão). Segundo Nimer (1979) esta tendência ocorre em conse-

quência da maneira pela qual se deslocam os sistemas de circulação secundários ao penetrarem nos estados de Pernambuco e Paraíba. Ainda sim, fenômenos de escala global como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e fenômenos de escala sinótica como as Ondas de Leste, Frentes frias e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), são os principais causadores de perturbações que tem grande influência na climatologia da precipitação no Nordeste Brasileiro (NEB). A região representa o ponto final de vários desses sistemas de circulação atmosférica, cuja influência ou passagem é acompanhada de instabilidade e precipitação (NIMER 1972; KOUSKY 1979; KOUSKY 1980; NOBRE et. al. 1986; HASTENRATH & GREISHAR 1993; RAO et. al. 1993; MOTA 1997; BRAGA 2000; NOBRE & MELO 2001; MOLION & BERNADO 2002; CAVALCANTE et. al. 2009).

A maioria dos sistemas precipitantes que ocorrem na Região Nordeste do Brasil está diretamente influenciada pelas condições térmicas superficiais dos oceanos tropicais (MOURA & SHUKLA 1981, NOBRE & SHUKLA 1996; MENEZES 2006, dentre outros). Além do mais, a literatura também mostra que a região nordeste sofre influencia das circulações atmosféricas, pois grande parte da variabilidade interanual da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Atlântico Tropical, são influenciadas pela atuação do El Niño-Oscilações Sul (ENOS) na região equatorial do Pacífico. As temperaturas extremas quase sazonais são observadas na região leste do Atlântico equatorial que se relacionam com os alísios na parte oeste mais fracos (fortes) que é normal durante os episódios quentes (frios) do ENOS (SILVA et al. 2005; MENEZES 2006). Desta forma este estudo visa investigar a variabilidade da TSM do oceano Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical juntamente com a precipitação na escala de tempo sazonal e interanual sobre diferentes regiões pluviometricamente homogêneas no estado da Paraíba. Neste

sentido é conveniente testar novas técnicas que venham aprimorar os inúmeros estudos feitos na região Nordeste, e, particularmente no estado da Paraíba, como a técnica da Transformada de Ondeleita de Morlet na análise de tempo – escala dos escalogramas de energia para o período de 1962 – 2007.

## **CAPITULO 2**

### **OBJETIVOS**

#### 2.1. Objetivo geral

Esse estudo tem por objetivo caracterizar os padrões oceano atmosférico em tempo – escala entre as regiões homogêneas e as séries de TSM dos oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical visando obter uma relação entre as chuvas ocorridas no estado da Paraíba com os oceanos que banham a América do Sul aplicando a técnica da TO.

## 2.2 Objetivos específicos

- ❖ Realizar uma análise diagnóstica dos sinais de precipitação e da TSM a fim de caracterizar as oscilações atmosféricas e oceânicas existentes no período selecionado;
- ❖ Encontrar relações entre a precipitação na Paraíba com a variável oceânica nos oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical utilizando regressão linear;
- ❖ Fazer estudo de caso, mostrando a eficiência da técnica TO, na identificação de escalas dominantes com o auxílio de análises sinóticas.

## **CAPITULO 3**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### 3.1. Climatologia da chuva no nordeste brasileiro e no estado da Paraíba

Em se tratando de chuva, a região Nordeste do Brasil (NEB) apresenta grande variabilidade climática não uniforme, tanto espacial quanto temporal, bastante distinta das outras regiões do Brasil. Apresentando períodos irregulares entre os estados e entre suas micro-regiões (RAO et al. 1993). A precipitação é a variável meteorológica mais importante para os trópicos. Sua forma de medida é muito simples, mas também é uma das variáveis mais difíceis de ser observada, uma vez que apresenta erro instrumental, de exposição e de localização e é um parâmetro extremamente variável espacialmente (MOLION & BERNARDO 2002).

As chuvas estão diretamente ligadas à convecção local, que é caracterizada pela convergência de ar úmido nos baixos níveis da troposfera, resultado da baixa pressão junto à superfície, seja em função do aquecimento diferencial dessa superfície, seja pela ação de fenômenos transientes de caráter puramente dinâmicos. A convecção nos trópicos é essencialmente controlada (inibida ou intensificada), pela circulação geral da atmosfera, fenômeno de grande escala resultante de interações complexas entre as superfícies do planeta, em particular a

distribuição entre continentes e oceanos com fornecimento desigual de energia solar, topografia e cobertura vegetal (MOLION & BERNARDO 2002).

Sabe-se que o NEB apresenta pelo menos 3 áreas com regime pluviométricos diferentes: uma que compreende a parte ao norte com períodos que vão de fevereiro a maio, uma segunda na região mais ao sul, que vai de novembro a fevereiro, e outra terceira na parte leste com período chuvoso entre de abril a julho (NIMER 1976; HASTENRATH & HELLER 1977; KOUSKY 1979; KOUSKY 1980; NOBRE, et. al. 1986; HASTENRATH & GREISHAR 1993; RAO et. al. 1993; NOBRE & MELO 2001), contudo, Brito et. al. (2004); Brito & Braga (2005) e Menezes et. al. (2008) identificaram pelo menos 6 regiões no estado da Paraíba com diferentes característica de precipitação entre si, que são as regiões pluviometricamente homogêneas com as suas respectivas estações chuvosas. Isso mostra que apesar da Paraíba estar inserida no Nordeste brasileiro, as características de precipitação amplamente estuda por diversos autores, acima citados, diferem quando se estuda de forma regionalizada.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) associada à convergência de umidade é o principal sistema atmosférico de grande escala causador de chuvas no norte do NEB. Na parte leste/sul os sistemas frontais têm maior relevância concomitantemente com a convergência dos ventos alísios de sudeste e o sistema de brisa marítima nas chuvas de grande escala. Na porção leste, principalmente em regiões costeiras, os sistemas ondulatórios de leste são os mecanismos que trazem umidade do oceano para o continente causando chuvas. No NEB os eventos de La Niña (LN) intensos produzem anos chuvosos e eventos de El Niño (EN) provocam anos com chuvas abaixo do normal (NEIVA 1975; HASTENRATH & HELLER 1977; MOTA 1997; MOLION & BERNARDO 2002). 9

A ZCIT tem sua atuação sobre o sul do Equador no período aproximando entre dezembro e maio, chegando à posição máxima, em torno de 4°S, entre março e abril, causando chuvas no norte do NEB (HASTENRATH 1985; MOLION & BERNADO 2002). No estado da Paraíba a ZCIT atua principalmente no oeste afetando também o estado de Pernambuco, tendo grande influência na pluviometria e conseqüentemente nos recursos hídricos da região (NIMER 1979).

Os VCANs atuam mais frequentemente entre os meses de dezembro e fevereiro, com um tempo de vida entre 4 e 11 dias e os efeitos desse sistema sobre a precipitação sobre o NEB são bastante evidentes, principalmente quando se forma sobre o continente. O VCAN para ter grande influência sobre a chuva no NEB tem que interagir com outros dois sistemas atmosféricos importantes que atuam sobre a América do Sul que são: a Alta da Bolívia (AB) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). O conhecimento e o monitoramento desses três sistemas meteorológicos são imprescindíveis, pois modulam o ciclo hidrológico, o balanço de energia e o clima no continente (SILVA 2005; CAVALCANTE et. al. 2009). Na Paraíba a atuação desse sistema atinge principalmente a parte leste do estado, mais especificamente o litoral (NIMER 1972; NIMER, 1979; VAREJÃO-SILVA et. al. 1984; BRITO & BRAGA, 2005).

As Ondas de Leste (OLs) também se constituem como um importante sistema meteorológico causador de chuva no leste do NEB. As OLs 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 desde a costa da África até o litoral leste do Brasil (MOTA 1997). Atuam principalmente nos meses de junho, julho e agosto, tem um comprimento de onda em torno de 2.000 a 3.000 km podendo durar de 3 a 5 dias. (Texto extraído de

<http://www.funceme.br/areas/tempo-e-clima/sistemas-atmosfericos-atuantes-sobre-o-nordeste>).

No NEB, as variações interanuais e anuais são as mais notáveis, e o clima semi-árido é causado em decorrência da atuação de mecanismos de circulação geral da atmosfera associados a outros efeitos como o albedo e as características topográficas (NOBRE et al. 1986). Segundo Kousky (1979), a associação entre as variações espaciais e sazonais da precipitação na região identificam a existência de basicamente três regimes pluviométricos:

- ❖ O primeiro regime está associado à penetração de sistemas frontais. Afeta principalmente as chuvas na parte sul-sudeste e oeste do NEB, mais especificamente o sul do estado da Bahia. Esse regime atua praticamente o ano todo e tem uma contribuição relevante nos totais pluviométricos da região, principalmente entre os meses de novembro a janeiro.
- ❖ O segundo influencia a parte mais ao norte sobre os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, incluindo os estados da Paraíba e Pernambuco. É causado pelo deslocamento mais ao sul da ZCIT, principalmente nos meses de março e abril. Está ligado mais a permanência da ZCIT sobre a região do que a posicionamento meridional extremo que a mesma atinge durante o ano, as quais são influenciadas por flutuações globais e por sistemas de escala sinótica.
- ❖ O terceiro regime é o constituído pela influência da predominância de movimentos ascendentes ao longo da costa leste em decorrência da convergência dos ventos alísio de sudeste. Tem seus máximos pluviométricos no

A variabilidade mensal das chuvas no Nordeste é influenciada pela oscilação de 30-60 dias, que, em condições favoráveis, intensifica a convecção sobre as áreas onde atua (KUTSON & WEICKANN 1987; NOBRE & MELO 2001). Souza e Ambrizzi (2006) estudaram a influência da oscilação 30-60 dias (também conhecida como oscilação de Madden – Julian - OMJ), na precipitação da região tropical do Brasil, e puderam constatar que, na escala global, a OMJ é o principal mecanismo atmosférico modulador das variações pluviométricas na escala de tempo mensal no leste da Amazônia e Nordeste do Brasil.

Kousky (1980) utilizou 9 anos de dados diários de precipitação para estudar a variação diurna de Linhas de Instabilidades (LIs) no litoral do NEB e constatou uma variação intrasazonal no litoral norte do Brasil. Destacou também o efeito da brisa marítima que penetra no continente, que em cooperação com as LIs, são responsáveis por uma considerável quantidade de precipitação na região. A máxima freqüência das brisas ocorre no período de inverno austral, quando a ZCIT é mais intensa e organizada no Hemisfério Norte. As LIs atuam durante o dia e praticamente se dissipam a noite devido à diminuição do contraste térmico entre o oceano e o continente (MOLION 1987).

Embora a Paraíba seja um dos estados da região nordeste que apresenta o maior número de estudos realizados sobre a variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial (BRITO et al. 2004), ainda existe carência de informações acerca do tipo de relação existente entre variações em tempo-escala da TSM em áreas de monitoramento nas bacias do Pacífico Equatorial e do Atlântico Tropical e as chuvas no NEB, mais especificamente no estado da Paraíba. Assim, o tema é brevemente comentado por Vitorino et al. (2006), onde os autores afirmam ter uma relação entre uma tipologia climática no oeste do estado, por se tra-

tar de clima tropical úmido caracterizado por apresentar chuvas de verão com inverno seco, com a variabilidade climática modulada pelas Anomalias de Temperatura do Mar (ATSM) sobre os oceanos Atlântico e Pacífico.

Como já comentado, grande parte da precipitação ocorrida entre os meses de março e abril nas regiões norte e oeste do estado da Paraíba é decorrente da atuação mais ao sul do equador da ZCIT, que é parte integrante da circulação geral da atmosfera e está intimamente ligada às variações de TSM do atlântico. Destacam-se também os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) que interferem no clima do NEB no período de novembro a abril. A faixa litorânea está sujeita ao efeito do sistema de brisa terra-mar, que sopram do oceano para o continente, com a brisa marítima, e do continente para o oceano, com a brisa terrestre. Outro fator que merece ser enfatizado na produção das chuvas é o posicionamento da alta semi-estacionária do Atlântico Sul devido ao transporte de vapor d'água nos baixos níveis (HASTENRATH & GREICHSCAR 1993; BRAGA 2000).

Brito & Braga (2005) estudaram as chuvas ocorridas no ano de 2004 na Paraíba, ocasião em que foram observadas chuvas abundantes durante a segunda quinzena de janeiro e todo o mês de fevereiro de 2004 devido, principalmente, à atuação de VCAN que interagiu com a ZCIT e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Já nos meses de março e abril as chuvas foram inferiores às médias históricas, pois a ZCIT atuou apenas na segunda e terceira semanas de março e na quarta semana de abril. De maio a julho ocorreram chuvas acima da média climatológica causadas, principalmente, pela atuação de distúrbios de leste. Assim foram determinadas seis regiões homogêneas através da análise de agrupamento hierárquico de Ward (EVERITT 1974). As suas disposi-

ções geográficas e totais médios anuais de cada sub-região constam na Figura 3.1 e Tabela 3.1.

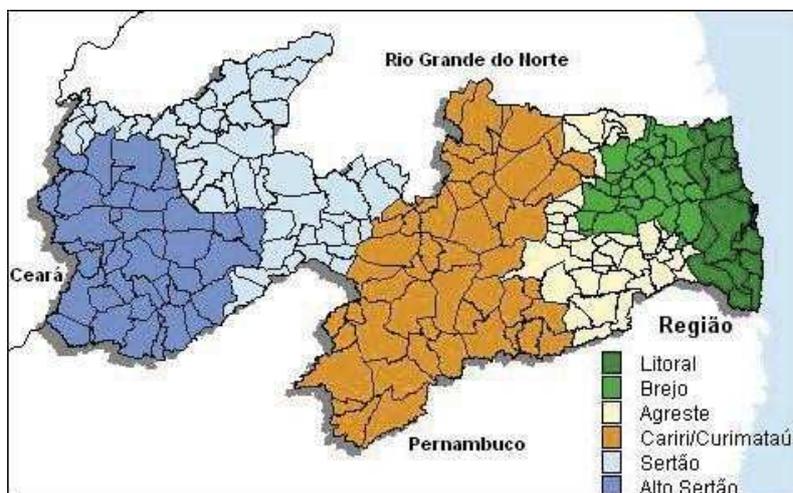


Figura 3.1: Localização geográfica das regiões pluviométricamente homogêneas do estado da Paraíba. (Fonte: Brito & Braga 2005).

Tabela 3.1: Precipitação média da estação chuvosa (mm/estação) e anual (mm/ano) para as regiões pluviométricamente homogêneas do estado da Paraíba.

	Região I Litoral	Região II Brejo	Região III Agreste	Região IV Cariri/ Curimataú	Região V Sertão	Região VI Alto ser- tão
Estação Chuvosa	Abril a junho	Abril a junho	Abril a junho	Fevereiro a maio	Fevereiro a maio	Janeiro a abril
Precipitação Estação Chuvosa	1036,2	651,1	436,9	326,2	571,1	704
Precipitação Ano	1803,5	1174,9	762,1	484	761,8	926,6

(Fonte: Brito & Braga 2005).

### 3.2. Origem da transformada de Fourier à transformada de ondeleta

Os métodos estatísticos normalmente utilizados em séries temporais são, em sua grande maioria, baseados nos conceitos de estacionalidade e linearidade, o que indica que a maioria dos métodos existentes de tratamento de dados são lineares e estacionais (MORETIN 1999). A partir do século XVII Jean Baptiste Joseph Fourier começou a desenvolver um método que leva o seu nome. Incumbido de ilustrar a solução a um problema físico de propagação de calor em corpos sólidos, admitiu que essa propagação deveria se dar por ondas de calor, e levando em conta que a forma mais simples de uma onda é uma função senoidal, Fourier mostrou que qualquer função, por mais complicada que seja, pode ser decomposta como uma soma de senos e cossenos. Fourier desenvolveu sua tão famosa série em processos físicos de sinal estacional. Contudo, há certas áreas do conhecimento científico nos quais os modelos não-estacionais e não lineares são necessários, como é o caso dos estudos na área da climatologia, onde os sinais de propagação no tempo e no espaço na sua grande maioria não são regulares (MEYER 1993; ASSIS 1996; MORETIN 1999).

Em meados da década de 1946, um pesquisador chamado Dennis Gabor percebeu a dificuldade de se aplicar a série de Fourier em séries temporais não-estacionais. Por conta disso fez modificações na TF criando um método conhecido como Transformada de Fourier Janelada (TFJ), o que lhe permitiu obter informações temporais da presença da função seno em “janelas fixas” pré-determinadas. Apesar do método de Gabor ter contribuído para o avanço dos estudos de séries temporais não-estacionais, ainda havia alguns problemas a serem superados, um deles é o fato da TFJ ser fixa, o que impossibilita a modificação a-

pós o início da aplicação do método, e outro, é que as funções trigonométricas possuem energia infinita, ou seja, elas variam de (BOLZAN 2006).

Por volta do início da década de 1980 um matemático francês chamado Jean Morlet se deparou com os problemas do método de Gabor quando o aplicava em séries temporais de ecos geofísicos na busca de poços petrolíferos, e percebeu a necessidade de desenvolver uma função matemática base, e não estatística como é o caso da série de Fourier, que possuísse energia finita e fosse capaz de se expandir ou contrair eliminando o problema da janela fixa de Gabor. Sabe-se que Morlet foi o primeiro a denominar em francês o conjunto de funções com forma de pequenas ondas geradas por dilatação e translação de uma função base geradora simples de Ondelettè (ondeleta-mãe), o que permite a geração das chamadas ondeletas-filhas. Mais tarde o termo Ondelettè ficou conhecido mundialmente como Wavelets, e no Brasil como Ondeleta ou Ondaleta (DATSENKO et. al. 1995; SÁ et. al. 1998; Moretin 1999). Com a ajuda de outro matemático francês chamado Alex Grossman, Morlet desenvolveu a primeira função base que foi denominada de Função Ondeleta de Morlet (BOLZAN 2006).

### 3.3. Aplicação da Transformada em Ondeletas (TO)

Os estudos de sinal não estacional exigem uma abordagem matemática com teoria robusta para se entender os fenômenos físicos. A TO é uma dessas ferramentas que é capaz de analisar séries temporais de qualquer sistema físico, sejam na área de turbulência atmosférica, sistemas de imagens, medicina, sistemas hidrológicos, entre outros. O uso dessa ferramenta se faz necessário em fun-

ção justamente do fato dessas séries apresentarem características não estacionais (BOLZAN 2004).

Weng & Lau (1994), foram um dos pioneiros na aplicação da TO em Meteorologia, fazendo um estudo na parte oeste do Pacífico (Ilha de Java) durante os anos de 1987 a 1988, para identificar períodos duplos e localização tempo – freqüências em dados sintéticos e em dados reais. Puderam analisar o sinal de índices convectivos através dos escalogramas de energia e fase motivados em descobrir a interação de múltiplas escalas de tempo na convecção daquela região. Primeiramente utilizaram a TO de Haar aplicada a séries temporais sintéticas derivadas de sistemas dinâmicos simples não - lineares, em seguida usaram a TO complexa de Morlet para estudar a localização tempo - freqüência da convecção tropical baseado nos dados de alta freqüência no canal infravermelho de um satélite geoestacionário meteorológico japonês. Os resultados obtidos através da TO de Haar mostraram que existe a presença e a separação de múltiplas freqüências nos períodos duplos, que nesse caso, também permitiu a detecção de um sinal extremamente fraco nos sub-harmônicos de ordem superior resultantes de bifurcações dos períodos duplos, que em uma comparação com a análise de Fourier, ou não seriam detectados ou seriam considerados estatisticamente insignificantes. A TO de Morlet aplicada às séries de radiação infravermelha indicaram a presença de múltiplas escalas de tempo que estão localizadas tanto na freqüência como no tempo, correspondendo aos períodos chuvosos e secos e varia da forma semidiurna, diurna, sinótica, para a mensal, principalmente no período chuvoso.

Torrence & Compo (1998) desenvolveram um guia prático para a análise de ondeletas usando exemplos de séries de El Niño/Oscilação Sul (ENOS) que inclui: uma comparação com o método de Gabor (TFJ), a escolha de uma função

ondeleta base, o efeito de borda devido ao comprimento finito das séries temporais e a relação entre escalas de ondeleta e frequência de Fourier. Um novo teste de significância estatística para o espectro de ondeleta foi desenvolvido derivado da teoria espectral dos ruídos vermelho e branco no estabelecimento de níveis de significância e intervalos de confiança. Nesse contexto é mostrado que a suavização nas escalas de tempo pode ser usada para aumentar a confiança no espectro de ondeleta, e também são mostradas formulas empíricas para o efeito de suavização nos níveis de significância e intervalos de confiança.

Sá et al. (1998) aplicaram a ondeleta de Morlet a séries de dados diários do rio Paraguai em Ladários – MS de 1900 a 1995 a fim de estudar as escalas em que o nível do rio apresenta maior variabilidade. Verificou-se que a variabilidade dominante foi na escala anual a qual se manteve estacionária. Detectaram variabilidade importante em um intervalo na escala de 2 a 5 anos que não se mostrou persistente. Observaram também variabilidade persistente nas escalas de 10 a 11 anos aproximadamente. Os autores concluíram que no diagrama resultante da análise da fase do sinal em tempo-escala, apontaram-se linhas de convergência de fases.

Ramírez et al. (1999) aplicaram Redes Neurais Artificiais e ondeletas para a construção da relação não-linear entre a meteorologia por satélite e imagens de radar no estado de São Paulo. Nesse trabalho utilizaram as ondeletas para reduzir a dimensão original da grande quantidade de dados brutos de imagens de satélite através da decomposição do sinal em diferentes escalas. Os coeficientes obtidos a partir da análise de ondeletas foram rodados nas redes neurais artificiais separadamente e reduziu o tempo de computação. Com as vantagens

da TO, puderam levar o resultado de saída das redes neurais artificiais a sua dimensão original através da TO inversa.

Segundo Clauzet et al. (2005) a grande vantagem da análise em ondeletas sobre a de Fourier é a capacidade em alterar sua escala permitindo capturar componentes de diferentes frequências, funcionando como uma janela que aumenta para capturar componentes de alta frequência e diminui para capturar componentes de baixa frequência. Com essa vantagem, as ondeletas conseguem descrever o comportamento local do sinal, enquanto que a análise de Fourier descreve o comportamento global do sinal. Os autores aplicaram a análise em ondeletas em séries temporais de TSM e vento para a região do Atlântico Tropical coletadas pelas bóias do Pilot Research Array in the Tropical Atlantic (PIRATA) no período de 1997 a 2000. Os resultados comprovaram que há uma grande concordância entre as anomalias de TSM coletadas pela rede PIRATA, com os dados observados pelo Integrated Global Ocean Services System, demonstrando que a rede tem capacidade em registrar não só as variações sazonais como também desvios térmicos interanuais influenciados por fenômenos de escala global. Nesse trabalho a TO evidenciou a forte influência do ciclo intrasazonal sobre a variabilidade de alta frequência nas quais predominaram os ciclos diurnos e semidiurno para a atmosfera e o oceano.

Vitorino et al. (2005) aplicaram a função complexa da ondeleta de Morlet em dados de radiação de onda longa e vorticidade relativa sobre a região da América do Sul, a fim de estudar as oscilações do sinal dessas séries sobre os trópicos, focalizando principalmente a variação espacial nas escalas mensal e submensal. Os autores utilizaram escalogramas na medição dessas oscilações na convecção que foi encontrada predominante na região tropical, contudo, as osci-

lações de 7 e 15 dias foram observadas nas latitudes tropicais e extratropicais na primavera e no inverno, indicando que distúrbios transientes desempenham um papel mais proeminente. A dinâmica da vorticidade relativa que oscila de 25 e 45 dias indica uma possível correlação com as ondas de Rossby sobre o leste do oceano Pacífico Tropical, principalmente durante o verão. Durante o inverno, as oscilações na vorticidade relativa de 7 e 15 dias são mais freqüentes nas latitudes altas e são reforçadas ao longo das faixas de tempestade. Segundo os autores esses resultados confirmam a eficiência da análise de ondeletas para estudos de tempo-escala da variabilidade atmosférica.

Vitorino et al. (2006) estudaram as oscilações na precipitação anual associada às escalas de tempo de 2 a 25 anos sobre as regiões pluviometricamente homogêneas do Estado da Paraíba, as quais foram obtidas pela aplicação da TO em séries temporais de 1962-2000 para detecção das oscilações de baixa freqüência. Os resultados mostraram que sobre as regiões do Litoral, Brejo e oeste do estado as oscilações dominantes compreendem as escalas de 20, 12, 9, 5 e 2 anos e nas regiões centrais as oscilações mais evidentes são aquelas na escala de 12, 6, 4 e 3 anos.

Gatts & Ovalle (2008) utilizaram a ondeleta do tipo Meyer com o objetivo de propor uma metodologia de análise de séries temporais de aportes fluviais para regiões de estuário, com foco na vazão do Rio Paraíba do Sul - RJ. Foi estudado o comportamento da vazão no período de fevereiro de 1997 a dezembro de 2006. O método de decomposição das séries temporais em ondeletas proporcionou a separação de eventos de acordo com a freqüência com que ocorrem, como a indicação de um período de oscilação da vazão média de aproximadamente 8 anos, isso faz com que se tornem mais simples à identificação de padrões da va-

ção instantânea. Esses resultados mostraram que a discriminação de eventos de acordo com a frequência que ocorrem faz do método da TO uma ferramenta potencialmente útil para a identificação de processos complexos.

#### 3.4. Relação entre ENOS, DPA e Chuva no Nordeste do Brasil

A TSM nos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais é a principal variável física que influencia as condições da variabilidade climática no NEB (MENEZES et al. 2008) e segundo autores como Hastenrath & Heller (1977); Moura & Shukla (1981); Servain & Legler (1986); Nobre & Shukla (1996); Wagner (1996); Uvo et al. (1998), o modo de variabilidade oceano-atmosfera de grande escala dominante sobre o Atlântico Tropical, durante o período chuvoso do semi - árido nordestino, é o padrão conhecido como dipolo de anomalias TSM, ou simplesmente Dipolo do Atlântico (DPA), que se caracteriza pela atuação simultânea de anomalias negativa e positivas de TSM sobre as bacias norte e sul do Atlântico Tropical. Em fase positiva, se observam anomalias positivas de TSM na bacia norte e negativa na bacia sul do Atlântico e na fase negativa se observa o oposto. Esse padrão de dipolo gera um gradiente térmico meridional e inter-hemisférico sobre o Atlântico Tropical (WAGNER 1996) pelo qual exerce influência no deslocamento zonal da ZCIT (HASTENRATH & GREICHSCAR 1993; NOBRE & SHUKLA 1996).

Segundo Kousky et al. (1984) existe um relação direta entre as anomalias de TSM no Pacífico leste e o déficit de precipitação no NEB e leste da Amazônia durante os eventos de EN, devido a um movimento de descida da circulação de Walker sobre a região inibindo os sistemas atmosféricos causadores de precipitação sobre a região, principalmente dos movimentos convectivos locais.

Conforme Nobre & Shukla (1996), as secas sobre o NEB são manifestações locais de padrões anômalos da precipitação de larga-escala que engloba todo o Atlântico Tropical e a região amazônica. Anomalias negativas de precipitação para o sul do equador durante os meses de março, abril e maio que corresponde à estação chuvosa do NEB, estão relacionadas a uma “retirada precoce” da ZCIT na direção das ATSM mais quentes sobre o norte do Atlântico Tropical, assim sendo, esse fenômeno está relacionado diretamente ao ENOS e ao DPA, assim afetando a distribuição das chuvas no NEB. Nobre & Shukla (1996), também mostraram que as anomalias de precipitação ao longo das partes sul e norte do NEB estão fora de fase: anos secos sobre o norte do NEB são comumente precedidos por anos chuvosos sobre o sul do NEB, e vice e versa.

Enfield (1996) mostra que a precipitação no NEB parece estar ligada apenas as variações da ATSM do Atlântico Sul. Toda a região entre a Venezuela e NEB parece ser sensível tanto a influência da ZCIT, como as configurações anti-simétricas da ATSM associadas à ZCIT, de uma forma coerente com as relações entre a TSM, vento em superfície e campos de divergência do vento.

Souza et al. (1997) calcularam os desvios da precipitação sobre o semi-árido nordestino em associação aos eventos do padrão de dipolo de TSM observados no Atlântico Tropical entre os anos de 1945 e 1993 e puderam perceber que os anos de ocorrência da fase positiva do dipolo estão associados com a predominância de percentuais negativos de precipitação (chuvas abaixo do normal), da mesma forma que os anos com fase negativa do dipolo estão associados à predominância de desvios positivos de precipitação (chuvas acima do normal). 22

Para Sousa et. al. (1998) a estação chuvosa do semi-árido nordestino nos anos posteriores à formação dos episódios EN, está associada com a atua-

ção de desvios negativos de precipitação de até 25% (chuvas abaixo do normal) e nos episódios de LN associam-se com desvios positivos de até 15% (chuvas levemente acima do normal). Com relação ao Atlântico, os anos de DPA positivo associam-se com a predominância de desvios negativos, entre 10% e 40% e de forma Inversa, os anos de DPA negativo, associam-se com desvios positivos entre 10% e 50%, e segundo os autores, se considerando a magnitude dos percentuais encontrados, se pode concluir que a influência do Atlântico (fases do DPA) na estação chuvosa do semi-árido nordestino é relativamente maior quando comparada com a influência do Pacífico (EN e LN).

Segundo Uvo et al. (1998) as chuvas ocorridas no NEB têm forte influência dos Oceanos Atlântico e Pacífico tropicais e variam consideravelmente na estação chuvosa de fevereiro-maio. Em janeiro a TSM do Pacífico equatorial é fracamente correlacionada com a precipitação em pequenas áreas de sul do NEB, mas a TSM do Atlântico não apresenta qualquer correlação significativa com a precipitação regional. Em fevereiro a TSM do Pacífico não é bem correlacionada com a precipitação, mas a TSM do Atlântico Equatorial Sul é positivamente correlacionado com a precipitação ao longo do norte do NEB, essa última possivelmente reflete anomalias cedo (ou tarde) da migração para o sul da ZCIT. Durante o mês de março a TSM do Pacífico equatorial está negativamente correlacionada com a precipitação no NEB, mas não há nenhuma relação consistente entre a precipitação e TSM do Atlântico. A correlação de TSM do Atlântico e a Precipitação, para os meses de abril e maio, é a mais fortemente correlacionada entre os dois oceanos. A precipitação no NEB é positivamente correlacionada com a TSM no sul do Atlântico Tropical e negativamente correlacionado com a TSM no norte do Atlântico Tropical. Essas relações são fortes o suficiente para

determinar a estrutura da média intrasazonal da correlação TSM e a precipitação, embora os padrões correspondentes aos meses anteriores sejam muito diferentes. A correlação de TSM do Pacífico e a precipitação para abril e maio são semelhantes às aquelas para o mês de março.

Ainda segundo Uvo et. al. (1998) anos extremamente chuvosos (secos) no NEB ocorrem quando ambos os padrões de TSM do Pacífico e do Atlântico para os meses de Abril e maio, descritos no parágrafo anterior, ocorrem simultaneamente.

Xavier (2001) discute o modelo estatístico TEMPO DE CHUVA (Técnicas Estocásticas de Modelagem para Previsão de CHUVA) para previsão de chuva no estado do Ceará utilizando diversos fatores, como os geofísicos, oceânicos, meteorológicos, entre outros. Entre os parâmetros estudados, a autora seleciona a TSM de algumas áreas específicas no Atlântico e Pacífico equatoriais que mostram um indicativo de previsibilidade de chuva para o Ceará, segundo o modelo. As áreas do Atlântico e Pacífico equatoriais utilizadas no estudo constam nas figuras 3.2 e 3.3, respectivamente.

Entre as áreas do Atlântico estão:

- ❖ Áreas  $A=A_1+A_2$  e  $B=B_1+B_2$  do Atlântico Sul (adjacentes a costa do NEB e da África, respectivamente);
- ❖ Área  $C=C_1+C_2$  no Atlântico Norte (rente a costa da África);
- ❖ Área  $D=D_1+D_2$  no Atlântico Norte (rente a América do Sul);
- ❖ E área G (que corresponde ao Golfo da Guiné);
- ❖ Entre as áreas do Pacífico estão: NIÑO 1+2; NIÑO 3; NIÑO 4; NIÑO 3.4

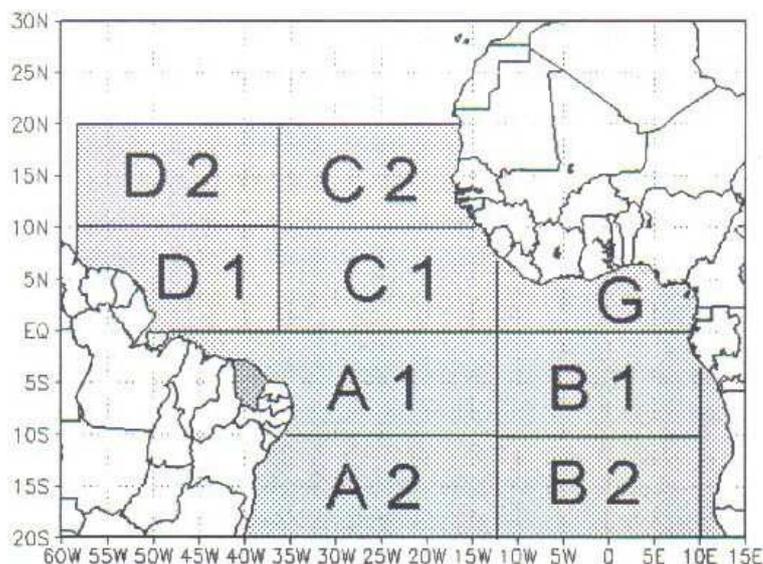


Figura 3.2: Áreas selecionadas para cálculos de médias e ATSM e das componentes meridional e zonal da “pseudo-tensão” de vento no Atlântico intertropical sul e norte para modelo TEMPO DE CHUVA. (Fonte: Xavier 2001).

Essas áreas servem como preditores com relação às chuvas no estado do Ceará mediante o cálculo do coeficiente de correlação. Dentre as áreas estudadas no Atlântico, a área A, com a sua sub-área A1, funciona como um preditor em potencial para as chuvas acumuladas de fevereiro a maio com correlações positivas. A área B também se constitui como um bom preditor para o quadrimestre chuvoso de fevereiro a maio. Já a área C apresenta correlações negativas, com uma significância menor, a área D também apresenta correlações negativas, mas o seu papel sobre as chuvas no Ceará é desprezível.

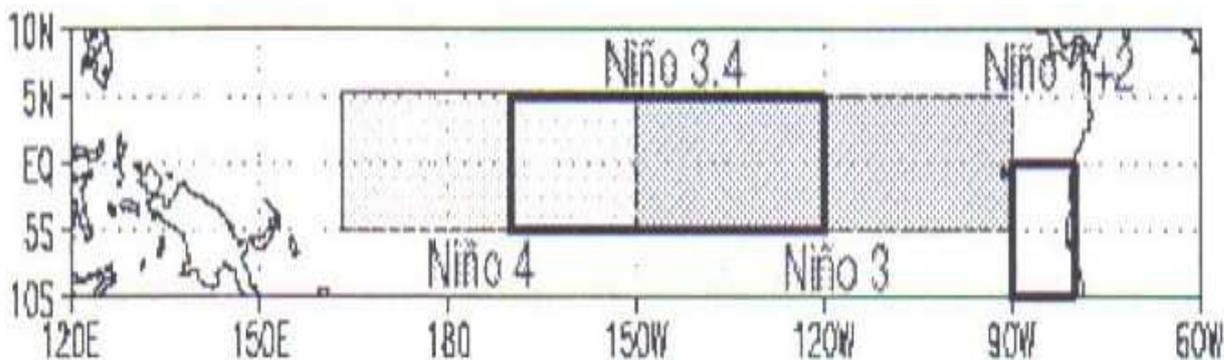


Figura 3.3: Áreas no Pacífico equatorial: NIÑO 1+2, 3,4 e 3.4. (Fonte: Xavier 2001).

Sobre a TSM do Pacífico, as áreas NIÑO 1+2 e NIÑO 3.4 apresentam correlações negativas indicando que o aquecimento anormal das águas superficiais (características de ocorrências de El Niño) pode contribuir para a inibição das chuvas sobre o Nordeste setentrional. Contudo, a relação entre TSM no Pacífico e as chuvas não é tão evidente, e Xavier (2001) conclui que a maior influência sobre o NEB, e mais especificamente sobre o estado do Ceará, deve-se ao Atlântico e não ao Pacífico, embora em anos de El Niño muito forte esse fenômeno possa assumir um papel modulador decisivo sobre o Atlântico.

A configuração do Dipolo do Atlântico, que é representado pela diferença entre as áreas A e C de Xavier 2000, têm grande influência sobre as chuvas do Nordeste Setentrional, inclusive com correlações mais elevadas em comparação com a influência direta do Atlântico. Entende-se que se existe relações da TSM com as Chuvas no Ceará, também existem relações da TSM com outras regiões do NEB, incluindo o estado da Paraíba.

Segundo Molion & Bernardo (2002) 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 at-

mosférica de grande escala e com a interação oceano – atmosfera no Pacífico e no Atlântico. O impacto causado pelo ENOS, um exemplo de perturbação climática de escala global, pode ser sentido principalmente pela modificação no regime e no total de precipitação que, dependendo da intensidade do evento, pode resultar em secas severas, interferindo, de forma expressiva, nas atividades humanas.

Souza et. al. (2004) investigaram a variabilidade da precipitação regional sobre leste da Amazônia e Nordeste do Brasil em uma escala de tempo semanal. Para isso examinaram a estação chuvosa sob o contexto do efeito combinado do ENOS no Pacífico e do gradiente de TSM inter-hemisférico no Atlântico. Assim, dois cenários climáticos anômalos contrastantes foram considerados: desfavorável – com manifestações simultâneas de El Niño no Pacífico e do gradiente de TSM para norte no Atlântico intertropical - e favorável – com ocorrências concomitantes de La Niña e do gradiente de TSM para sul no Atlântico.

## **CAPITULO 4**

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

#### 4.1. Área de estudo

A Figura 4.1 mostra em destaque o Estado da Paraíba, que ocupa cerca de 56.584 Km<sup>2</sup> do território brasileiro e contém 223 municípios com uma população estimada em aproximadamente 3.769.977 habitantes. Está situado no extremo leste da região do NEB e tem cerca de 98% de seu território inserido no polígono da seca. Faz limite ao norte com Estado do Rio Grande do Norte, ao sul com o Estado de Pernambuco, ao leste com o Oceano Atlântico e a oeste com o Estado do Ceará (VITORINO et al. 2006).

O Oceano Pacífico é o maior oceano do mundo. Fica entre a América, a leste; a Ásia e a Austrália, a oeste; e a Antártida, ao sul. Responde por cerca de 33% da superfície da Terra e por 46% de sua superfície aquática com uma área aproximada de 171 milhões de km<sup>2</sup>, tem profundidade média de 3.900 metros e a maior profundidade de 10.924 metros, nos baixos Challenger. É maior que todas as faixas de terra do planeta combinadas (Texto extraído de <http://pessoas.hsw.uol.com.br/informacoes-oceano-pacifico.htm>). A Figura 3.3 mostra as áreas do Pacífico Equatorial utilizadas neste estudo. 28

O Oceano Atlântico ocupa o segundo lugar em extensão no globo, perdendo somente para o Oceano Pacífico. Situa-se entre o continente americano (América do Norte, Central e do Sul) e os continentes europeu e africano, tem uma área de cerca de 82.000.000 km<sup>2</sup> (o equivalente a um quinto de toda a área do planeta), tem profundidade média de 3.330 m (profundidade máxima: Fossa de Porto Rico com 8.648 m) e tem um volume estimado em aproximadamente 321.930.000 km<sup>3</sup> (Texto extraído de <http://pwp.netcabo.pt/geografia/planeta.htm>). O Atlântico Tropical está situado na região tropical do planeta, entre o Trópico de Câncer (23°27'N) e o Trópico de Capricórnio (23°27'S).

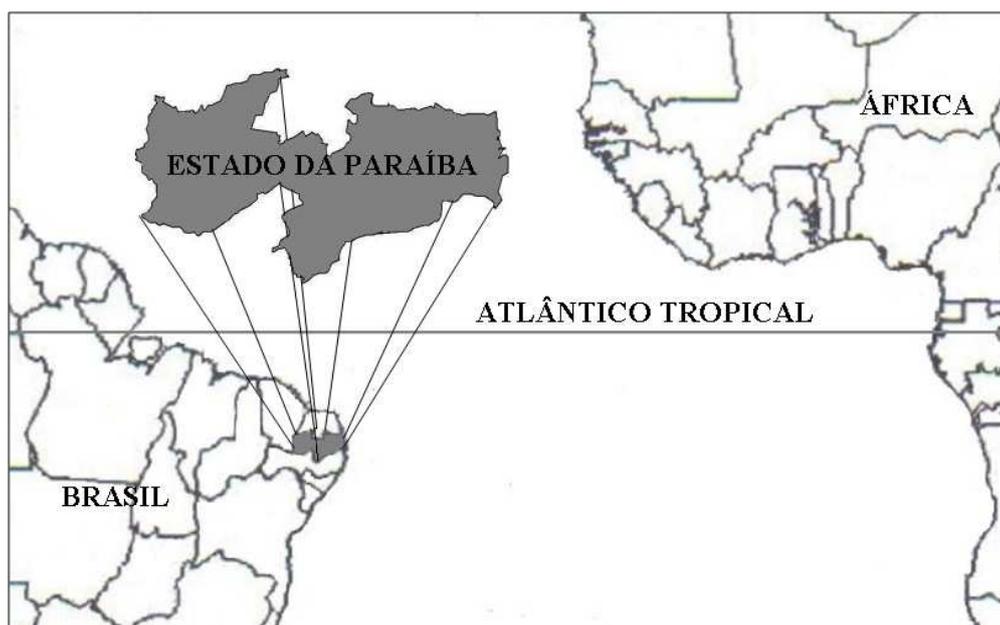


Figura 4.1: Área de estudo: Estado da Paraíba e Oceano Atlântico tropical

## 4.2 Dados

### 4.2.1 Dados de precipitação da Paraíba

Os dados de precipitação mensal usados neste trabalho são de estações meteorológicas e de postos pluviométricos distribuídos no estado da Paraíba no período de janeiro de 1962 a dezembro de 2007. Foram usadas 12 estações representativas das regiões pluviometricamente homogêneas (duas por região) descritas em Brito & Braga (2005), as quais estão representadas da Figura 4.2. Esses dados encontram-se disponível na página da internet da Unidade Acadêmica de Ciências atmosféricas (UACA) do Centro Tecnológicos de Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Os mesmos fazem parte de uma compilação de dados concedidos pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESPA).

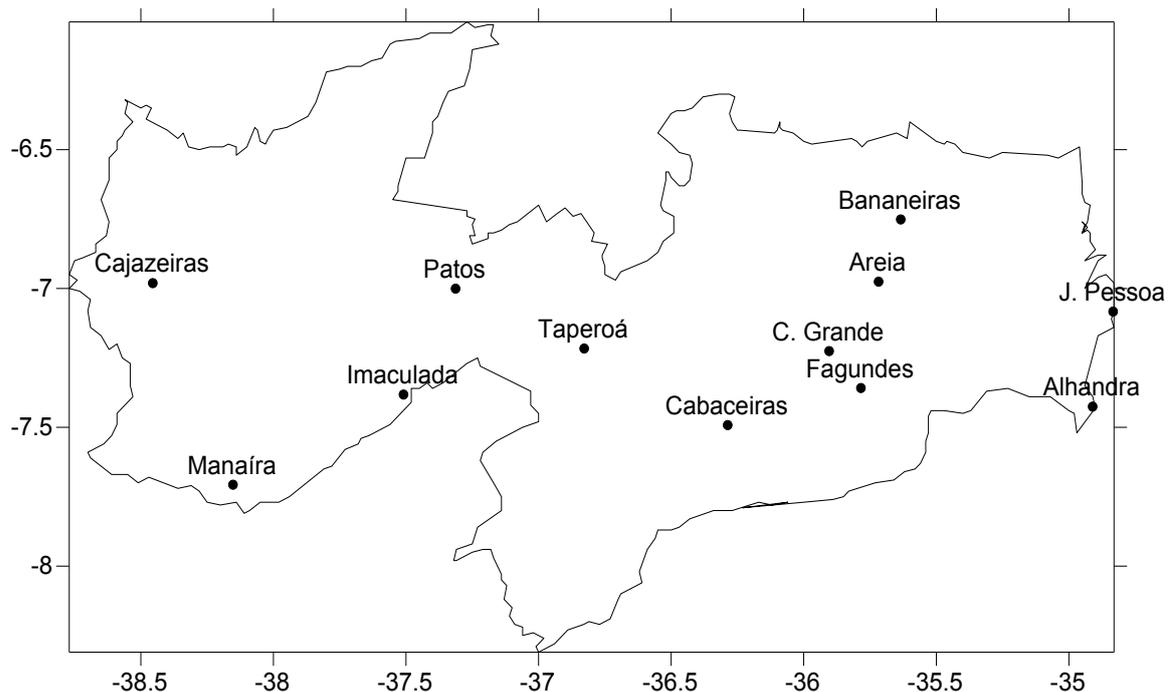


Figura 4.2: Localização geográfica das estações representativas das regiões pluviometricamente homogêneas do estado da Paraíba

#### 4.2.2. Dados de TSM

Os dados de TSM que foram utilizados neste trabalho foram obtidos diretamente da página na internet do NCEP (National Centers for Environmental Prediction) para o período de janeiro de 1962 a dezembro de 2007 e fazem referência as áreas de monitoramento do Pacífico Equatorial (NINO1+2, NINO 3, NINO 3.4 e NINO 4) e Atlântico Tropical (ATLS e ATLS), conforme Figura 4.3. Essas áreas fazem parte das medições in situ descrita em Reynolds et. al. (2002).

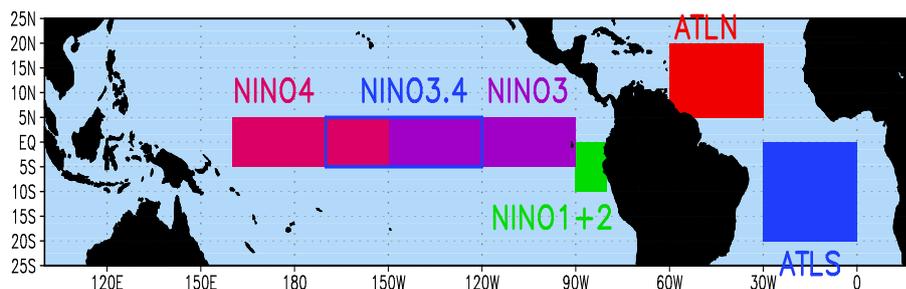


Figura 4.3: Regiões dos índices de monitoramento no Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical. (Fonte: Cerqueira 2007).

### 4.3 Metodologia

Foram selecionadas algumas estações pluviométrica de cidades em cada região homogênea de precipitação obtida por Brito e Braga (2005). Então se aplicou a metodologia da TO proposto na literatura, as quais se destacam: Meyer (1993); Weng & Lau (1994); Torrence & Compo (1998); Morettin (1999); Vitorino (2002); Bolzan (2004); Vitorino et al. (2005); ; Clauzet et al. (2005); Vitorino et al. (2006); Bolzan (2006) Oda (2008), entre outros, já que nosso objetivo foi discutir a multiresolução do sinal de chuvas nas multiescalas ocorridas no estado da Paraíba, e relacioná-las com as variações de TSM nas áreas monitoramento no atlântico Tropical e Pacífico Equatorial.

No que diz respeito à parte matemática em forma de algoritmo computacional, há apenas um – a análise de Fourier – para analisar o sinal estacional, mas há inúmeros outros algoritmos a serem considerados para o sinal não estacional, dentro os quais aqueles que utilizam a ondeleta em análise de tempo-escala e em tempo-freqüência. Basicamente as ondeletas são localizadas no tempo (ou nas escalas), que faz com que sejam ideais para analisar sinais não estacionais, que contenham transitoriedade e estruturas tipo fractais (TORRENCE & COMPO 1998; MORETTIN 1999; BOLZAN 2006). Neste estudo foram empre-

gados os softwares MATLAB 6.5<sup>®</sup> para os cálculos e na confecção dos gráficos de escalogramas de energia de ondeleta em tempo – escala, utilizando os algoritmos de Torrence & Compo (1998), e Microsoft Office Excel 2007<sup>®</sup> para o cálculo e confecção dos totais anuais de chuva, médias anuais de TSM e correlação linear entre as variáveis estudadas.

#### 4.3.1 Transformada em ondeletas (TO)

A TO surgiu em sua forma contínua com os trabalhos de Morlet e Grossman na década de 1980. Para  $f$  de  $L^2(\mathbb{R})$ , a TO, com relação à  $\psi$ , é definida por:

$$W_{\psi}f = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \quad (4.1)$$

Onde  $f(t)$  representa a série temporal e a transformada é o produto interno de  $f$  pela função  $\psi_{a,b}$  representada pela expressão abaixo que é extraída por dilatação (ou compreensão) e translação desta função:

$$\psi_{a,b}(x) = |a|^{-1/2}\psi\left(\frac{x-b}{a}\right), a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0 \quad (4.2)$$

A função  $\psi$  é usualmente chamada de ondeleta - mãe para valores específicos de  $a$  e  $b$ :  $a = 2^{-j}, b = k2^{-j}, j, k \in \mathbb{Z}$  (MORETTIN 1999).

A função ondeleta – mãe  $\psi(t)$  é uma função base geradora simples de pequenas ondas por dilatação ( $\psi\{t\} \Rightarrow \psi\{2t\}$ ) e translação ( $\psi\{t\} \Rightarrow \psi\{t + 1\}$ ), logo, através da ondeleta – mãe, podem ser geradas as ondeletas filhas:

$$\psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \psi\left(\frac{t-k}{j}\right) \quad (4.3)$$

A transformada de ondeleta é definida pela seguinte expressão

$$\langle f, \psi_{j,k} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-k}{j}\right) dt \quad (4.4)$$

A função (4.4) deve ser quadraticamente integrável dentro de um intervalo de tempo real ou espaço  $L^2(\mathbb{R})$ , mostrando que a função deve necessariamente apresentar energia finita. A imposição de que a sua energia média seja zero, constitui apenas uma das condições de admissibilidade da função geradora base ondeleta – mãe.

De uma forma geral a análise em ondeleta consiste em uma decomposição de sinal em diferentes níveis de resolução, esse processo é conhecido como Multiresolução. Em diferentes resoluções, os detalhes de um sinal geralmente caracterizam as grandes estruturas que fornecem o contexto geral. Isso indica que com o aumento da resolução, se obtém detalhes mais refinados (BOLZAN 2006). No trabalho de Bolzan (2006) se apresenta um teste simples mostrando como funciona a idéia central da análise em ondeletas.

Considerando uma ST com um comprimento  $s$  de pontos, colocando  $s$  como potencia de 2 tal que  $s = 2^n$ . No primeiro caso se  $s=1024$ , então  $1024 = 2^n \Rightarrow n = 10$ . Isso significa que se tem 10 escalas (ou frequências) a qual a ondeleta pode detectar, que nesse caso, de uma forma particular, as ondeletas são do tipo discreta. Neste contexto  $n - 1 = 9$  representa a primeira escala (ou frequência) em que a função ondeleta irá atuar, indicando que a ST será dividida em 2 partes iguais, cada uma com  $n - 1 = 9 \Rightarrow 2^9 = 512$  pontos. A função ondeleta – mãe será comprimida pela metade e será aplicada na primeira metade da ST, e em seguida, será transladada para a segunda parte da ST, este processo é mostrado na Figura 4.4.

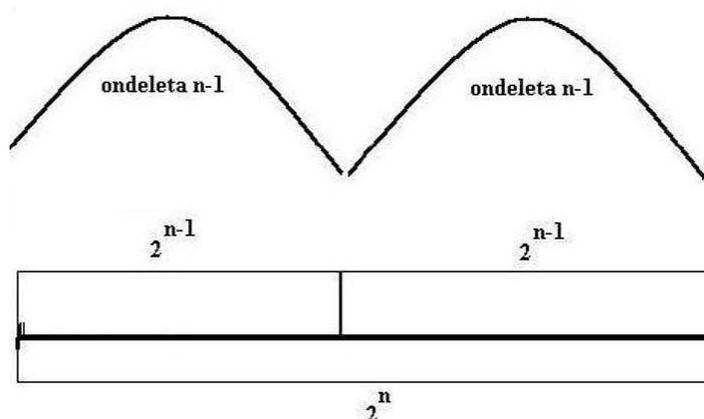


Figura 4.4: Primeira análise de multiresolução dada pela função ondeleta. (Fonte: Bolzan 2006).

No segundo caso, o próximo nível de resolução (ou segundo nível de resolução),  $n - 2 = 8 \Rightarrow 2^8$  pontos. Isso equivale a dividir a ST em 4 partes (metade das duas séries anteriores). Assim, a função ondeleta deve ser novamente comprimida pela metade de modo a caber no primeiro segmento da série de 256

pontos para, em seguida, ser translada para o restante dos segmentos da ST (Figura 4.5)

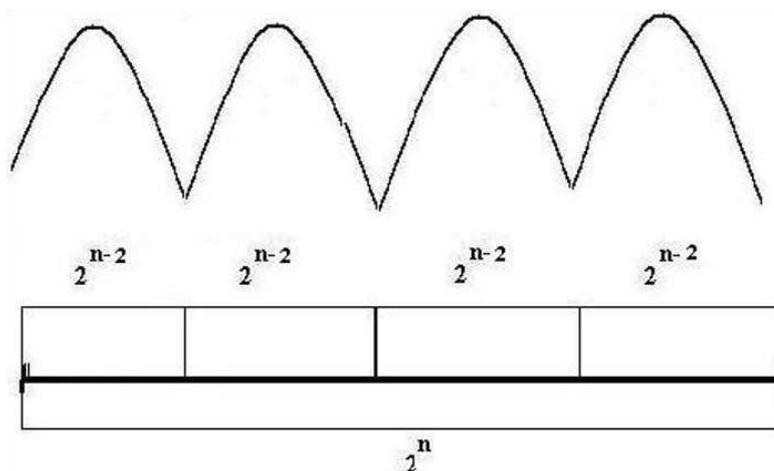


Figura 4.5: Segunda análise de multiresolução dada pela função ondaleta (Fonte: Bolzan 2006).

A decomposição da série até  $n = 1 \Rightarrow 2^1 = 2$  pontos (que representa o ultimo nível de decomposição) fornecerá um diagrama denominado de Periodograma de ondaleta, (Figura 4.6).

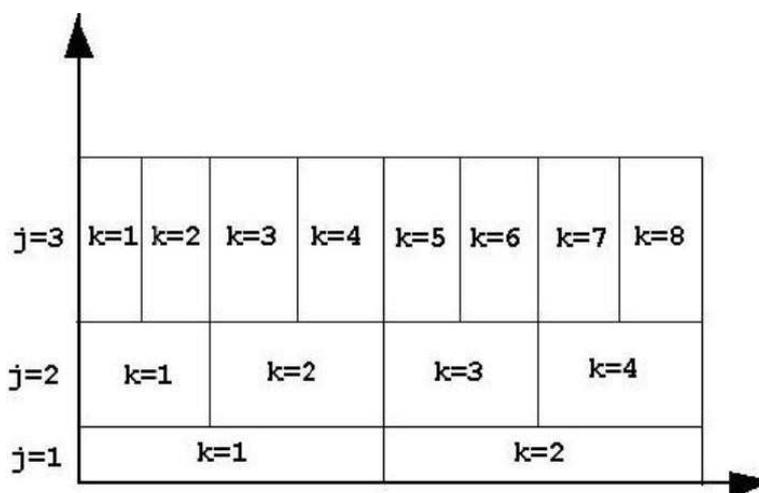


Figura 4.6: Resultado da análise de multiresolução dada pela função ondaleta. (Fonte: Bolzan 2006).

Nos trabalhos de Torrence & Compo (1998); Weng & Lau (1994); Bolzan (2006) é mostrado o resultado final do trabalho de Morlet e Grossman, que deu origem a primeira função ondeleta base denominada de função ondeleta de Morlet, que é dada pela equação 4.5

$$\psi_{i,j}(t) = e^{ikt} e^{-t^2/2} \quad (4.5)$$

Onde  $k$  representa uma constante inteira. A forma dessa função é mostrada na Figura 4.7, que representa uma onda com um envelope gaussiano (BOLZAN 2006)

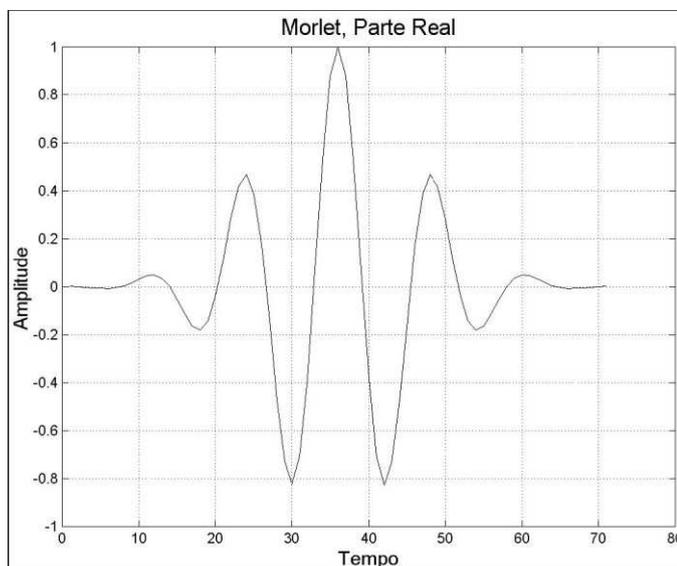


Figura 4.7: Parte real da função ondeleta de Morlet. (Fonte: Bolzan 2006).

#### 4.3.1.1 Alguns tipos de Funções ondeletas

Há basicamente dois tipos de funções ondeletas: as contínuas e as discretas. Para cada uma dessas existe uma aplicação específica, por exemplo, as ondeletas discretas são utilizadas para decompor e filtrar qualquer ST, sua aplicabilidade nesse contexto vem do fato dessas ondeletas não gerarem redundâncias de coeficientes entre escalas (frequências) (MAYER 1993). Entre as ondeletas discretas a mais comum está a de Haar, um exemplo é mostrado na figura 4.8.

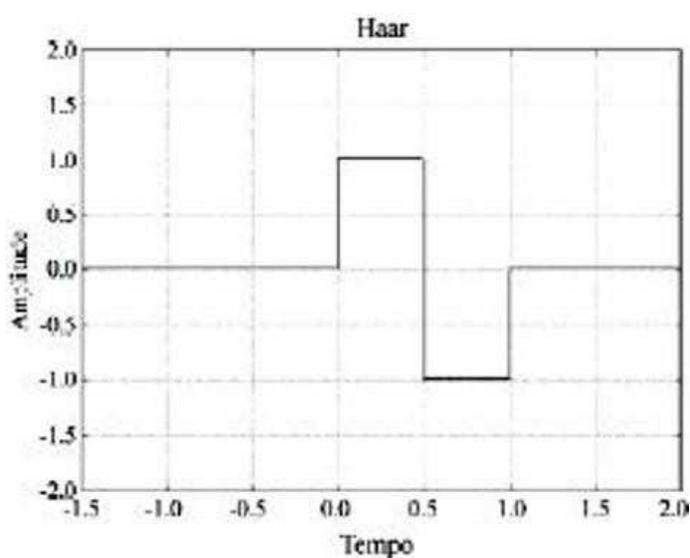


Figura 4.8: Ondeleta de Haar. (Fonte: Cruz 2008).

As ondeletas do tipo contínua geralmente são empregadas para visualizar, através do periodograma, a relação entre as componentes de diferentes frequências em função da escala temporal da ST estudada, onde essas relações são comumente caracterizadas como não-lineares. Entre as ondeletas contínuas

mais comuns estão as de Morlet (representada na Figura 4.7) e a chapéu mexicano (representada na Figura 4.9) (MORETTIN 1999; BOLZAN 2006)

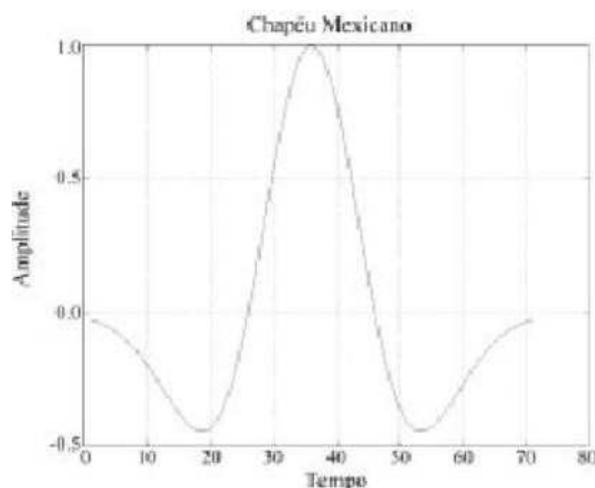


Figura 4.9: Ondelela Chapéu Mexicano. (Fonte: Bolzan 2004).

#### 4.3.1.2 Cone de influência

O cone de influencia representa a região do espectro de ondeleta onde o efeito de borda se torna importante, isto é, é a região onde a análise dos coeficientes de ondeleta sofre alteração devido ao decaimento da função no início e final do sinal (início e fim da ST), e nas áreas de baixa frequência (TORRECE & COMPO 1998). Weng & Lau (1994) consideram o cone de influencia a partir de certo numero na escala diádica, ou seja,  $2^n$  para a região da análise de confiança.

#### 4.3.1.3 Diferenças entre TF e a TO

A TF é uma excelente ferramenta para estudos de espectro de potência (variância) de uma série temporal estacional. Em uma distribuição de densidade espectral identifica a energia associada às frequências e suas relativas contri-

buições para a ST, mas não mostra a sua localização no tempo, isso induz que a TF é útil para extrair informações da fase do sinal. A TF se constitui como uma transformada global, indicando que se o sinal for alterado num pequeno intervalo de tempo, o espectro inteiro pode ser afetado (WENG & LAU 1994; CRUZ 2008). A Figura 4.10 mostra uma comparação entre a TF e a TO sob o ponto de vista das “Janelas”. Nota-se que a TF mantém o mesmo tamanho da janela ao longo de todo o sinal (o problema das janelas fixas de Gabor), e na TO esse tamanho de janela é variável, mostrando que quando se analisa as altas freqüências, a resolução temporal é mais fina (escala menor) em comparação com a análise das freqüências mais baixas (escala maior). Nesse caso a resolução da freqüência tem uma qualidade melhor nas baixas freqüências, onde a segmentação do espectro é mais precisa e resolvida em comparação com as altas freqüências.

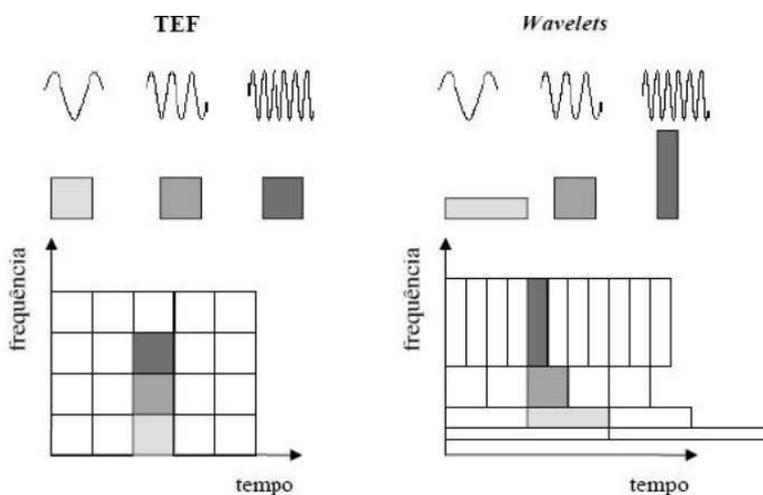


Figura 4.10: Janelas de análise no plano tempo - freqüência para a TF e para as TO. (Fonte: Cruz 2008).

O efeito das freqüências pode ser explicado de uma forma alternativa. Em resumo, para análise das freqüências mais altas a transformada emprega as ondeletas mais finas, comprimidas e de curta duração, o que permite a visualiza-

ção do sinal analisado de uma forma mais detalhada e localizada com melhor resolução temporal. Nas frequências mais baixas as ondeletas se alargam e se dilatam para se enquadrar no sinal de escala maior e com menos detalhes, isso permite a visualização das características globais do espectro (o mesmo que Fourier faz). Nessas bandas de frequência a análise apresenta uma resolução mais fina em comparação com a escala temporal, tornando mais fácil a localização em frequências (CRUZ 2008). A figura 4.11 mostra a comparação entre os segmentos de espectro em uma comparação das frequências de Fourier e de ondeleta.

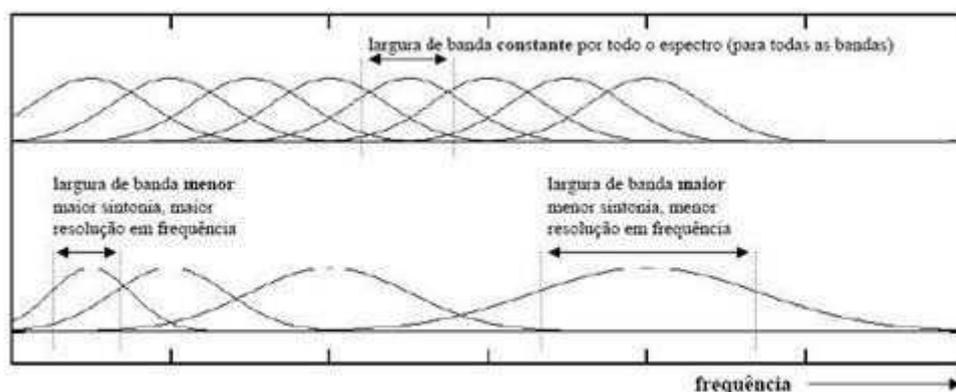


Figura 4.11: Cobertura do espectro de frequência pela TF (parte de cima) e pela TO (parte de baixo). (Fonte: Cruz 2008).

#### 4.3.2 Cálculo do dipolo do Atlântico

Para os cálculos do Dipolo do Atlântico se utilizou apenas a diferença de TSM média mensal entre a área do Atlântico sul e a área do Atlântico Norte descrita em Xavier (2001) com diferenças definidas pelo NCEP entre a área norte e sul ou simplesmente:

$$DPA = ATLS - ATLN \quad (4.6)$$

#### 4.3.3 Determinação dos anos de El Niño e La Niña

Neste trabalho se utilizará a metodologia descrita em Trenberth (1997) para a classificação de anos de EN e LN. Essa classificação consiste na utilização de dados de ATSM da área NIÑO 3.4. De acordo com a metodologia de Trenberth, se analisa as médias mensais de ATSM durante 5 meses, e se essa média for superior a 0,4 °C durante 6 meses ou mais, então esse período pode ser classificado como evento de EN. Para a classificação de anos de LN se aplica a mesma metodologia, mas com média inferior a -0,4°C. A tabela a seguir classifica os períodos de ENOS de 1962 a 2007.

Tabela 4.1: Classificação dos anos de El Niño e La Niña segundo classificação de Trenberth (1997).

EVENTOS DE EL NIÑO			EVENTOS DE LA NIÑA		
INICIO	FIM	DURAÇÃO (MESES)	INICIO	FIM	DURAÇÃO (MESES)
jun/63	fev/64	9	ago/62	fev/63	7
mai/65	jun/66	14	mar/64	jan/65	11
out/68	abr/70	19	mai/70	jan/72	21
mar/72	mar/73	13	abr/73	mai/74	14
ago/76	mar/77	8	jul/74	jun/76	24
abr/82	jun/83	15	set/84	jun/85	10
jul/86	fev/88	20	mar/88	jun/89	16
abr/91	jul/92	16	ago/95	mar/96	8
fev/93	ago/93	7	jun/98	jun/00	25
set/94	abr/95	8	ago/00	fev/01	7
abr/97	mai/98	14	LEGENDA FORTE   MODERADO   FRACO		
mai/02	mar/03	11			
jun/03	jun/04	13			
jul/06	jan/07	7			

## **CAPITULO 5**

### **RESULTADOS**

A seguir serão mostrados os resultados e discussões da análise regional do espectro global e anual de precipitação de ondeletas obtidos a partir da técnica da TO. Para isso foi aplicado à técnica aos dados da precipitação pluvial no estado da Paraíba e de TSM na região do Pacífico Equatorial e do Atlântico Tropical conforme está mostrado nas Figuras 3.2 e 3.3 respectivamente para o período de 1962 a 2007. Estudos observacionais e numéricos relatam que a dinâmica da atmosfera sobre a América do Sul e oceanos vizinhos sofre influência dos efeitos locais e estão associados a oscilações de baixa e alta frequência que modulam as condições do tempo (GANDU & SILVA DIAS 1998; ANDREOLI et. al. 2004; TASCHETTO & WAINER 2008)

Nesta etapa do trabalho serão analisados e discutidos os resultados obtidos da aplicação da ondeletas para a precipitação em seis regiões homogêneas previamente delimitadas no estado da Paraíba segundo Brito & Braga (2005) e para TSM dos oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical. A metodologia aplicada permite detectar as oscilações presentes na variável e verificar o comportamento nas diferentes escalas tempo em cada região homogêneas. A análise de ondeleta teve como base os trabalhos de Meyer (1993); Weng & Lau (1994); Torrence e Compo (1998); Morettin (1999); Vitorino (2002); Bolzan (2004 e 2006); Clauzet, et al. (2005); e Vitorino et al. (2006).

É importante definir as escalas apresentadas pelos escalogramas de energia das para o melhor entendimento das figuras que aparecerão posteriormente. A Tabela 5.1 mostra as escalas de tempo utilizadas nos escalogramas de energia.

Tabela 5.1: Escalas de tempo usadas nos escalogramas de energia de ondeletas

<b>Escala</b>	<b>Nome</b>	<b>Valor (em meses)</b>
<b>&lt;0,25</b>	Intrasazonal	Entre 1 e 2 meses
<b>0,25</b>	Sazonal	3 meses
<b>0,5</b>	Semi-anual	6 meses
<b>1</b>	Anual	12 meses
<b>2</b>	Bianual	24 meses
<b>4</b>	4 anos	48 meses
<b>&gt;8 anos</b>	Decadal	Entre 96 e 192 meses

## 5.1. Análise tempo-escala da precipitação

### 5.1.1 Região do Litoral

Na primeira região homogênea situada no litoral foram escolhidas as cidades de João Pessoa e Alhandra. Observa-se na Figura 5.1 que as duas séries ao longo dos anos apresentam comportamentos semelhantes, porém com alturas pluviométricas diferenciada, a exemplo dos anos 1965, 1973, 1978, 1994, 2003 e 2005 onde se verifica grande diferença de amplitudes, apesar da oscilação do sinal ocorrer em fase similar.

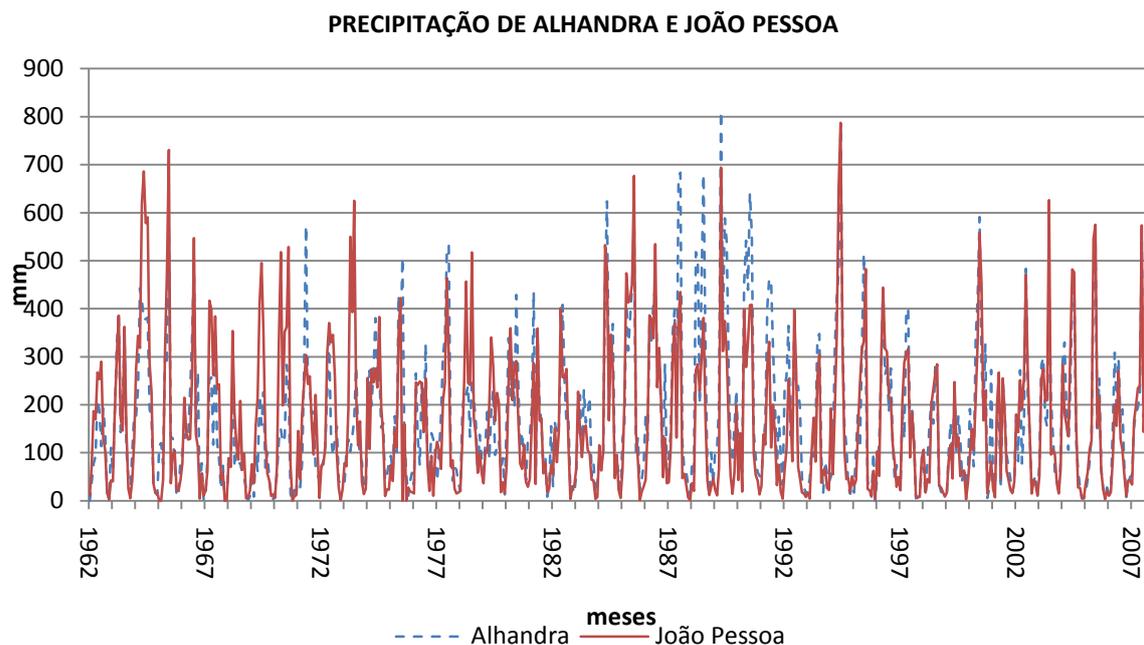


Figura 5.1: Variabilidade temporal dos totais mensais da precipitação em João Pessoa e Alhandra no período de 1962 a 2007.

A análise das ondeletas aplicada para Alhandra apresenta escala anual dominante, como pode ser visto na Figura (5.2b), principalmente nas décadas de 1980 e metade da década de 1990, onde se encontra as máximas energias da precipitação associada à escala anual (representada pela tonalidade marrom). Ainda se destaca um pico de precipitação máxima de 811,9 mm em abril de 1989 com um pequeno núcleo de energia entre a escala mensal e intrasazonal. Observam-se dois núcleos com máximo de energia na escala intrasazonal e outros associados à escala anual nos anos de 1989 e 1994. A escala anual aparece novamente forte em 1993/94, e onde foi registrada uma precipitação de 775,9 mm no mês de junho de 1994. Outros pontos mostram maiores energias entre a escala bianual e de 4 anos, como é o caso dos anos de 1994 e 2000. Esses máximos no espectro de energia em toda a série aparecem principalmente nas escalas de tempo anual e semi-anual.

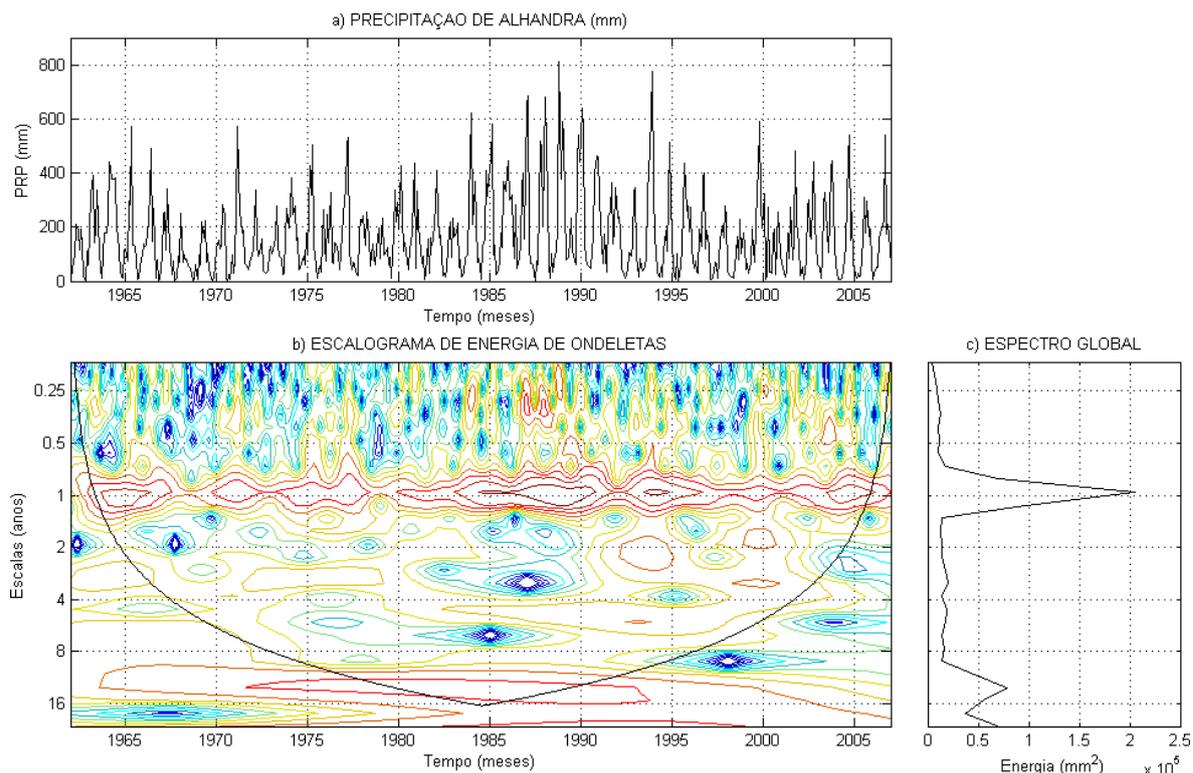


Figura 5.2: a) Série temporal de precipitação, b) Escalograma de energia de ondas, c) Espectro global, para Alhandra

O espectro de energia para a cidade João Pessoa é semelhante ao encontrado para Alhandra, variando apenas em alguns casos nas escalas de tempo de ocorrência, relacionadas aos valores máximos de energia. Como exemplo, no ano de 1965 onde se observa a maior energia associada à escala anual e relações com as escalas inferiores (Figuras 5.3b), com altura pluviométrica da ordem de 731,0 mm no mês de julho. Como no caso anterior, há núcleos de maior energia associada à escala de tempo bianual em 1994 e 2000.

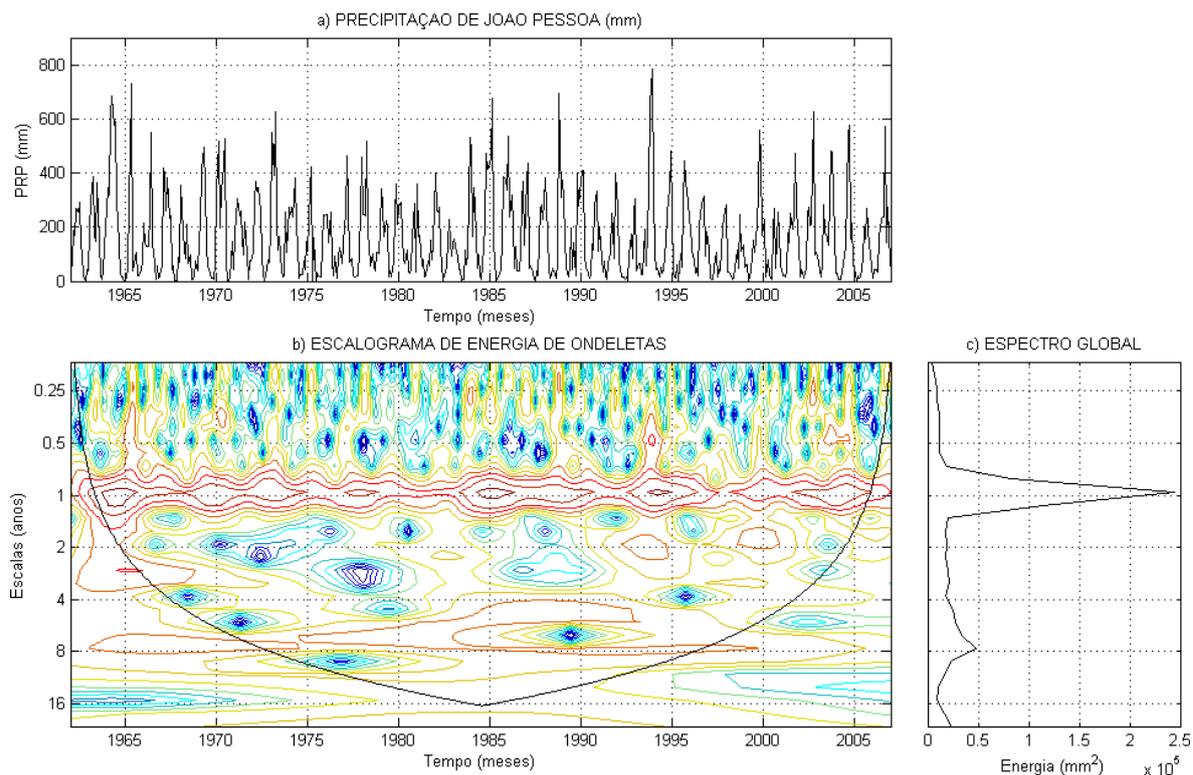


Figura 5.3: a) Série temporal de precipitação, b) Escalograma de energia de ondas, c) Espectro global, para João Pessoa.

João Pessoa (capital do estado da Paraíba) está localizado mais ao norte de Alhandra. Dentre todas as localidades estudadas, foi a que apresentou o ciclo anual mais marcante com a maior energia média associada ao ciclo (Figura 5.3 c). Os dois eventos com maior precipitação apresentaram semelhanças, com interações entre a escala anual e semi-anual em 1965 e 1994

### 5.1.2 Região do Brejo

A região do Brejo situada próximo ao litoral paraibano apresenta características e regime climático semelhantes ao litoral, porém, com índice pluviométrico bem abaixo da ordem 1200 mm anuais. Esta região está representada pelas cidades de Areia e Bananeiras (Figura 5.4), as quais têm comportamento pluviométrico muito semelhante, com exceção do ano de 1966 onde se verifica grande discrepância entre a pluviometria das duas séries (Areia passando dos 500 mm em julho e Bananeiras contra apenas 100 mm).

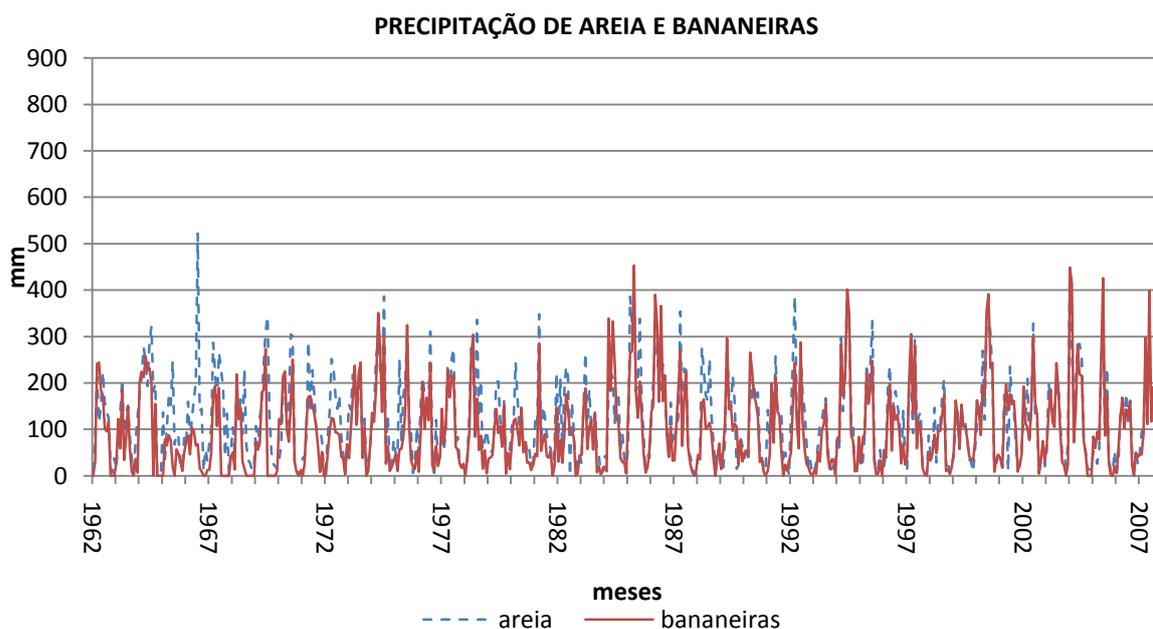


Figura 5.4: Variabilidade dos totais mensais da precipitação em Areia e Bananeiras no período de 1962 a 2007.

Analisando o espectro de energia da precipitação para a cidade de areia (Figuras 5.5b e 5.5c) pode se perceber que no ano de 1966 existe uma associação máxima entre as energias das escalas anual e semi-anual. Em 2004 des-

taca-se um núcleo máximo de energia na escala anual associado à escala de bianual e a escala semi-anual, que se estende até a escala intrasazonal, provocado pela elevada pluviometria registrada no mês de janeiro de 2004. Dois picos de energia de forma menos intensa na escala anual associados à escala semi-anual e intrasazonal são verificados em 1985 e 1992. De forma análoga aos casos mostrados anteriormente, os anos de 1985 e 1992 apresentam núcleo entre as escalas de tempo semi-anual e intrasazonal, porém, de menor intensidade.

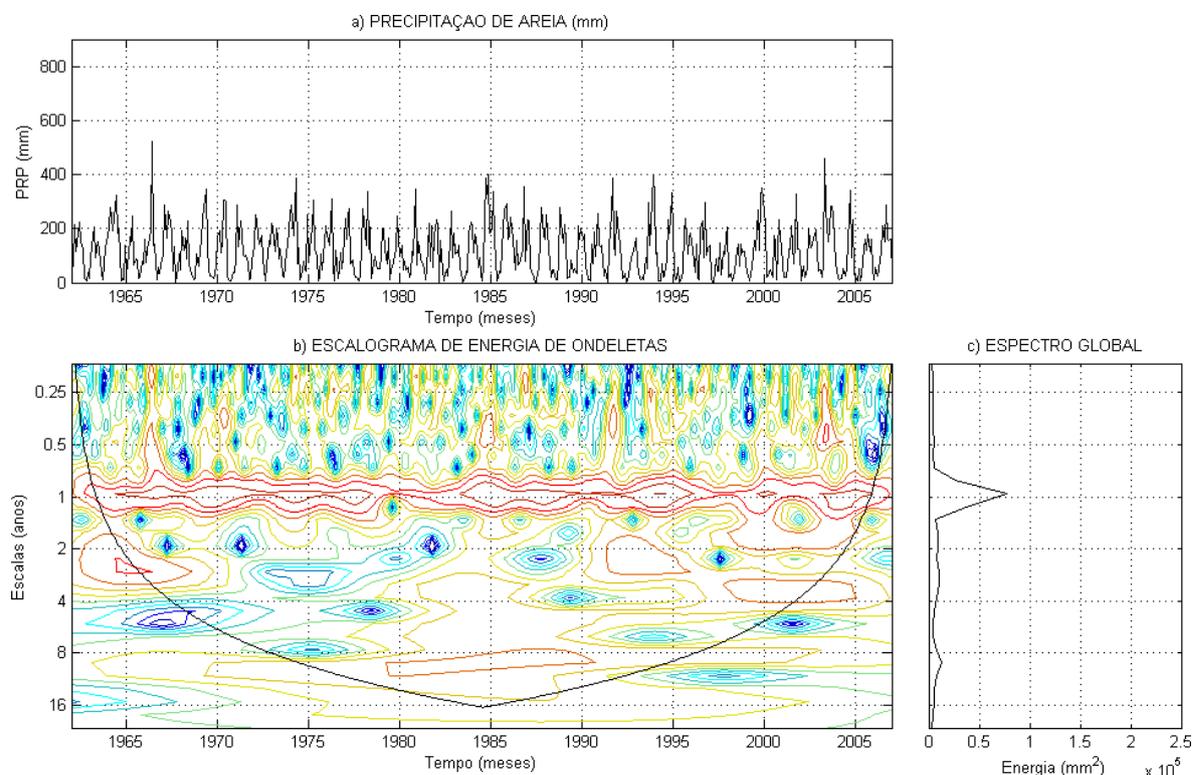


Figura 5.5: a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para Areia

O espectro de energia de ondeletas para a cidade de Bananeiras apresenta diferentes escalas de tempo se comparada à Areia. Entretanto, algumas semelhanças são observadas no espectro de energia associada à escala bianual, anual, semi-anual e intrasazonal em 2004 (Figura 5.6b), ocasionado pela elevada

precipitação em janeiro deste ano, 447,3 mm. Outros picos de energias entre a escala bianual e de 4 anos ocorrem em 1965 e em 1994. A partir 1994, as energias contidas na escala bianual se estendem por vários anos, até aproximadamente 2005, onde muda para a escala de 4 anos. Observa-se ainda que no ano de 1985 exista um forte núcleo de energia na escala de tempo anual. Neste ano as chuvas ultrapassaram a média em todo Nordeste (BRITO & BRAGA 2005).

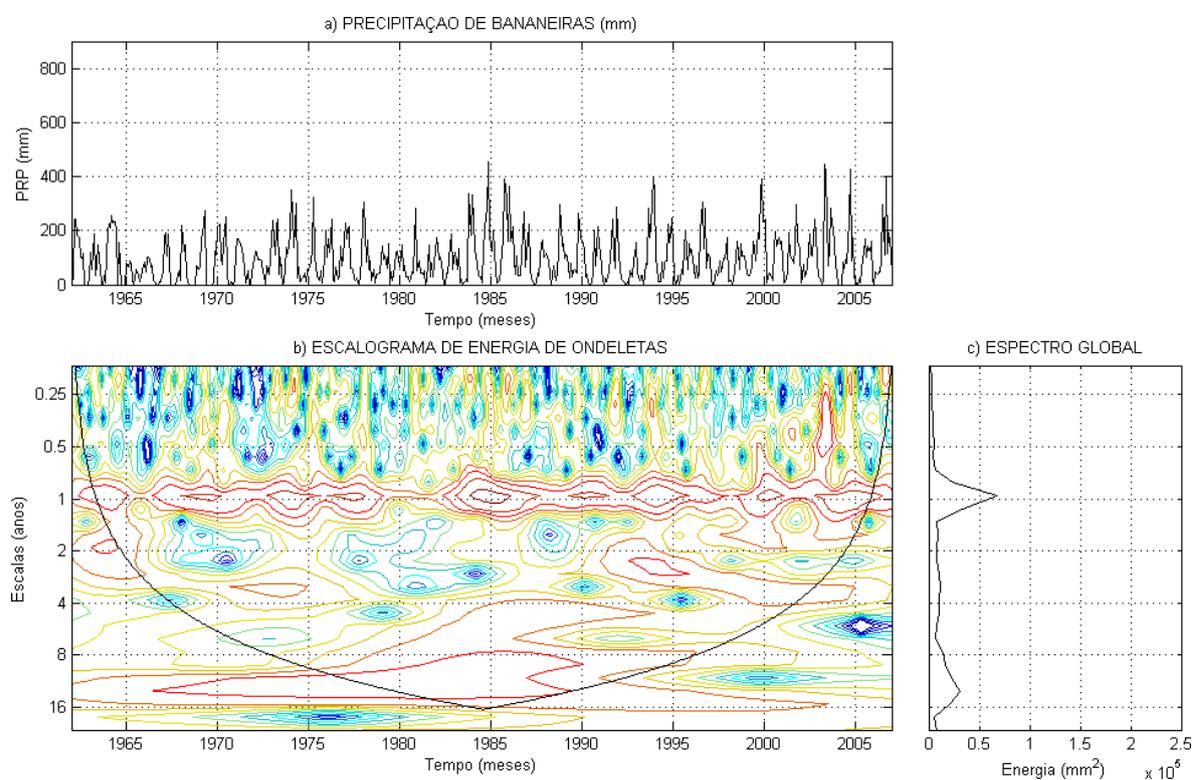


Figura 5.6: a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potência de ondeletas, c) Espectro global, para Bananeiras

### 5.1.3 Região do Agreste

A Figura 5.7 mostra a variabilidade dos totais anuais para a região do Agreste localizada na parte central do estado, a qual está representada pelas ci-

dades de Campina Grande e Fagundes. Como se espera, as séries apresentam comportamento semelhante no decorrer do tempo.

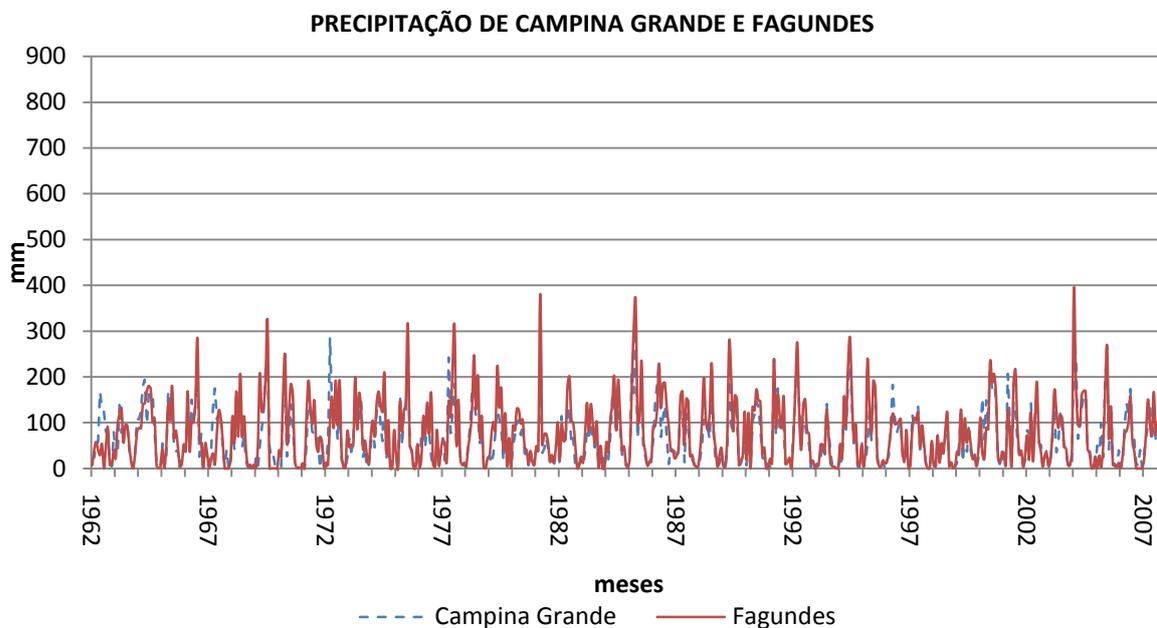


Figura 5.7: Variabilidade dos totais mensais da precipitação em Campina Grande e Fagundes no período de 1962 a 2007.

Em Campina Grande a escala anual não é tão marcante (Figura 5.8 c) devido ao fato da pluviometria da região não ser tão elevada. No entanto, observa-se em 2004 um núcleo evidente entre as escalas de tempo semi-anual e intra-sazonal e a energia da escala anual mesclada a energia da escala de tempo bi-anual, ocasionados pelas chuvas ocorridas em fevereiro. Em 2005 aparece um pico de energia, mas nesse caso, o núcleo de energia está entre a escala mensal e intrasazonal, aliado a um núcleo forte na escala anual. Em 1985 é observado um pico forte de energia na escala anual e mensal com precipitação da ordem 305,4 mm em abril. Este não foi visualizado na análise de ondeletas das regiões do Brejo e Litoral.

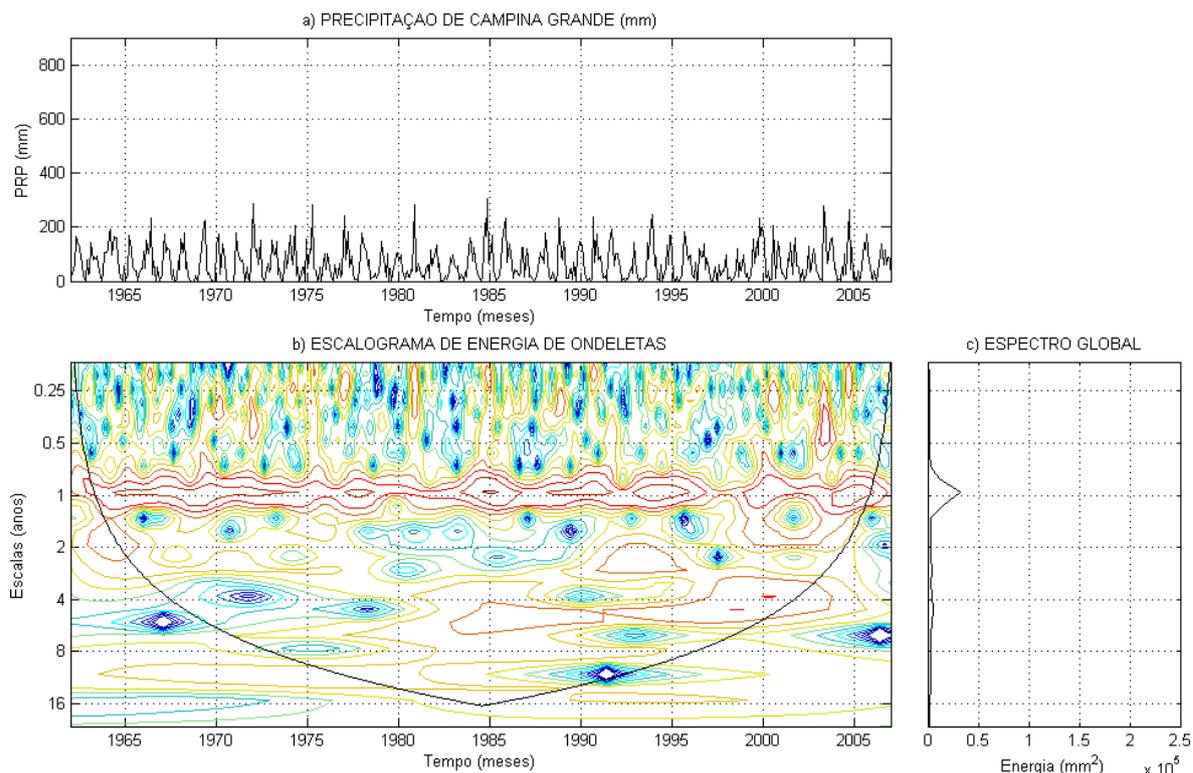


Figura 5.8: a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potência de ondeletas, c) Espectro global, para Campina Grande

A configuração da variabilidade anual de precipitação para a cidade de Fagundes (Figura 5.9) mostra o ano de 2004 semelhante à Campina Grande, com um núcleo de energia entre as escalas de tempo semi-anual e intrasazonal, existindo uma interação com a energia na escala anual e bianual relacionada ao máximo de chuva ocorrida em janeiro da ordem 394,0 mm. Dois casos semelhantes ao anterior são identificados no mês de março de 1981 com 381,0 mm e em abril de 1985 com 366,1 mm, os quais estão associados às escalas de energia anual, semi-anual e intrasazonal. Observa-se também que em 1981 há um núcleo bem definido na escala mensal. Em 1985 constata-se a existência de núcleo muito intenso na escala anual, e menos intenso na escala semi-anual. Outras duas situações a serem destacadas é o intervalo entre os anos 1990 e 1995 onde se obser-

va bem definido um núcleo na escala bianual e outra atuante na escala de 4 anos com início no ano de 1992 e final em 2004.

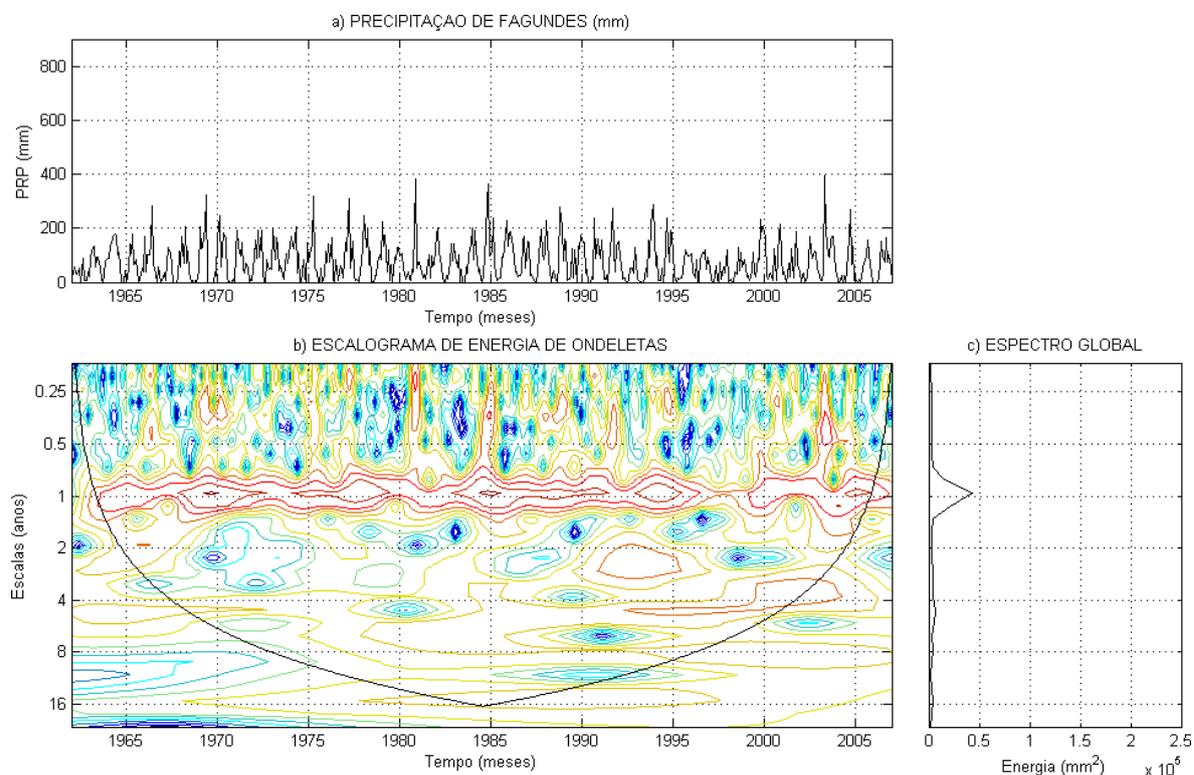


Figura 5.9: a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potência de ondeletas, c) Espectro global, para Fagundes

#### 5.1.4 Região do Cariri/Curimataú

A região do Cariri/Curimataú é a região mais seca do estado e está representada neste trabalho pelas cidades de Cabeceiras e Taperoá. As chuvas nessa região têm início, em média, no mês de janeiro e se estendem até maio com trimestre mais chuvoso de fevereiro a abril (FMA) (VAREJÃO-SILVA et. al. 1984). O comportamento espacial das séries temporais que compõem essa região é homogêneo, porém existem grandes discrepâncias em relação às alturas pluviométrica das mesmas, ocasionadas principalmente pela orografia da região.

Verifica-se para o mês de março de 1973 que em Cabaceiras foram registrados 16,2 mm contra 151,8 mm de Taperoá (Figura 5.10). Em 2006 no trimestre mais chuvoso FMA Cabaceiras registrou 134,1 mm e Taperoá 598,8, respectivamente.

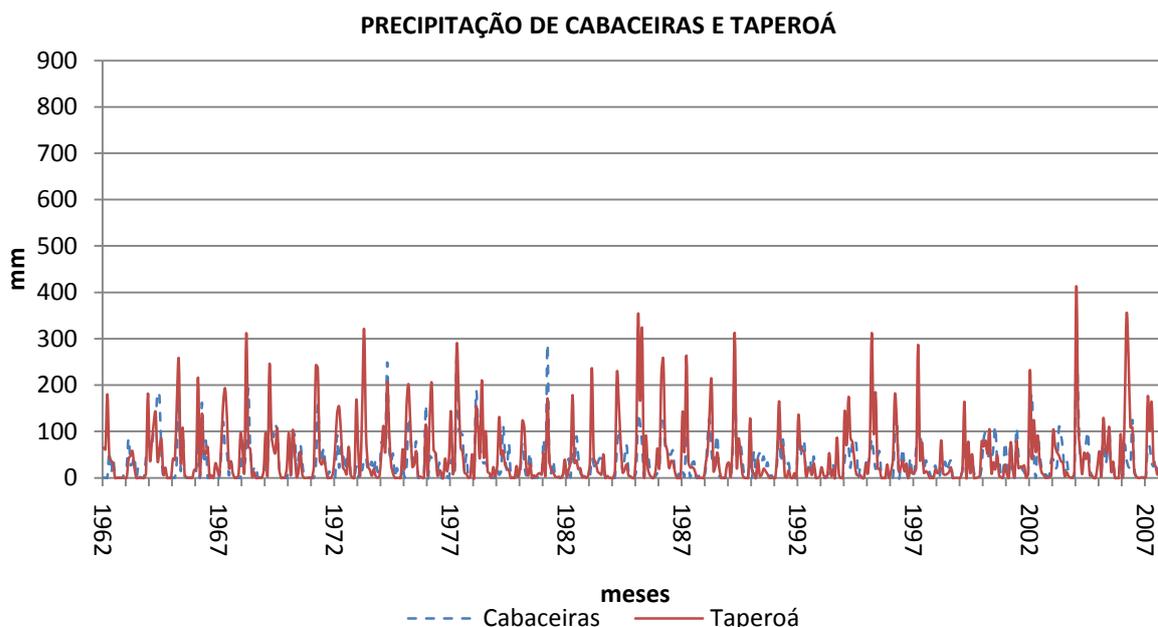


Figura 5.10: Variabilidade dos totais mensais da precipitação em Cabaceiras e Taperoá no período de 1962 a 2007.

A análise de ondeleta aplicada à série de dados de Cabaceiras mostra-se bastante irregular, com descontinuidade ao longo do tempo na escala anual. A energia da PRP associada a essa mesma escala é baixa, destacando apenas alguns máximos mais ou menos definidos em 1974, 1977, 1981, 1988 e 2004, associados às escalas bianual, anual e semi-anual se estendendo até a mensal. No caso de 2004 o pico máximo de energia foi mais intenso que nos demais anos nas escalas tempo anual, bianual, intrasazonal e mensal. Neste ano choveu muito em toda Paraíba, as quais foram provocadas pela atuação dos vórtices ciclônicos em conjunto com a atuação da ZCIT (BRITO et. al. 2004; BRITO & BRAGA 2005).

Nota-se que esses máximos de energia ocorrem sempre no começo do ano, como já era esperado devido à atuação da ZCIT que o mecanismo gerador de chuva mais importante no Cariri (BRITO & BRAGA, 2005). Observando a série climatológica verifica-se que em março de 1981 choveu 288,5 mm justamente onde se observa um núcleo de energia bem definido e intenso desde a escala bianual até a mensal. Aparecem vários núcleos fechados entre as escalas semi-anual e intra-sazonal além do que existem interações bem definidas na escala bianual até a escala de 4 anos, como é o caso dos anos 1970, 1975, 1980, 1981 e 1994, entre outros (Figura 5.11b).

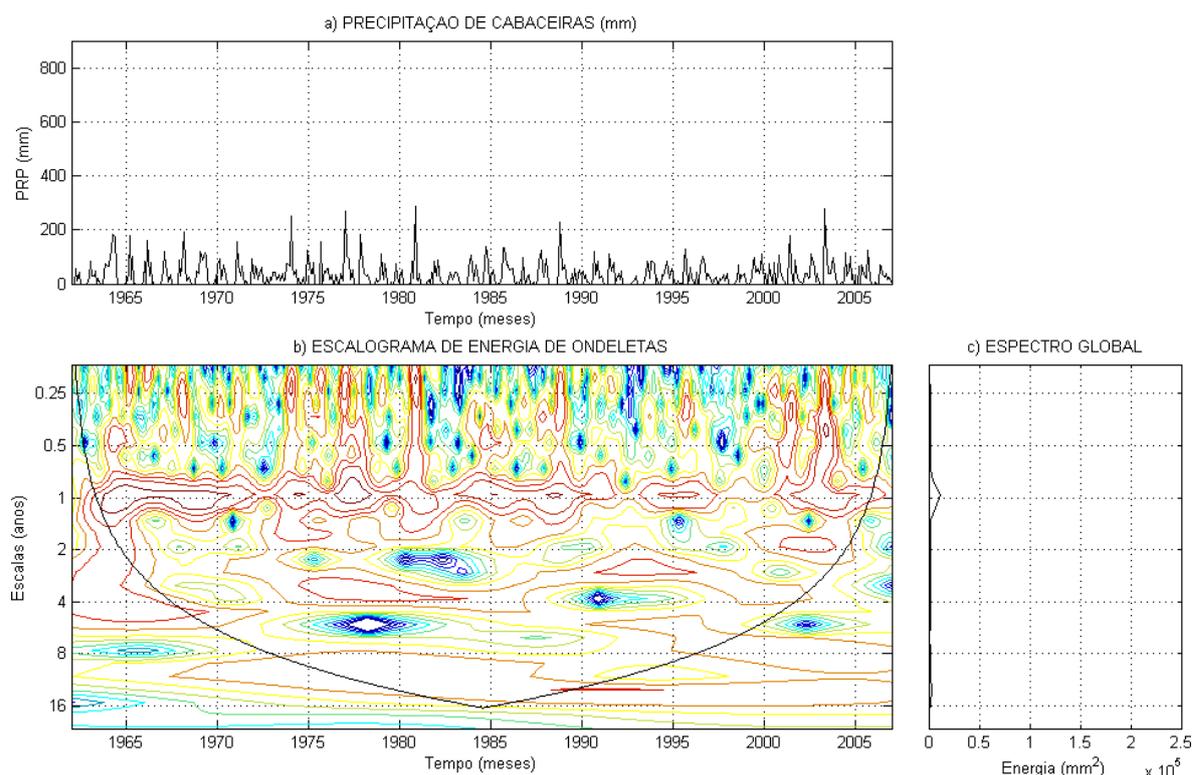


Figura 5.11: a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potência de ondeletas, c) Espectro global, para Cabaceiras

A Figura 5.12 ilustra a variabilidade mensal da pluviometria para a cidade de Taperoá, onde apresenta o ciclo anual de forma mais ou menos contí-

nua, com máximos nos anos de 1985 e 2004. O espectro de energia de ondeleta para Taperoá é semelhante ao encontrado para Cabaceiras (Figura 5.12b), variando apenas nas escalas de ocorrências relacionadas aos valores máximos de energia da precipitação. A Figura 5.12b mostra áreas com eventos ligados a núcleos de energia bem definidos em 1968, 1972, 1977, 1985, 1995, 2004 e 2005. Começando com o caso de 2004 que apresentou chuvas intensas com aparecimento dos máximos de energia nas escalas anual, semi-anual, intrasazonal e mensal. As chuvas dos primeiros meses foram as que mais contribuíram para o espectro de energia, pois foi observado em janeiro de 2004 um valor de 413,6 mm. O ano de 2006 merece ser destacado, pois apresenta configuração semelhante a 2004 com as maiores energias associadas nas escalas anual, semi-anual intrasazonal e mensal, com formação de um núcleo na escala anual e na escala bianual. Em 1985 aparece outro núcleo muito intenso na escala anual associado com energias na escala semi-anual. Vale ressaltar que não se observou durante quase toda a série energias associadas às escalas bianual e de 4 anos, mas somente na escala decadal entre os anos de 1980 a aproximadamente 1995, o que fez com que aparecesse uma pequena elevação na espectro global de energia na escala decadal (Figura 5.12c). Por fim, dois picos na precipitação se destacam nos anos de 1995 e 1997, onde na escala anual aparece um núcleo isolado compreendendo esses anos.

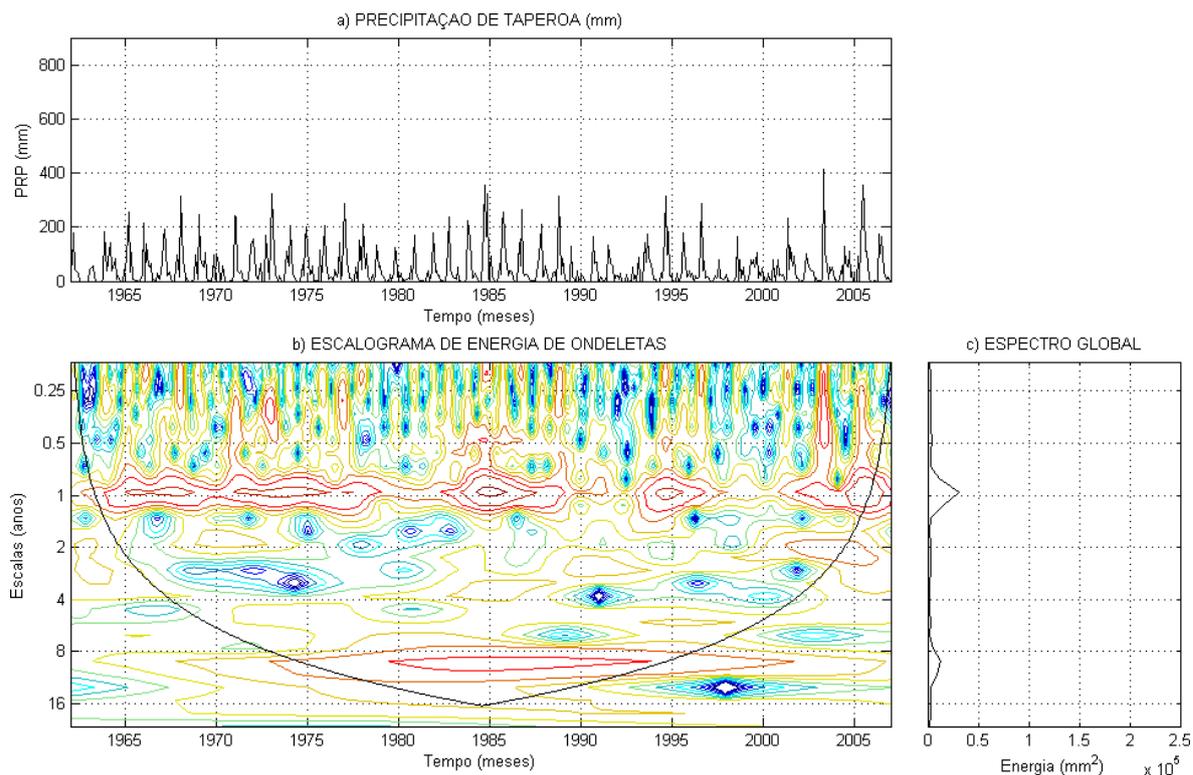


Figura 5.12: a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potência de ondeletas, c) Espectro global, para Taperoá

### 5.1.5 Região do Sertão

A região do Sertão está situada no interior do estado, representada pelas cidades de Patos e Imaculada, as quais apresentam variabilidade similar, embora se observe que em Patos suas amplitudes são em geral mais elevadas que Imaculada (FIGURA 5.13). Nessa região o trimestre mais chuvoso ocorre em fevereiro, março e abril (VAREJÃO-SILVA et. al. 1984). Como exemplo, em abril de 1965 choveu 486,7 mm contra 265,5 mm em Patos, em Imaculada situações idênticas foram detectadas em janeiro de 1997, 1998, 1999 e 2000.

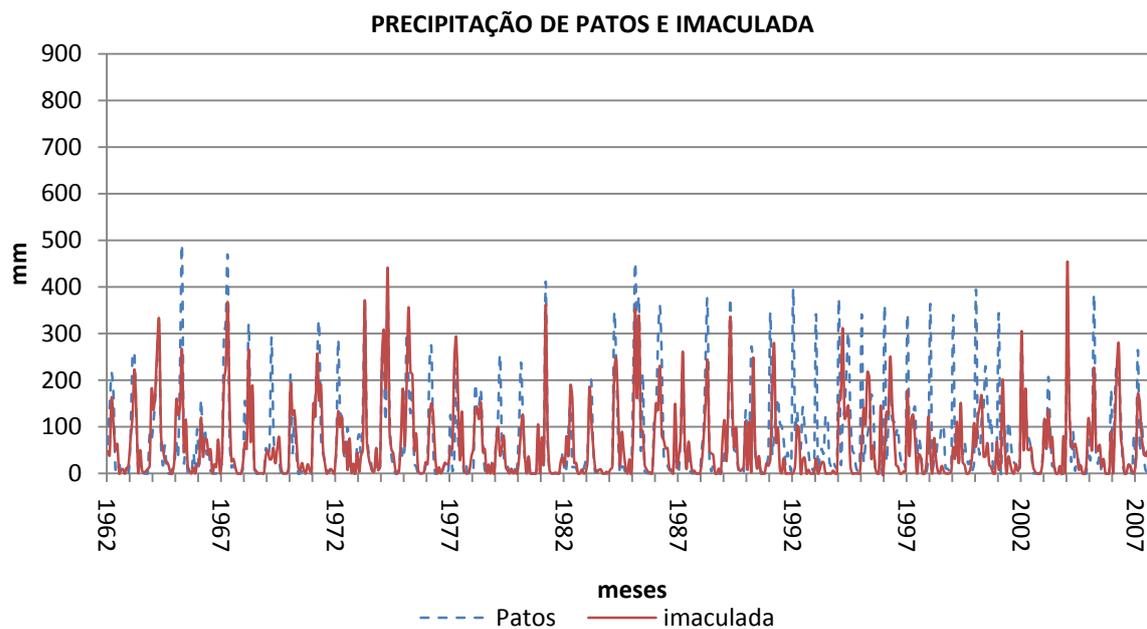


Figura 5.13: Variabilidades dos totais mensais da precipitação em Patos e Imaculada no período de 1962 a 2007.

A aplicação da análise de ondeletas para Patos mostrou que o espectro de energia é mais intenso em 1965, pois além da escala anual, ainda existe associação forte nas escalas semi-anual, intrasazonal e mensal. Associada a esse período está a maior precipitação registrada em Patos, que ocorreu em abril de 1965 com 486,7 mm. O segundo maior registro ocorreu em abril de 1967, com 463,5 mm com características semelhantes ao caso anterior exceto pela interação com a escala mensal, além do que, aparece um pequeno núcleo bem definido na escala semi-anual. Em 1981 quem aparece mais intensa é a escala semi-anual e intrasazonal ocasionados pela elevada da precipitação em torno de 400 mm registrada no mês de março, também ocorre um pico acentuado de precipitação, com um padrão semelhante aos casos anteriores, mas com fraca interação com a escala anual. Nos anos de 1984, 1985 e 1986 se observa na escala anual um forte núcleo de energia muito bem definido e uma pequena interação com a escala

semi-anual no ano de 1986. A década de 1990 apresenta descontinuidade na energia associada à escala anual, porém, algumas configurações nas escalas abaixo são bastante evidentes nos anos de 1991 a 1995, 1997 e 1998, com acentuadas precipitações as quais ocasionaram variabilidade nas chuvas mensais ocorridas nessa década.

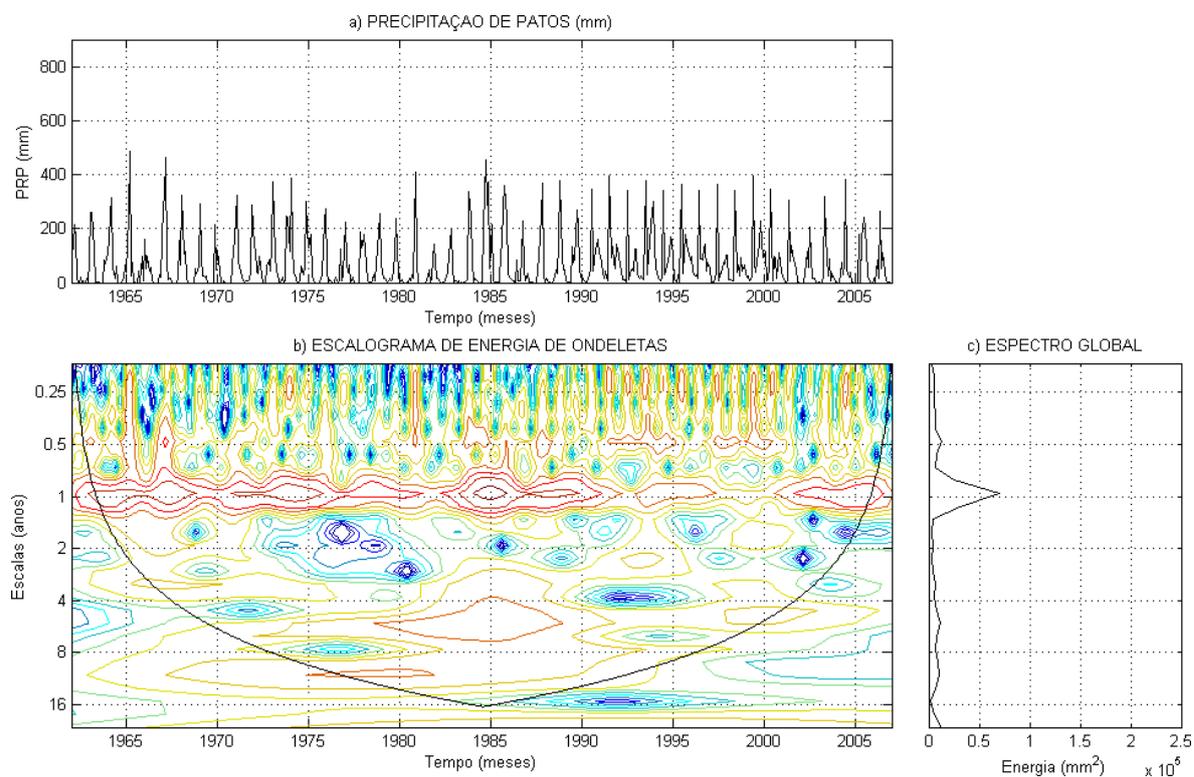


Figura 5.14: a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potência de ondeletas, c) Espectro global, para Patos

O espectro de energia de ondeleta para a cidade Imaculada apresenta a escala anual melhor definida que a de Patos. Para o evento de 2004 as configurações energéticas são semelhantes aos outros casos estudados, com interações das maiores energias nas escalas anual, semi-anual, intrasazonal e mensal, e foi provocada pela elevada chuva registrada janeiro de 2004 com 452,2 mm. O segundo maior registro da série foi no mês de abril de 1974 com 441,2 mm, e ob-

serva-se que a energia da PRP associada à escala anual está muito intensa, além do que, existem outros núcleos atuantes na escala semi-anual e intrasazonal. Grandes quantidades de energias atuam entre as escala bianual e de 4 anos, que tem início no ano de 1964 e fim no ano de 1980, apresentando um núcleo bem definido principalmente sobre os anos de 1973, 1974 e 1975. Em 1967 existe uma associação entre a energia na escala anual com a energia na escala semi-anual, na qual foi registrado o terceiro maior evento de PRP da série. E, por fim, outro evento relevante por apresentar um núcleo pequeno e muito bem definido na escala anual é o ano de 1985 onde também se observa outro núcleo atuante entre as escalas mensal e intrasazonal.

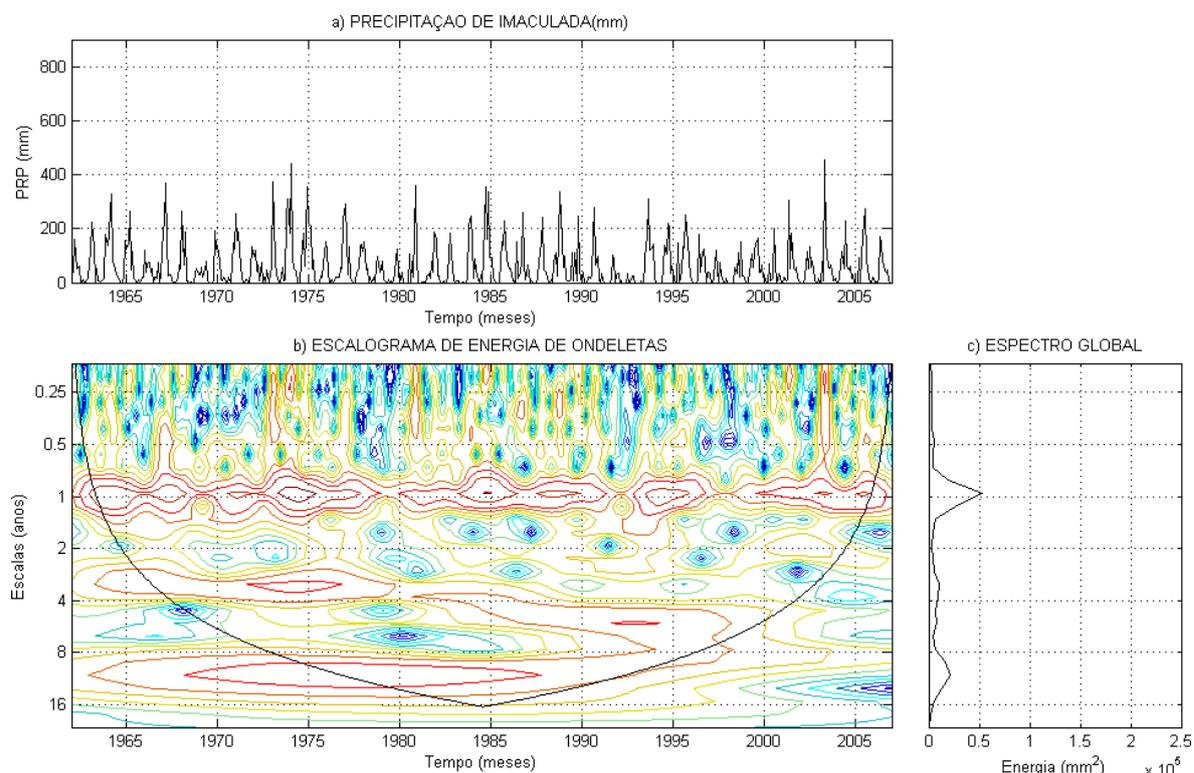


Figura 5.15: a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para Imaculada

### 5.1.6 Região do Alto Sertão

A Figura 5.16 representa a variabilidade mensal da pluviometria das duas séries temporais das cidades de Cajazeiras e Manaíra situada na região 6 que corresponde ao Alto Sertão paraibano, localizado no extremo oeste do estado. Pode-se notar que o comportamento temporal das chuvas nesta área indica que o período mais chuvoso se concentra no trimestre fevereiro-março-abril, devido à posição da ZCIT que nesta época do ano se desloca mais para sul ocasionando chuvas no interior do Nordeste do Brasil (NIMER 1972; NIMER 1979; NOBRE et al. 1982; RAO et al 1993; NOBRE & MELO, 2001; BRITO et al. 2004).

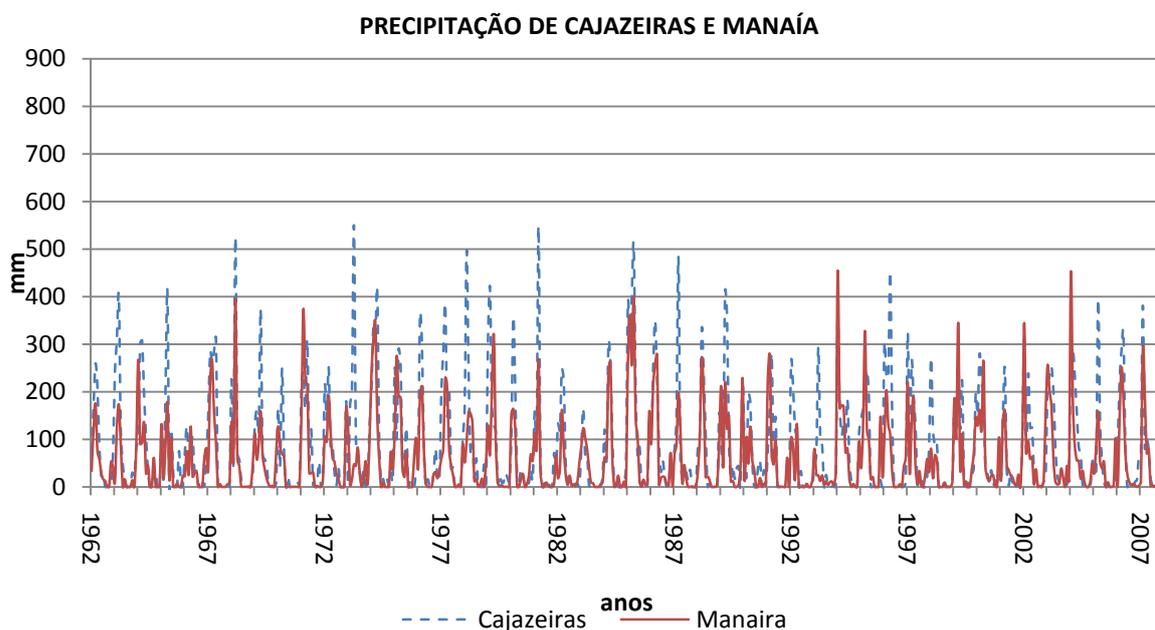


Figura 5.16: Variabilidades dos totais mensais da precipitação de Cajazeiras e Manaíra no período de 1962 a 2007.

A análise do espectro de energia global de ondeleta da precipitação para Cajazeiras apresentou a escala anual muito intensa com maior precipitação

registrada em abril de 1973 (549,9 mm) e segunda maior em março de 1981 (547,8 mm). No primeiro caso, se observa através da energia de ondeleta (Figura 5.17b), que existe o início de uma intensa energia associada à escala anual, que com uma fraca interação com um núcleo de energia entre as escalas intrasazonal e semi-anual culminou no evento de abril de 1973. Para o segundo caso as interações entre as escalas abaixo da anual são mais evidentes (principalmente na escalas mensal, intrasazonal e semi-anual), porém, o ano de 1981 representa o final da intensa energia associada à escala anual, onde se pode concluir que o ciclo anual tem mais relevância nas precipitações em Cajazeiras, mas não se podem deixar de lado as escalas inferiores a anual, lembrando que esse evento com o ciclo anual intenso ocorreu em quase toda a década de 1970, com pequenas interações ao longo da mesma. Outro evento que se destacou por apresentar a energia associada ao ciclo anual intensa, só que de uma forma isolada, foi o ano de 1985, com outro núcleo na escala de 4 anos, que também apresentou um pico na precipitação no mês de abril.

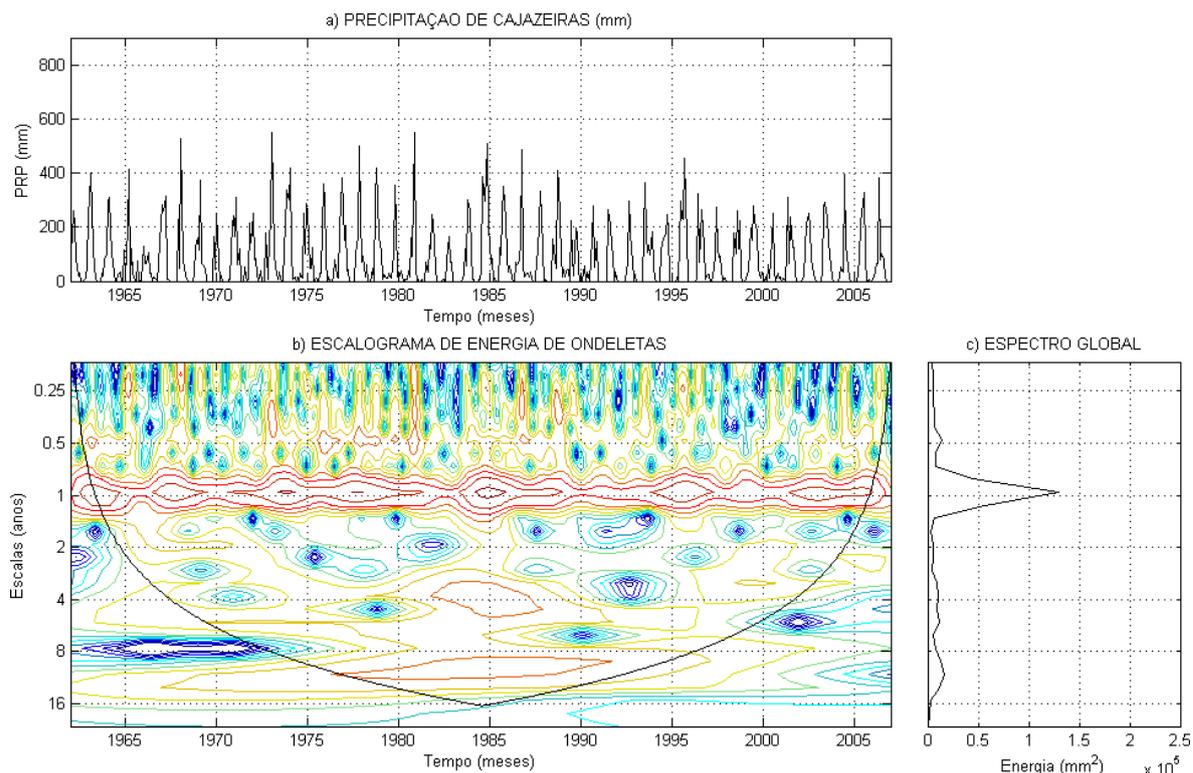


Figura 5.17: a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potência de ondeletas, c) Espectro global, para Cajazeiras.

Finalmente, a cidade de Manaíra apresenta um ciclo anual com menor intensidade (Figura 5.18c) e se observa que ao longo do tempo esse ciclo anual é bastante irregular (Figura 5.18b). Em janeiro de 1994 foi observada uma precipitação mensal de 454,4 mm, o que representou o maior evento da série, e com 451,2 mm, janeiro de 2004 representou o segundo maior evento da série. Para ambas as situações se observam através da energia de ondeleta que existe interações relativamente fortes entre as energias nas escalas mensal, intrasazonal e semi-anual, em conjunção com a escala anual, mas existe uma pequena diferença entre os dois casos. Em 1994 a energia extrapola o ciclo anual chegando até aproximadamente a escala bianual, enquanto que em 2004 a associação entre as energias abaixo da escala anual é bem menos intensa. Esses dois últimos eventos são bem distintos dos demais eventos das outras regiões estudadas, como

também são diferentes entre si, mas o padrão entre as configurações energéticas são quase idênticas. Destaca-se, ainda, o ano de 1968 com um padrão também distinto dos demais, onde um núcleo de energia na escala mensal interage de forma não tão intensa com a escala anual proporcionado por um pico de precipitação considerável. Outros dois picos a serem levados em consideração são os anos de 1971 e 1974, com uma configuração energética semelhante com interação forte da energia na escala anual com a da escala semi-anual. Uma configuração também muito interessante aparece no ano de 1985, onde a energia associada ao ciclo anual aparece de forma muito intensa na forma de um núcleo.

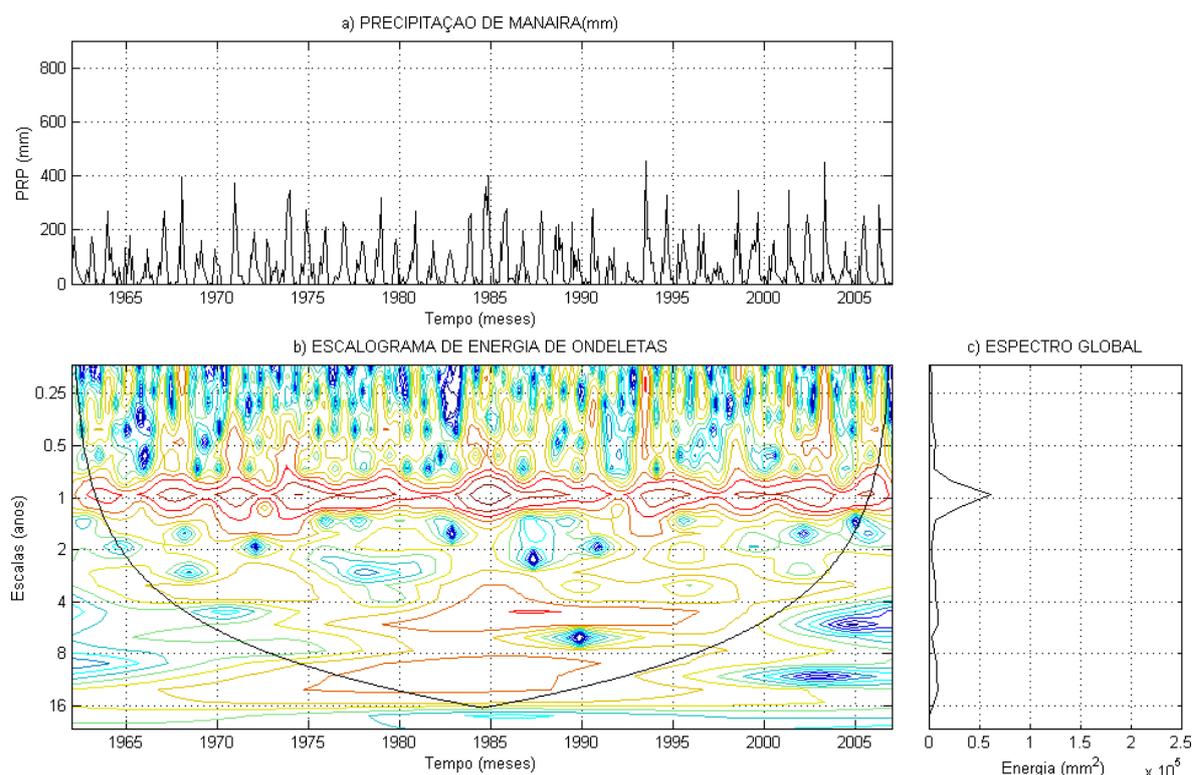


Figura 5.18: a) Série temporal de precipitação, b) Espectro de potência de ondeletas, c) Espectro global, para Manaíra

Observou-se ainda que para todos os anos estudados existe uma interação forte em 1985 associada a energia de ondeleta na escala anual em todas

as regiões homogêneas do estado, isso possivelmente se deve ao fato do ano 1985 ter chovido bem acima da média climatológica na Paraíba e em quase todo o Nordeste brasileiro (BRITO et, al. 2004).

## 5.2. Análise tempo-escala da TSM

A seguir serão analisados os resultados da aplicação das ondeletas para o oceano Pacífico Equatorial e oceano Atlântico Tropical e suas possíveis influências sobre a pluviometria em regiões homogêneas do estado da Paraíba durante o período de 1962 a 2007.

### 5.2.1 Pacífico Equatorial

No Pacífico Equatorial foram estudadas as 4 regiões que formam as regiões descritas em Reynolds, et al (2002). As quais compreendem a região dos “NIÑOS”; Niño 1+2(0-10°S, 90°-80°O), Niño 3 (5°N-5°S, 150°-90°O), Niño 3.4 (5°N-5°S, 170°-120°O), Niño 4 (5°N-5°S, 160°L-150°O).

As variabilidades anuais médias dessas 4 regiões de TSM do Pacífico Equatorial são mostradas na Figura 5.19. Observa-se que em média as temperaturas na região do Niño 1+2 são menores do que as do Niño 4, ou seja, a medida que se desloca na direção oeste do Pacífico equatorial as águas superficiais ficam mais aquecidas. Esse gradiente térmico meridional de TSM tem sérias implicações no ciclo anual dessas regiões, como será mostrado e descrito a seguir.

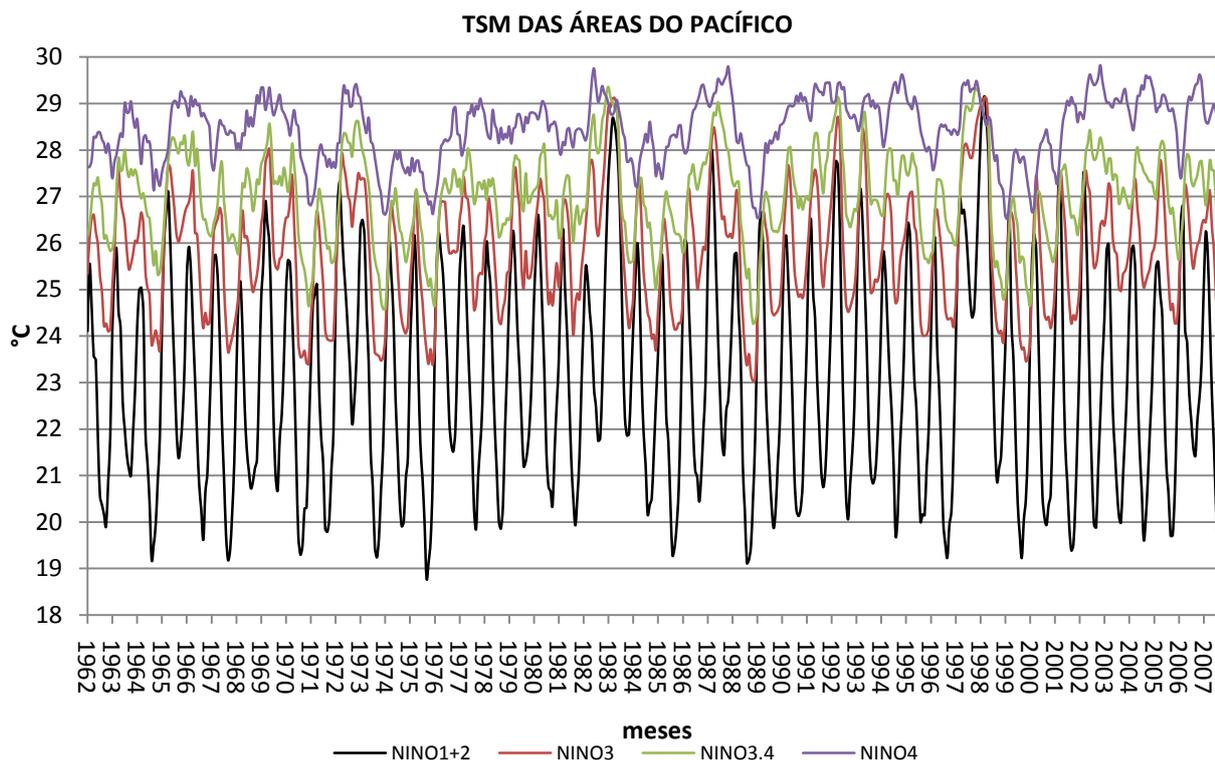


Figura 5.19: Variabilidade mensal da TSM nas regiões do Niño1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4 no período de 1962 a 2007.

A região do NIÑO 1+2 é a que apresenta maior variabilidade anual, e nesse sentido, se observa uma grande quantidade de energia no espectro global associada a essa escala. Destaque-se também energia importante na escala de 4 anos e em menores proporções na escala bianual (Figura 5.20c). Pelas configurações da energia de ondeleta na escala de 4 anos se observa que os anos de 1967 a 1973 e em alguns anos da década de 1980, com valores mais elevados da TSM em 1983 (evento forte de El Niño). Nessa mesma escala ainda indica a ocorrência, na década de 1990, de EN em 92 e 93. Observa-se, também, outras interações entre as escalas entre a 4 anos e bianual. O El Niño 1997/98 aparece bem definido entre as escala bianual e decadal.

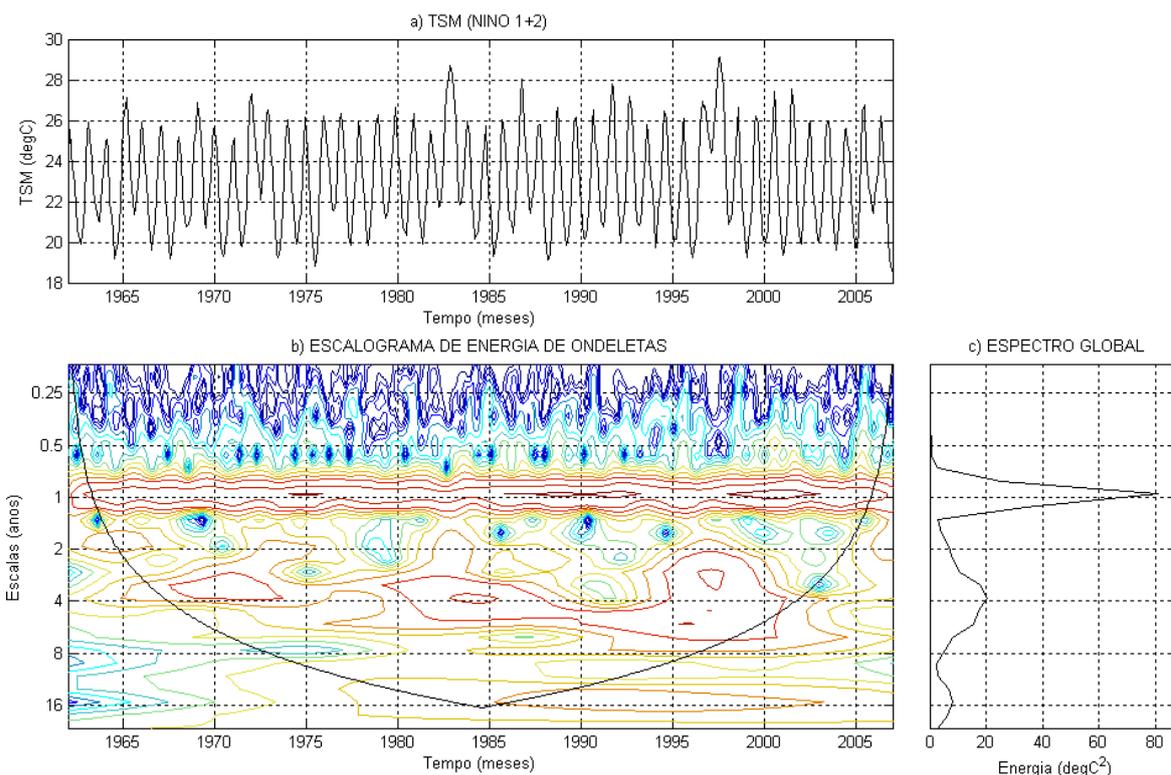


Figura 5.20: a) Série temporal de TSM, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para a região do Niño 1+2.

A região do NINO 3 apresenta uma configuração energética diferente da anterior, onde as maiores energias globais são detectadas na escala de 4 anos seguida pela bianual (Figura 5.21 c), ou seja, nessa região as configuração entre as escalas aparecem de forma bastante caótica. Ainda assim, alguns casos merecem destaque pela interação entre as escalas de 4 anos, bianual e anual, as quais são observados na década de 1970, nos anos de 1982/83, 1987/88 e 1997/98, nos quais na maior parte deles foram observados as mais elevadas TSM (Figura 5.21a).

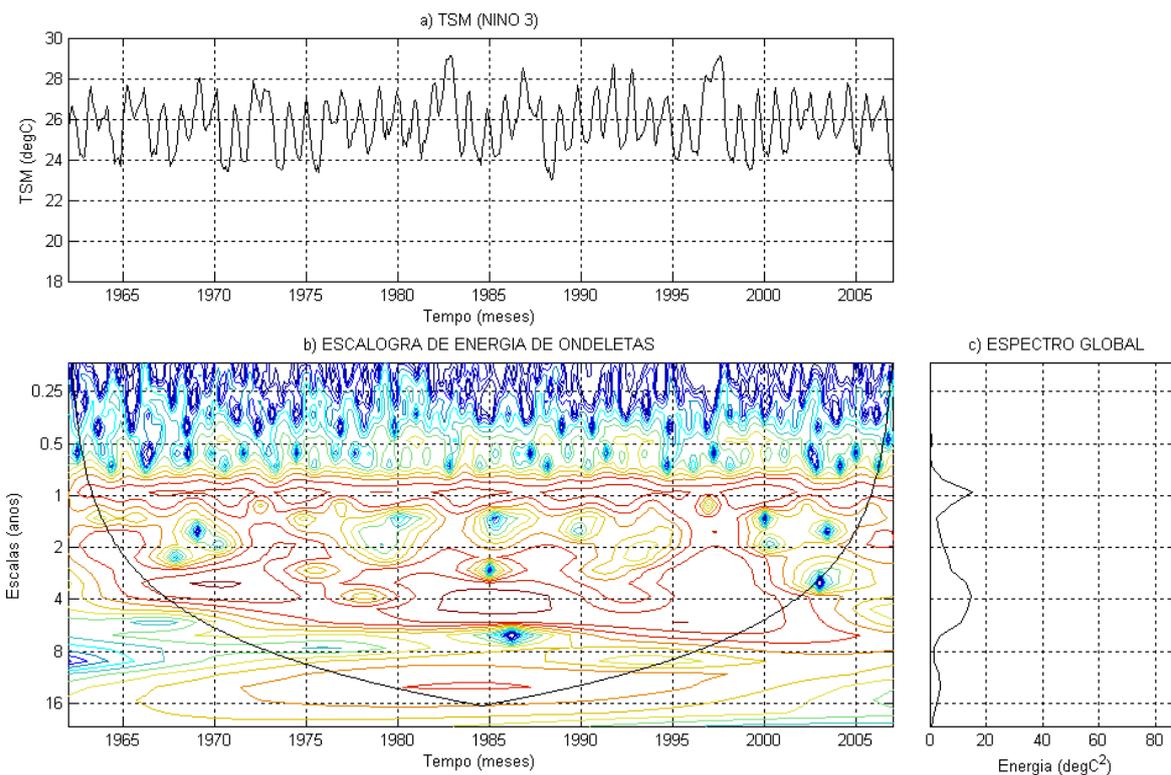


Figura 5.21: a) Série temporal de TSM, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para a região do Niño 3.

A região do NINO 3.4 apresenta um enfraquecimento na escala anual (Figura 5.22c). Nesta região do Pacífico Equatorial pode ser evidenciado no escalograma de energia a escala de 4 anos interagindo com a escala decadal (Figura 36b). Esta região é muito semelhante a região do NINO 3, porém denota-se fortalecimento nas escalas decadal e principalmente 4 anos. O enfraquecimento da escala anual pode está associado a baixa variabilidade anual da TSM que enfraquece o sinal na direção oeste do Pacífico equatorial, na qual o ciclo de 4 anos e decadal são mais importante do que as do NINOS 1+2 e 3. Este escalograma é bastante semelhante ao obtido por Torrence & Compo (1998)

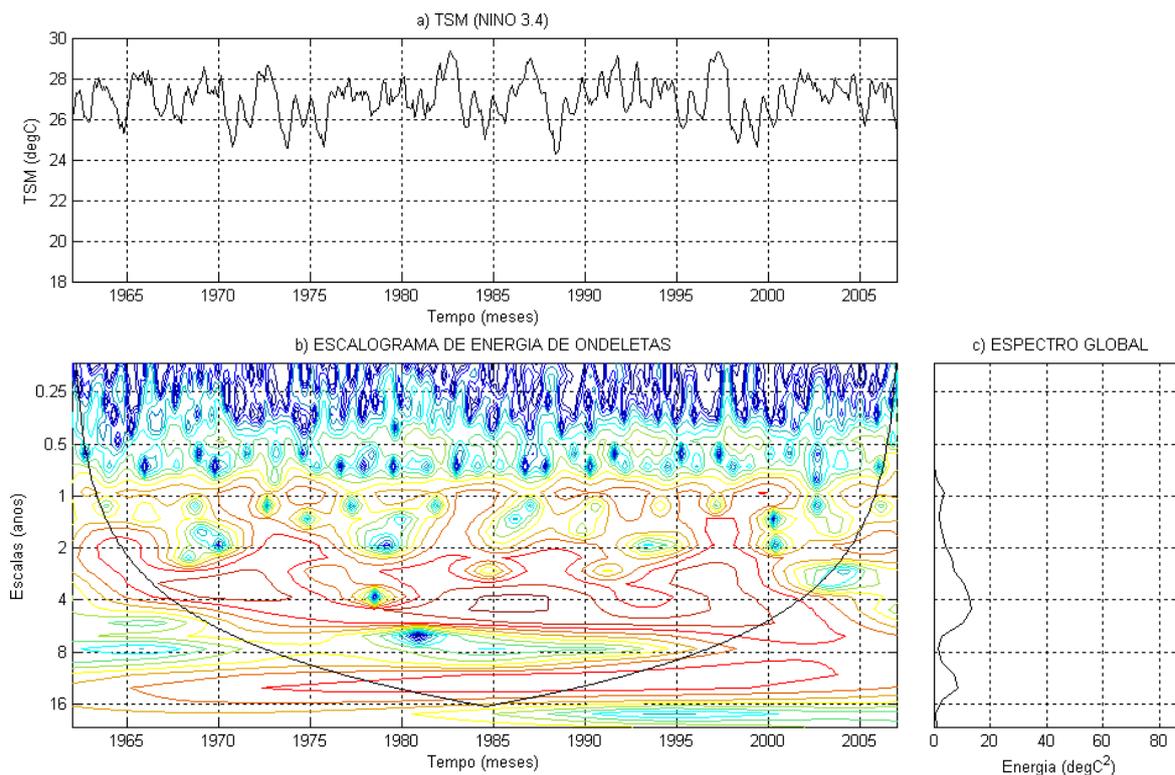


Figura 5.22: a) Série temporal de TSM, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para a região do Niño 3.4

Na região do NIÑO 4 a escala anual enfraquece ou simplesmente deixou de existir e isso pode ser explicado pela baixa variabilidade da TSM anual nesta região, ou seja, a variação térmica ao longo do ano é quase constante. Já a escala decadal se fortalece e interage com a escala de 4 anos, indicando que oscilações nessas escalas são mais comuns nessa região do Pacífico, isso nos leva a concluir que a região tem pouco ou nenhuma relação com os eventos de EN já registrados o que está de acordo com os trabalhos de Trenberth (1997); Oliveira (1999); Cerqueira (2007).

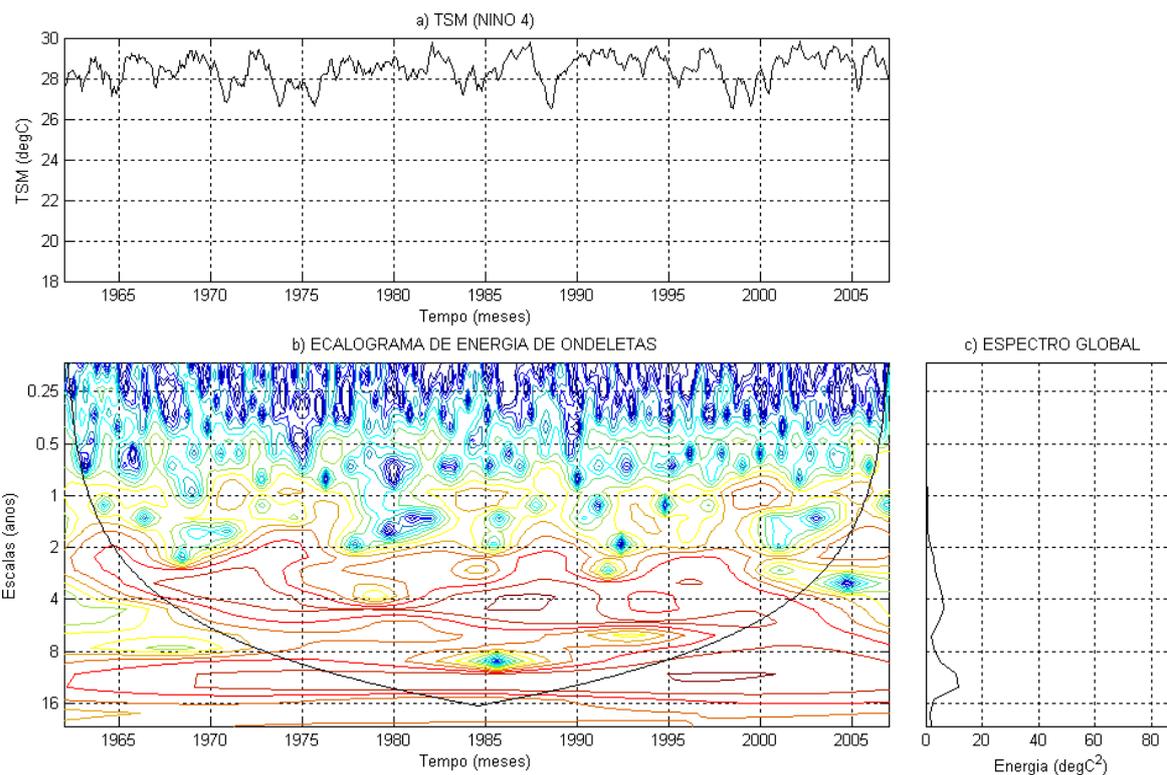


Figura 5.23: a) Série temporal de TSM, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para a região do Niño 4

### 5.2.2. Atlântico Tropical

A área do Oceano Atlântico Tropical corresponde às áreas do Atlântico Norte - ATLN (5-20°N, 60-30°O) e Atlântico Sul - ATLS (0-20°S, 30°O-10°E), as quais fazem parte da medições in situ descrita em Reynolds, et al, 2002.

A Figura 5.24 descreve o comportamento das séries do Atlântico ao longo do tempo, e pode ser observado que existe um gradiente térmico zonal na direção norte, que indica que o Atlântico Norte, de uma forma geral é mais quente, porém a variabilidade interanual do Atlântico sul é maior. Outra forma característica do Atlântico é observada na sua quase estacionalidade, independente da região, pois se percebe que quase não existe discrepância nas séries, porém esse resultado mostra-se não muito válido com a análise de ondeleta. A sazonalida-

de é claramente observada, pois quando o Atlântico Norte está quente o Atlântico Sul está frio e vice e versa, isto é observado na Figura 5.24.

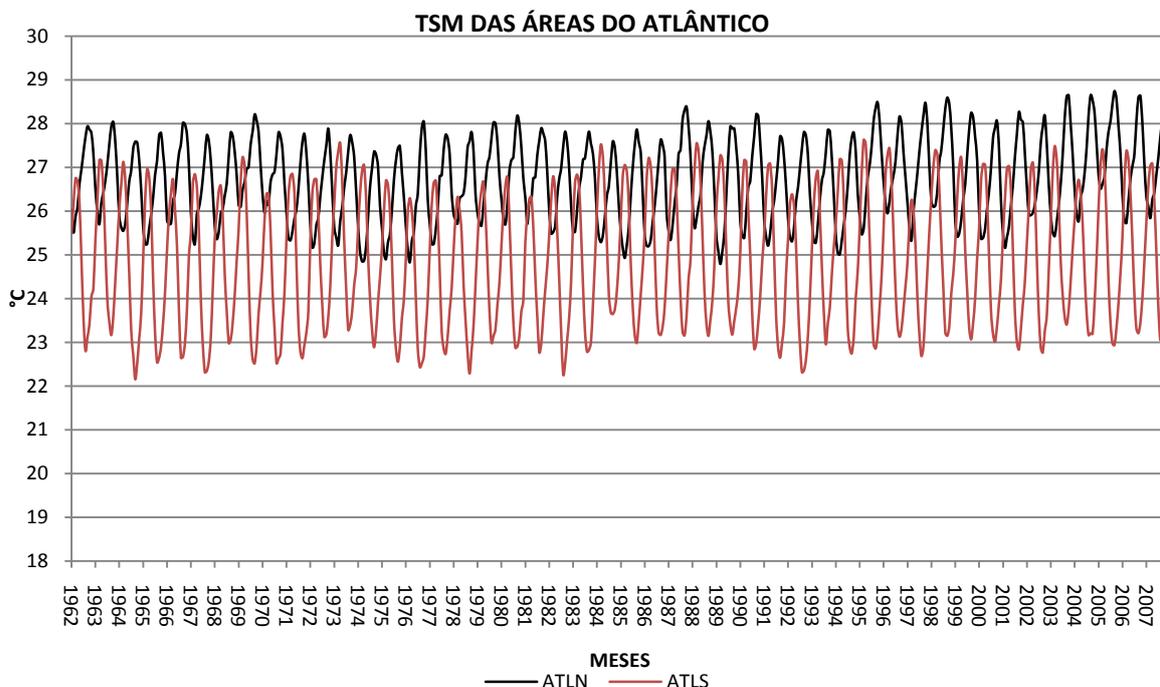


Figura 5.24: Variabilidade mensal da TSM nas regiões do ATLN e ATLS no período de 1962 a 2007.

No Atlântico Norte o espectro de energia global mostra a escala anual mais pronunciada, porém não tão intensa, conforme se observa na Figura 5.25c, em função disso o sinal do ciclo anual da TSM é quase constante, embora se detecte no espectro global de energia concentrações na escala decadal, isso indica que uma onda nessa escala faz parte da construção da série. O fato das maiores energias estarem concentradas na escala anual mostra que a variação da TSM está obviamente ligada às alternâncias dos solstícios e equinócios, porém alguma onda climática na escala decadal também está relacionada na modulação da TSM

do Atlântico Norte, mesmo que de forma muito baixa. Isso indica que o oceano não só modula o clima, mas também pode ser modulado por ele de maneira evidentemente muito menor.

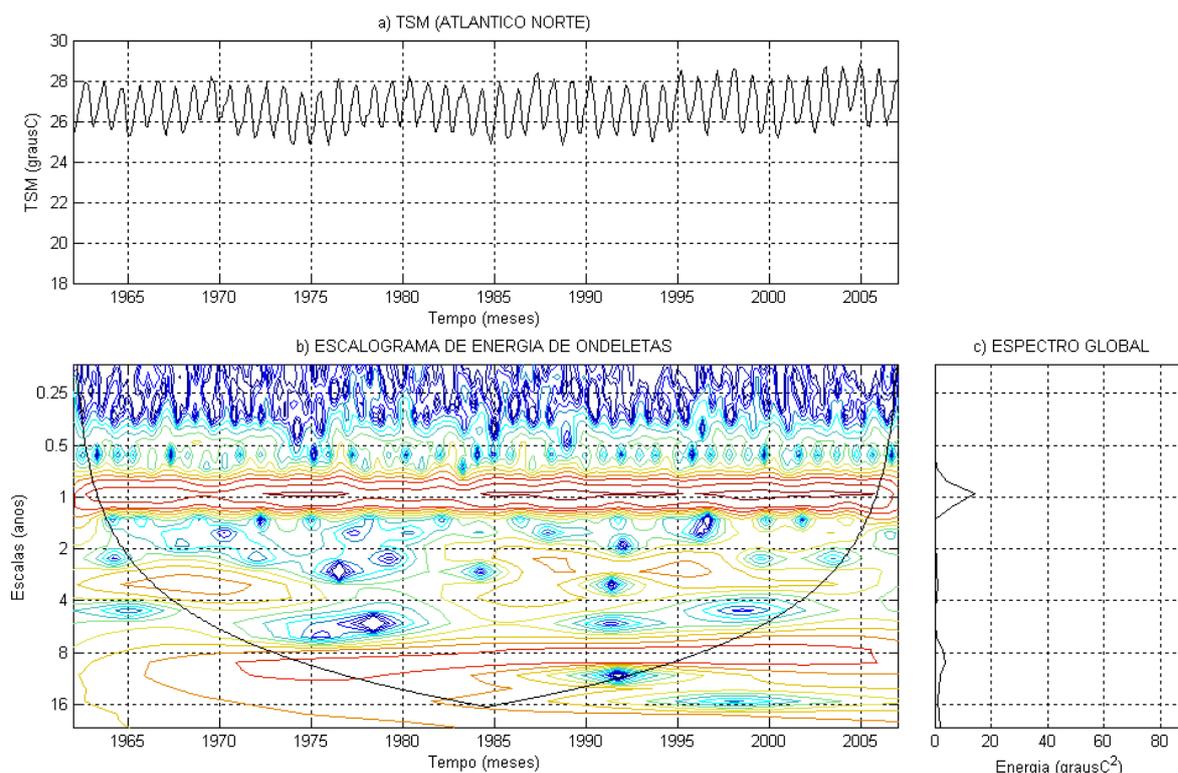


Figura 5.25: a) Série temporal de TSM, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para a região do ATLN.

O oceano Atlântico na sua porção sul apresenta maior energia na escala anual (principalmente nessa escala), sendo que outras energias associadas a outras escalas são pouco significativas (Figura 5.26c). Assim sendo, a escala que mostra maior variabilidade ocorre no ciclo anual, representando uma configuração quase estacional.

Nos dois casos além do ciclo anual estar presente, uma oscilações na escala decadal faz parte da construção da série, isso é percebido pela oscilação de longo prazo que é sentido no sinal da série.

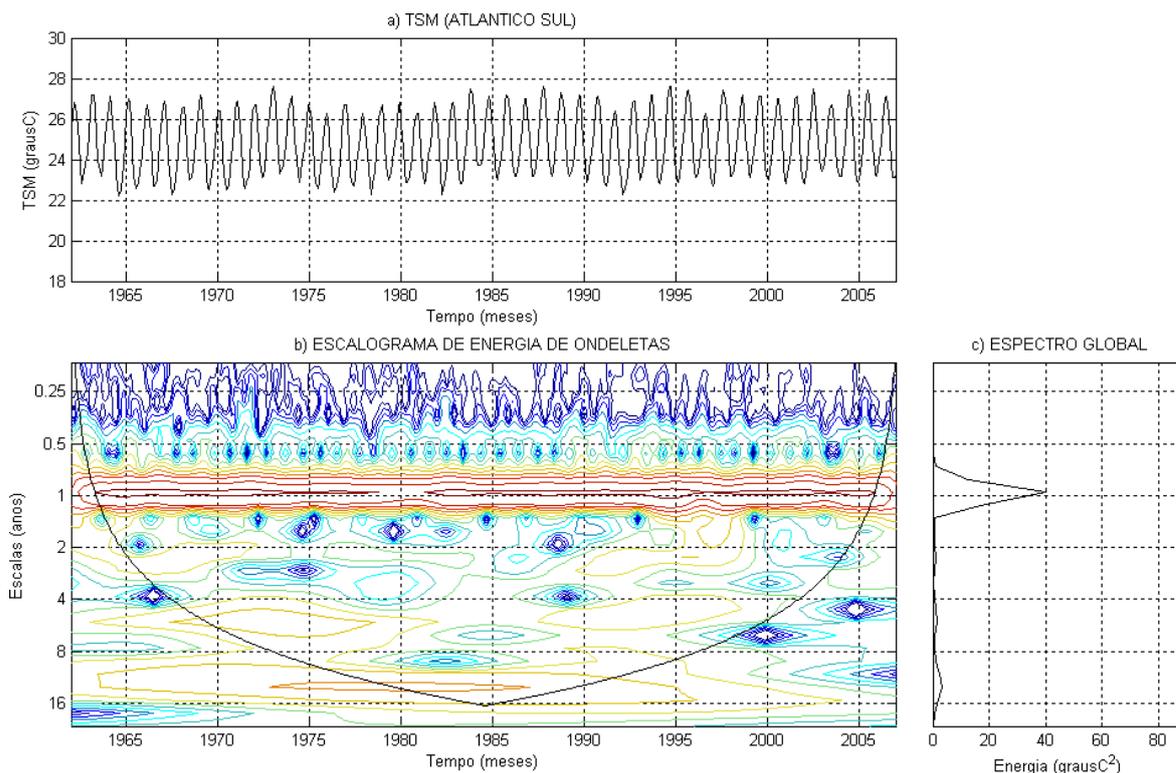


Figura 5.26: a) Série temporal de TSM, b) Espectro de potencia de ondeletas, c) Espectro global, para a região do ATLS.

### 5.3. Relação entre TSM e chuva

A seguir serão analisadas as possíveis relações existentes entre as TSM do Pacífico equatorial e Atlântico Tropical e as chuvas nas diferentes regiões homogêneas no estado da Paraíba. Baseado nos resultados obtidos pela aplicação da TO se observou que existe grande semelhança entre as configurações obtidas para as localidades do mesmo grupo. Sendo assim, se escolheu apenas uma localidade de cada sub-região. Para as áreas dos NIÑOS selecionou-se o NIÑO 1+2, porque para as demais áreas as configurações obtidas pela TO mostraram um enfraquecimento da energia na escala anual à medida que se desloca para a região oeste do Pacífico (Figuras 5.20, 5.21, 5.22, 5.23). Assim sendo, pa-

ra evitar repetições desnecessárias e cansativas, não se fez comentários para as áreas do NIÑO 3, 3.4 e 4 do Pacífico Equatorial. Então, analisou-se apenas uma localidade de cada sub-região e sua relação entre os totais pluviométricos anuais e TSM média anuais na região do NIÑO 1+2. Xavier (2001) relatou em seus estudos que a área do NIÑO 1+2 é a que mais interfere na precipitação do NEB. O mesmo procedimento foi adotado para os totais anuais da pluviometria com a região do Atlântico Tropical.

A região do litoral está representada pela cidade de João Pessoa. A variabilidade dos totais anuais das precipitações mostra algumas relações com a TSM do NIÑO 1+2 e são visualizados na Figura 5.27. Observa-se que com as maiores temperaturas dessa região do Pacífico sempre ocorrem queda da chuva anual na região, a exemplo dos eventos fortes do EN de 1972/73, 1982/83, 1990/93 e 1997/98, apontados pela classificação de Trenberth (1997) como eventos de EN forte.

A Figura 5.27 apresenta a variabilidade anual média da TSM e totais anuais da precipitação para João Pessoa. Percebe-se que elas têm alguma coerência temporal visível, pois quando a TSM aumenta há aumento da precipitação em alguns anos. Utilizou-se método dos mínimos quadrados para encontrar estatisticamente a relação linear entre as duas variáveis (Tabela 5.1), que apesar de não ter apresentado bons resultados, mas a análise subjetiva mostra claramente uma relação bem acentuada. Os Apêndice 5.1 e 5.2 mostram a dispersão entre as série, no Apêndice 5.1 existe uma relação decrescente, no 5.2 crescente, evidenciado que a medida que a temperatura no Pacífico aumenta as chuvas diminuem da mesma forma que quando a diferença entre Atlântico Sul e Norte é menor há aumento da chuva. Esses resultados estão de acordo com os trabalhos de

Hastenrath & Greichscar (1993); Sousa et. al. (1997); Souza et. al. (1998); Molion & Bernardo (2002); Souza et al. (2006); Cavalcante et. al. (2009).

Tabela 5.1: Coeficiente de correlação linear entre os anos de eventos de El Niño forte e moderado e gradiente térmico meridional do Atlântico com a precipitação na Paraíba

Grupo	EL NINO/PRP	DIPOLO/PRP
	R	R
<b>JOÃO PESSOA</b>	0,33	0,29
<b>BANANEIRAS</b>	0,30	0,28
<b>CAMPINA GRANDE</b>	0,38	0,18
<b>CABACEIRAS</b>	0,32	0,08
<b>PATOS</b>	0,22	0,47
<b>CAJAZEIRAS</b>	0,34	0,43

Observa-se no ano de 1964 uma clara oposição entre os sinais das séries de João pessoa e NIÑO 1+2 (Figura 5.27a) com chuvas em torno da média (2000 mm) e TSM em torno de 22°C. Os dados históricos mostram que 1964 foi ano de LN favorecendo um aumento de 0,5° C de TSM (observados nos dados do NCEP) e contribuindo com o aumento das chuvas. A análise da energia de ondas em João Pessoa identificou que existe uma associação com as escalas bianual de 4 anos e escala anual para esse período (Figura 5.3 b).

Para a precipitação foi escolhida um lugar representativo de cada região homogênea do estado partindo do pressuposto que as chuvas para essas regiões têm comportamento análogo, como de fato acontece (BRITO et. al. 2004; BRITO & BRAGA, 2005; VITORINO et. al. 2006). Selecionou-se uma cidade por região homogênea: João pessoa (Litoral), Bananeiras (Brejo), Campina Grande (Agreste), Cabaceiras (Cariri/Curimataú), Patos (Sertão) e Cajazeiras (Alto sertão). Para a região oceânica do NIÑO 1+2 a escolha se fez levando em consideração principalmente o ciclo anual, pois para as chuvas no estado, a escala anual

é a mais representativa, e nas outras regiões do Pacífico, essa escala se enfraquece na direção oeste. No Atlântico o padrão tipo dipolo tem grande influência sobre as chuvas no semi-árido do NEB (SOUZA et. al. 1997; SOUZA et. al. 2004; MENEZES et. al. 2008). Em função da semelhança entre as energias da escala anual das séries de TSM e PRP foram obtidas as médias anuais de TSM e os totais anuais de PRP para efeito de comparação, no intuito de se perceber o comportamento do sinal das séries em função do tempo. Apesar de a média aritmética ser um método estatístico que reduz as variações extremas de uma ST (SPIEGEL 1986), os eventos distintos (ou extremos), como os ENs de 1982/83 e 1997/98, classificados como os maiores eventos desde que se têm registros (OLIVEIRA 1999), tendem a permanecerem na série (SPIEGEL 1986, ASSIS 1996).

Observa-se no ano de 1964 uma clara oposição entre os sinais das séries de João pessoa e NIÑO 1+2 (Figura 5.27a), onde a chuva chegou a aproximadamente 400 mm e a TSM em torno de 22°C. No ano de 1964 ocorreu uma LN que teve início em maio com duração de nove meses, indicando que para esse ano a TSM do Pacífico teve uma contribuição com o aumento das chuvas, já que na análise de ondas em João Pessoa identificou que existe uma associação com as escalas bianual, 4 anos e a escala anual anos para esse período (Figura 5.3b) e essa escala representa o período de atuação tanto do EN com da LN (OLIVEIRA 1999). No ano de 1983 há grande redução no total anual da precipitação, chegando próximo de 1000 mm no litoral. Entre os anos de 1982 e 1983 ocorreu um dos maiores EN que se tem registro e que durou cerca de 13 meses, acabando em julho de 1983 e que foi classificado com forte (Tabela 4.1).

O DPA exerce influências no deslocamento norte-sul da ZCIT, que é o principal sistema atmosférico causador de chuvas no Semi-Árido nordestino du-

rante os meses da estação chuvosa. O eixo principal da ZCIT tende a se posicionar sobre a região para onde está direcionado o gradiente térmico. Na fase positiva do dipolo o gradiente térmico aponta para o Hemisfério Norte e, conseqüentemente, as anomalias positivas de precipitação associada à ZCIT posicionam-se, predominantemente, ao norte do Equador. Por outro lado, na fase negativa o gradiente térmico aponta para o Hemisfério Sul, e as anomalias positivas de precipitação associada à ZCIT tendem a posicionar-se, predominantemente, ao sul do Equador (HASTENRATH & GREICHSCAR 1993, SOUSA et al. 2007). Os resultados de Souza et. al. (1997) mostraram que os anos de ocorrência da fase positiva do dipolo estão associados com a predominância de desvios negativos de precipitação (chuvas abaixo do normal). Por outro lado, os anos da fase negativa do dipolo, associam-se com a predominância de desvios positivos de precipitação (chuvas acima do normal).

Como nesses casos se usou as médias anuais da diferença entre ATLS e ATLN, essencialmente os valores resultantes são negativos, pois como observados nos dados, a TSM do Atlântico Norte é mais quente que do Atlântico Sul. Em razão disso, se diz que o dipolo é pouco negativo ou muito negativo. Como já dito, as médias tendem a reduzir as variações de menor intensidade se destacando apenas os eventos de maior magnitude (os eventos extremos). Em teoria a variação muito (pouco) negativa está associada a pouca (muita) chuva.

A Figura 5.27b expõe a relação do dipolo com a chuva em João Pessoa. A relação “muito negativo/pouca chuva” (pouco negativa/muita chuva) aparece apenas em alguns anos como 1972/73/74/75 e 1983/84/85/86/87, mostrando que para esses anos a precipitação está possivelmente relacionada ao DPA. A análise de correlação para o Litoral não apresentou resultados satisfatórios com o

dipolo, porém mostram que existe uma maior relação com os EN (Tabela 5.2). A análise de correlação para o Litoral não apresentou resultados satisfatórios com o dipolo, porém mostram que existe uma maior relação com os EN (Tabela 5.2).

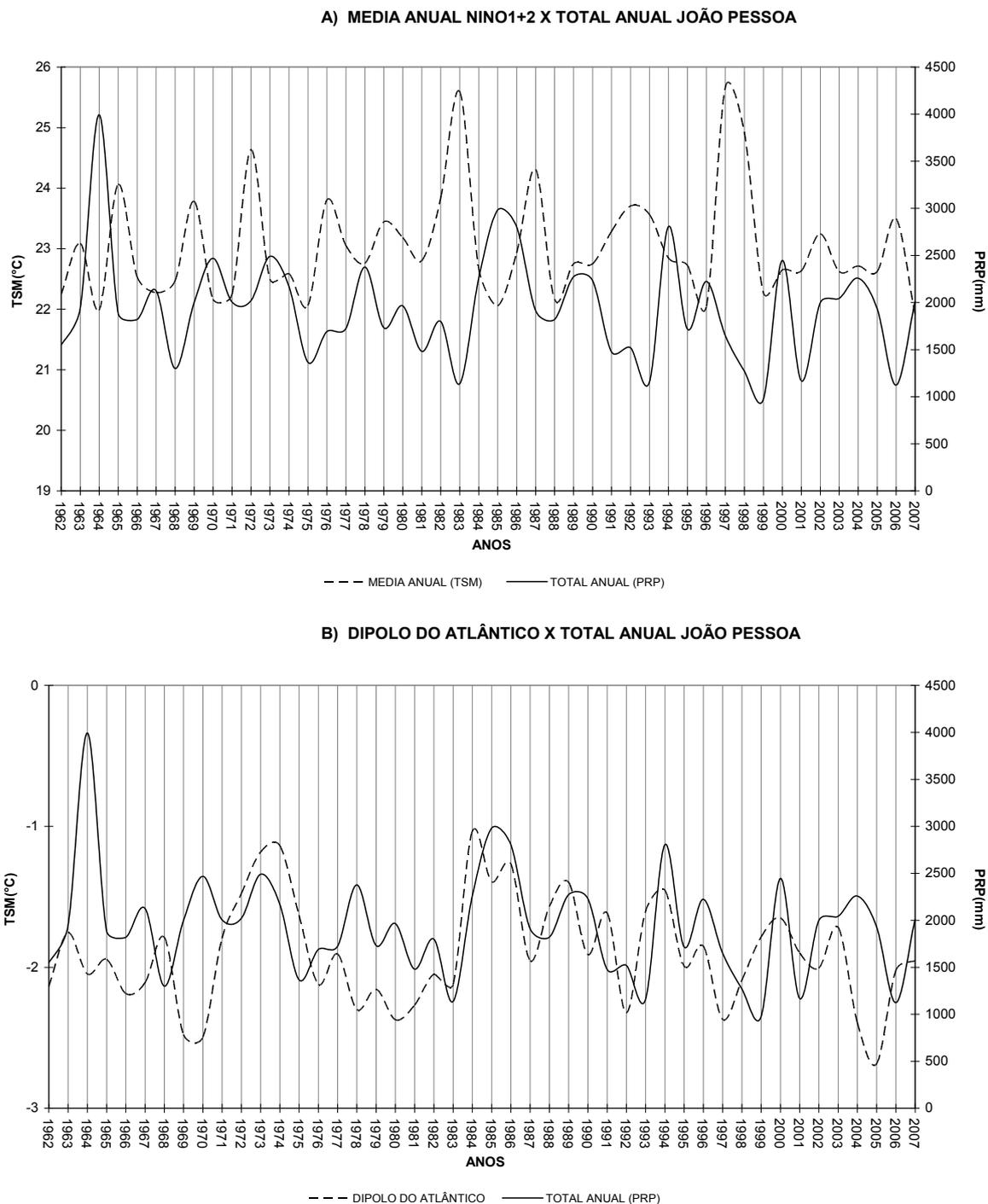
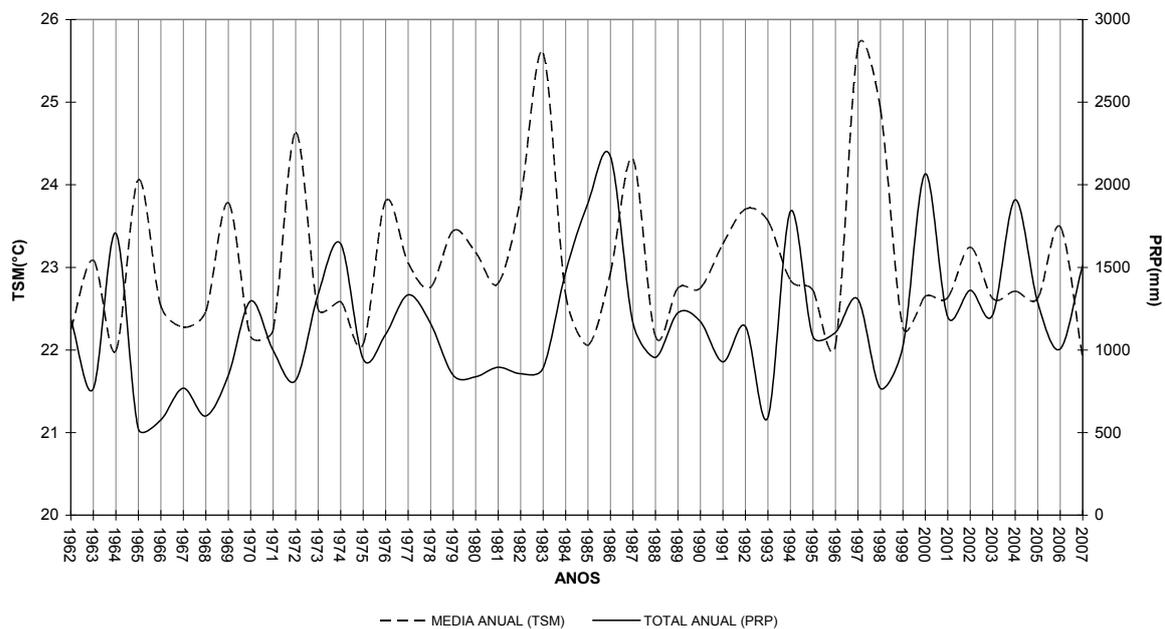


Figura 5.27: a) Relação entre a TSM da região do Niño1+2 e precipitação em João Pessoa, b) Relação entre Dipolo do Atlântico e precipitação em João Pessoa.

As Figuras 5.28a e b mostram as variabilidades entre a TSM do pacífico e o DPA com as chuvas na cidade de Bananeiras representante do brejo paraibano. Existe uma relação assimétrica entre os anos de 1963 e 1964, onde ocorreu um EN e uma LN, respectivamente. Em 1993 houve queda acentuada da chuva, a qual pode está relacionada com o evento forte de EN. As configurações da energia de ondeleta identificaram um núcleo de energia na escala de 2, na década de 1960 e de 8 e 13 na década de 1980, podendo estar relacionado com a atuação de dois eventos fortes do EN (Figura 5.6).

As configurações de DPA para Bananeiras se mostram bem semelhante ao litoral, ou seja, gradiente menos negativo, precipitações maiores no geral, isso já era esperado, pois a região climática é bastante parecida devido à proximidade com o oceano.

**A) MEDIA ANUAL NINO1+2 X TOTAL ANUAL BANANEIRAS**



**B) DIPOLO DO ATLÂNTICO X TOTAL ANUAL BANANEIRAS**

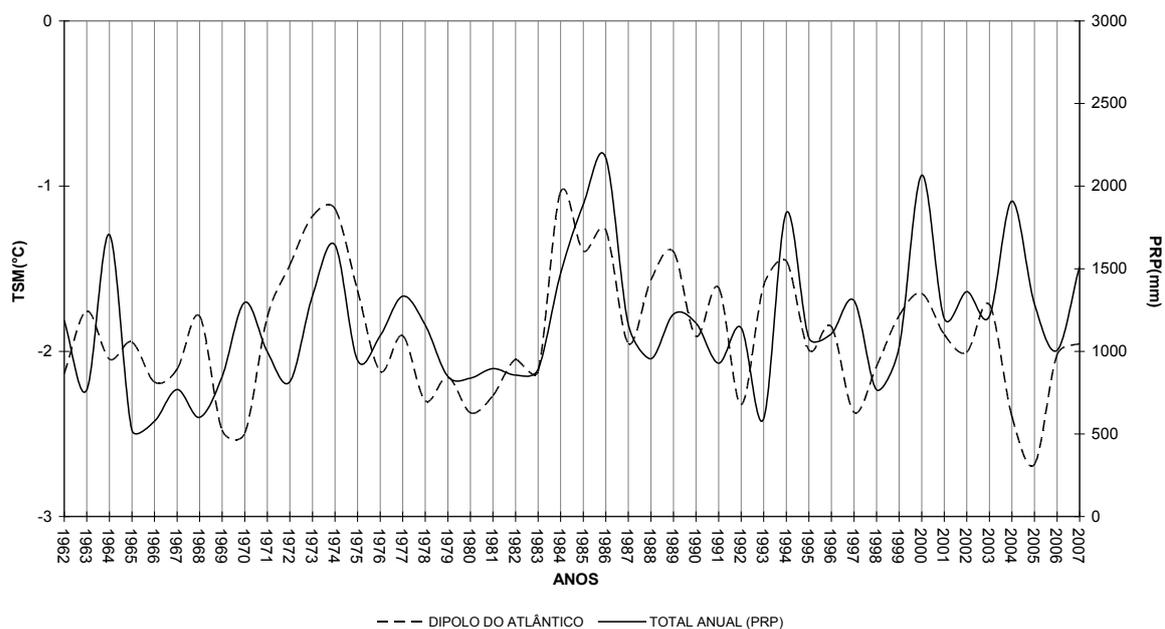
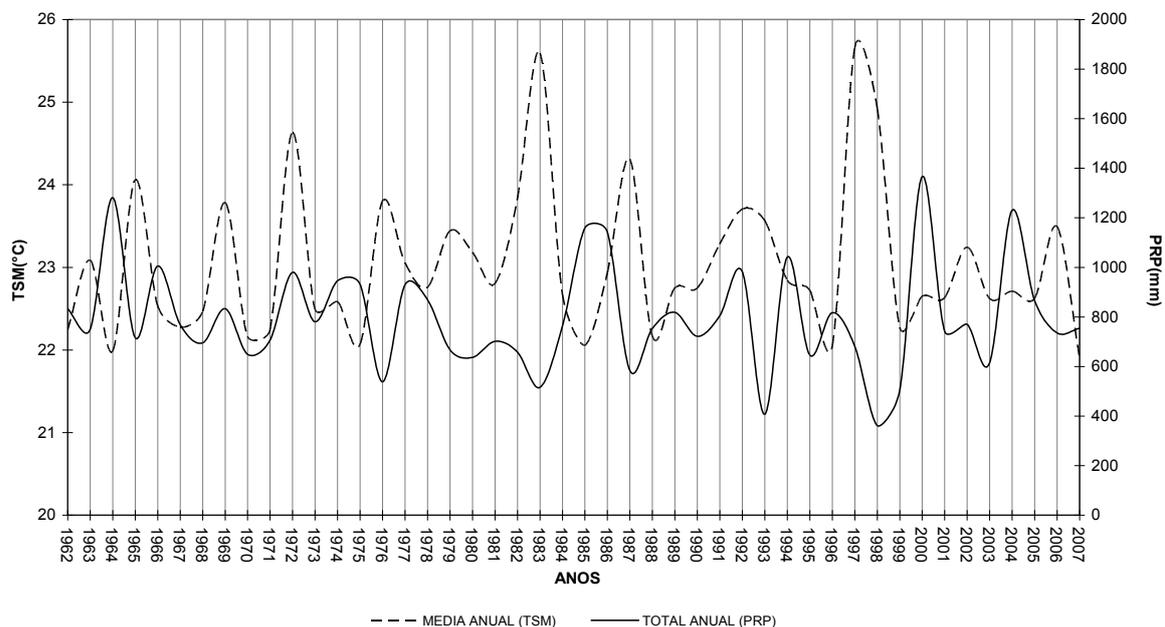


Figura 5.28: a) Relação entre a TSM da região do Niño1+2 e precipitação em Bananeiras, b) Relação entre Dipolo do Atlântico e precipitação em Bananeiras.

A Figura 5.29a e b ilustra a variabilidade médias anuais da TSM do pacífico, região do Niño 1+2, e DP com Campina Grande (Agreste). As configurações anuais da TSM apresentadas pelo Pacífico mostram queda acentuada em todos os anos de ENOS, principalmente nos eventos forte de 1982/83, 1992/93 e 1997/98 (Figura 5.29a). A análise de ondeletas mostrou um núcleo de energia atuando na escala bianual entre os anos de 1963 a 1965 (Figura 5.8b) que evidencia uma oscilação em fases opostas da PRP com alternâncias entre EN e LN para os três anos. Assim, as chuvas em Campina Grande neste período têm fortes indícios da influencia dos eventos de ENOS. Em 1976 ocorre uma configuração semelhante, com EN e baixa precipitação.

Os anos de 1982/83 e 1986/88 foram anos de EN intercalado com um ano de LN (1984/85) que foi um ano de chuvas abundantes em todo o Nordeste (BRITO et. al. 2004). A análise de ondeletas aplicada à precipitação de Campina Grande mostrou energias associadas às escalas de 4 a 8 anos, que segundo Mantua et. al. (1997) e Trenberth (1997), corresponde a escala de atuação do ENOS, que ficaram marcados por EN com grande estiagem na região do Agreste. Campina Grande apresentou uma correlação muito baixa com o DP destacando-se apenas os anos de 1986/87 e 1994.

**A) MEDIA ANUAL NINO1+2 X TOTAL ANUAL CAMPINA GRANDE**



**B) DIPOLO DO ATLÂNTICO X TOTAL ANUAL CAMPINA GRANDE**

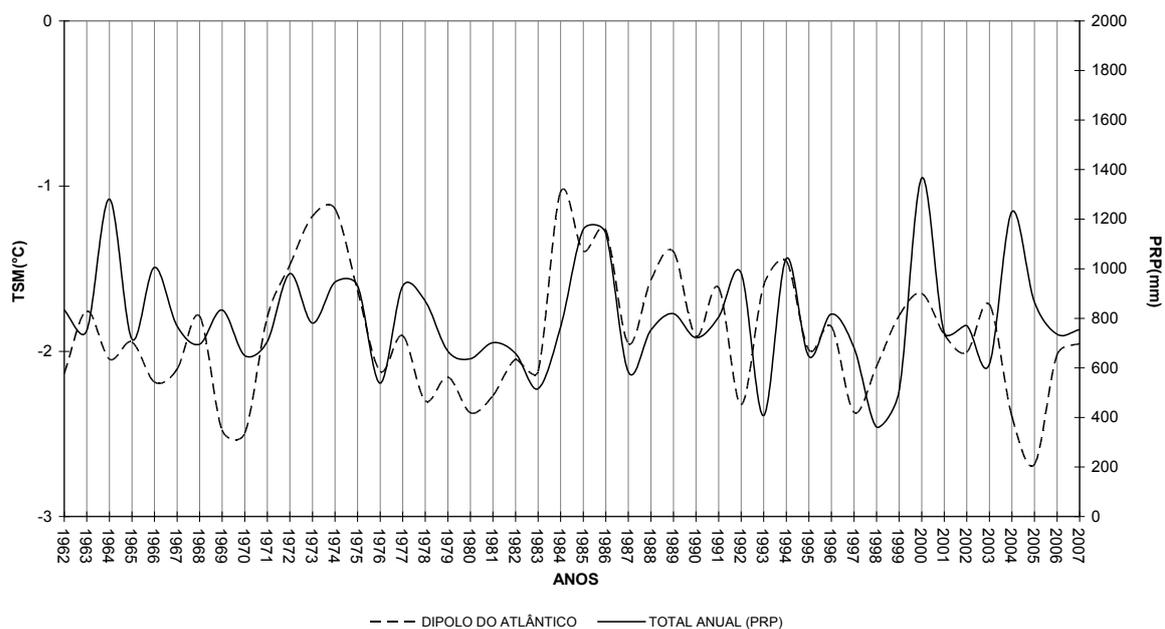
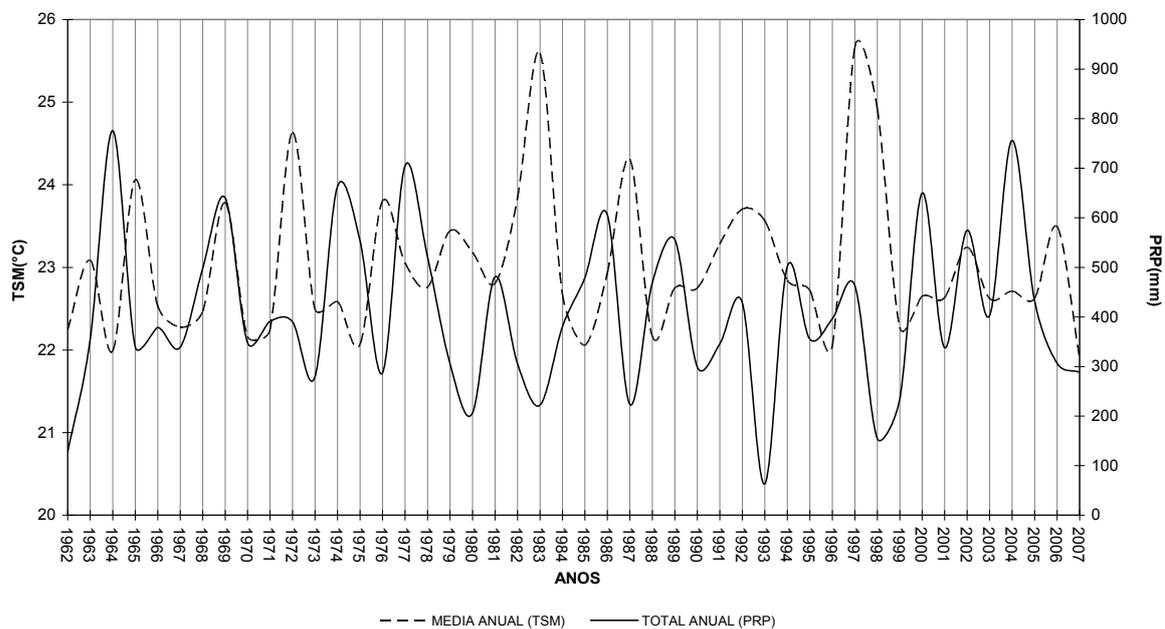


Figura 5.29: a) Relação entre a TSM da região do Niño1+2 e precipitação em Campina Grande, b) Relação entre Dipolo do Atlântico e precipitação em Campina Grande.

A Figura 5.30 ilustra a relação entre TSM e PRP para a cidade de Cabaceiras. Especificamente nesse caso é impreciso dizer se existe uma relação entre TSM e PRP, uma vez que a análise de ondeleta para Cabaceiras mostrou muita irregularidade, pois os índices pluviométricos para a região são baixos. As correlações apresentaram valores muito baixos; no caso do DPA a relação é quase inexistente, e com o EN apenas os anos de 1963/64 e 1982/83 apresentaram alguma relação.

**A) MEDIA ANUAL NINO1+2 X TOTAL ANUAL CABACEIRAS**



**B) DIPOLO DO ATLÂNTICO X TOTAL ANUAL CABACEIRAS**

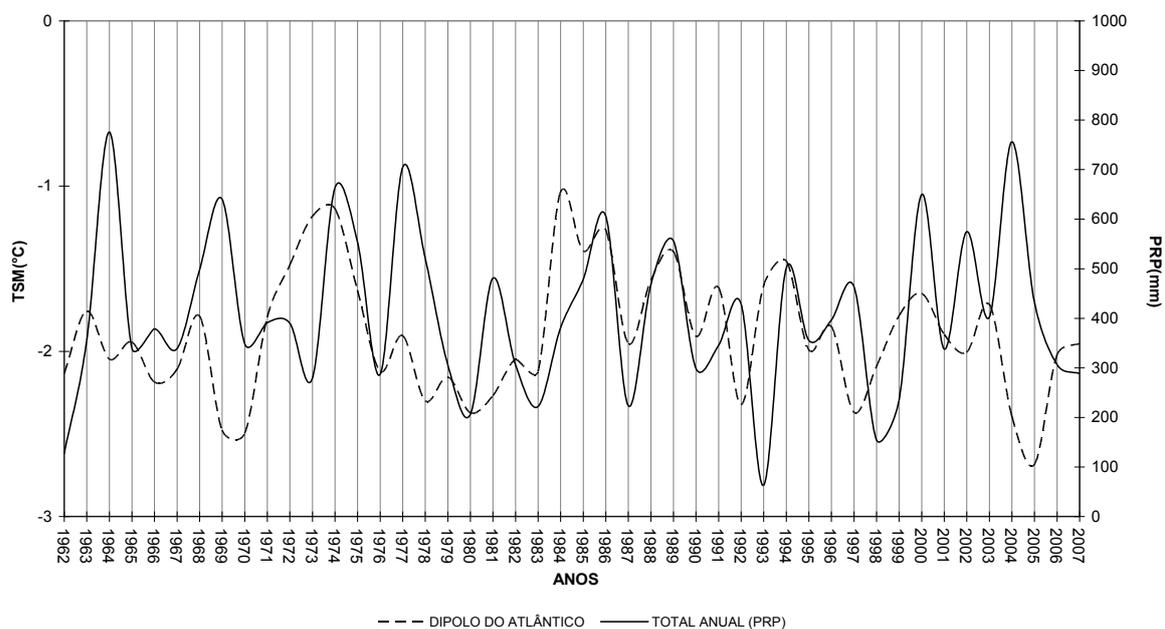
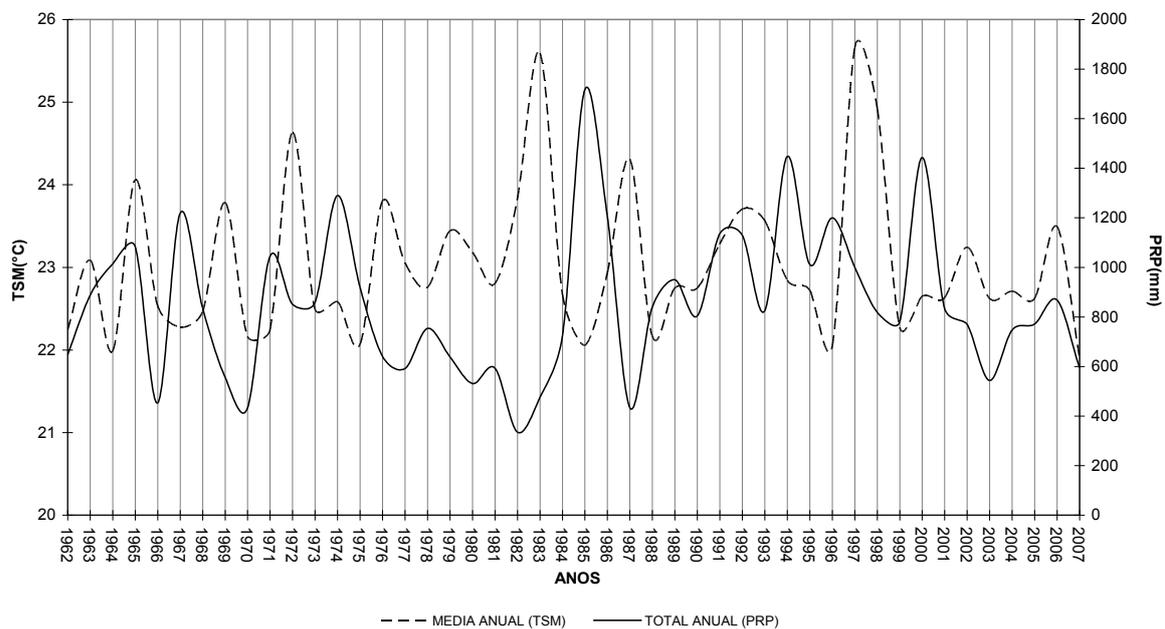


Figura 5.30: a) Relação entre a TSM da região do Niño1+2 e precipitação em Cabaceiras, b) Relação entre Dipolo do Atlântico e precipitação em Cabaceiras.

A variabilidade entre a TSM do Pacífico e a precipitação de Patos, Figura 5.31a, apresenta um caso muito singular, visto que a assimetria entre os sinais da série ocorre em fases opostas apenas em alguns anos (1982/83, 1984/85 e 1986/87) e foi justamente nesse período que a análise de ondeleta identificou um forte núcleo de energia atuando na escala de 4 anos (Figura 5.14b), o que leva a crer que as chuvas nessa época têm forte relação com os eventos de E-NOS identificados para o mesmo período.

Patos foi a cidade que apresentou relação com o DPA, da ordem de 0,47, isso é observado nos períodos de 1969-1976 e de 1983-1990, especialmente 1985, onde tanto o Atlântico como o Pacífico estavam favoráveis ao aumento significativo das chuvas em Patos.

**A) MEDIA ANUAL NINO1+2 X TOTAL ANUAL PATOS**



**B) DIPOLO DO ATLÂNTICO X TOTAL ANUAL PATOS**

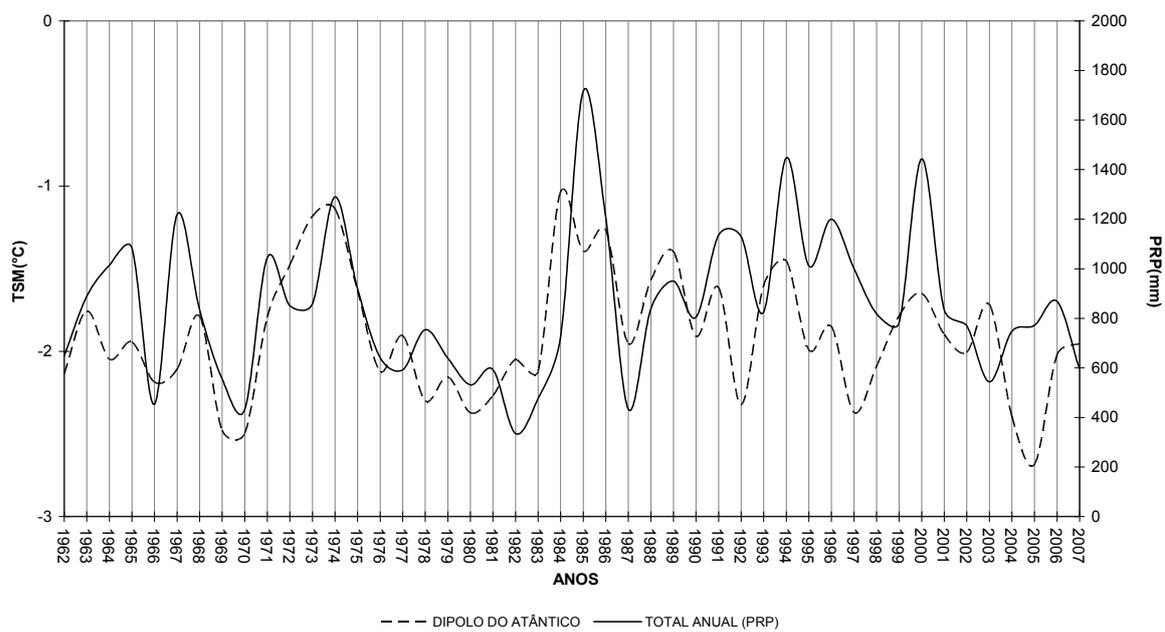


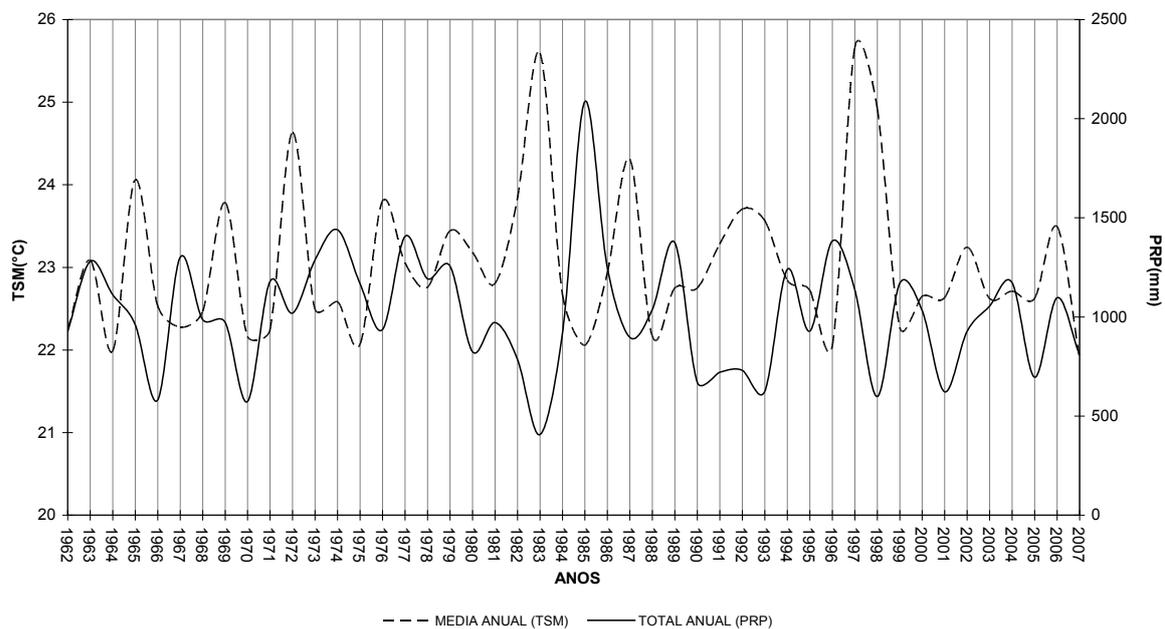
Figura 5.31: a) Relação entre a TSM da região do Niño1+2 e precipitação em Patos, b) Relação entre Dipolo do Atlântico e precipitação em Patos.

A variabilidade da PRP de Cajazeiras e da TSM são mostradas na Figura 5.32, e se mostra semelhante ao caso de Patos, inclusive com os mesmo períodos em que ocorram as assimetrias. A análise de ondeletas identificou uma configuração na escala de 4 anos (Figura 5.17b). Isso mostra que para as duas regiões pluviometricamente homogêneas da Paraíba (Sertão e Alto Sertão) o ENOS teve influência apenas nos anos de 1982, 1983, 1984, 1985, 1986 e 1987.

Essas relações mostram que os sinais das séries podem ter um comportamento dependente sustentado pela análise do escalograma de energia de ondeleta, que não identifica uma só relação de todas as séries, mas identifica a relação em períodos específicos das mesmas. Apesar de o grau de correlação ser baixo, a informação que se obtém dessa relação em anos específicos, se constitui como algo valioso em estudos de Climatologia.

As cidades representantes do Sertão e Alto Sertão mostraram algo singular em comum: está mais bem relacionada com o gradiente térmico meridional do Atlântico. Como os trabalhos de Nimer (1979); Souza et. al. (1997); Souza et. al. (1998); Molion & Bernado (2002); Cavalcante et. al. (2009), entre outros, afirmam que a chuva no semi-árido nordestino são fortemente influenciadas pela atuação da ZCIT e as configurações do dipolo afetam a ZCIT. Isso leva a concluir que o DPA afeta mais a parte oeste do estado que as outras regiões da Paraíba.

**A) MEDIA ANUAL NINO1+2 X TOTAL ANUAL CAJAZEIRAS**



**B) DIPOLO DO ATLÂNTICO X TOTAL ANUAL CAJAZEIRAS**

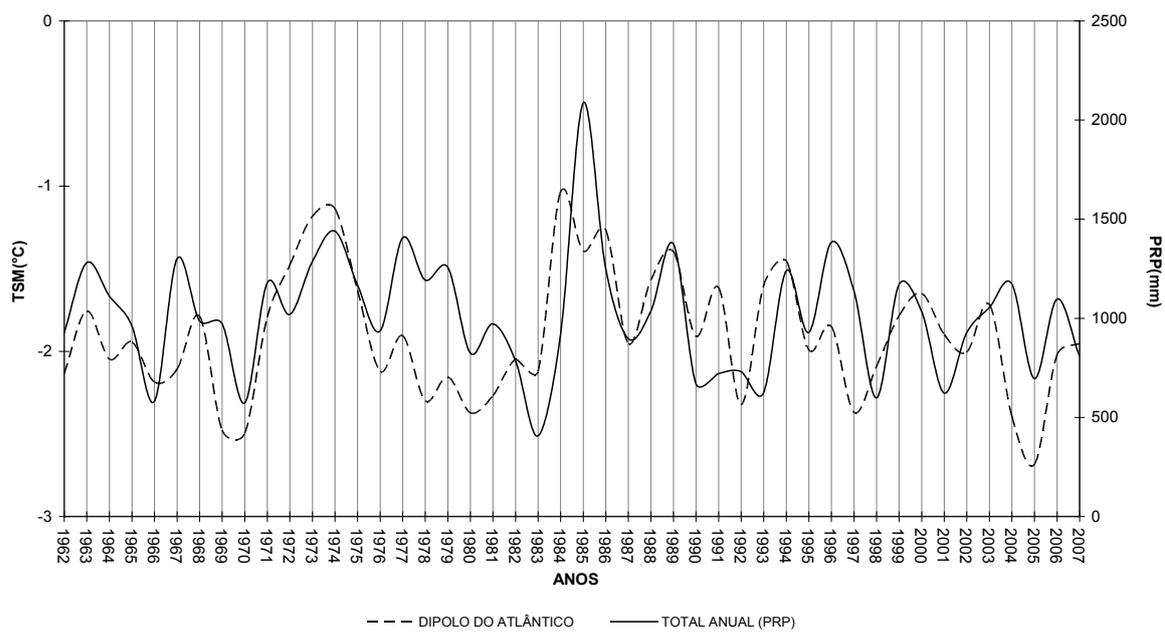


Figura 5.32: a) Relação entre a TSM da região do Niño1+2 e precipitação em Cajazeiras, b) Relação entre Dipolo do Atlântico e precipitação em Cajazeiras.

## **CAPITULO 6**

### **CHUVAS NA PARAÍBA OCORRIDAS EM JANEIRO E FEVEREIRO DE 2004**

O ano de 2004 foi selecionado com estudo de caso na intenção de verificar a eficiência da análise de ondeletas na identificação dos sistemas atmosféricos atuantes em diferentes níveis de resolução temporal (escalas). O ano de 2004 foi escolhido em função da análise em tempo – escala de ondeletas da PRP da Paraíba ter apresentar configurações energéticas semelhantes. Como já discutido no Capítulo 3, a literatura aborda amplamente os principais mecanismos e sistemas precipitantes que influenciam a climatologia do NEB. Brito & Braga (2005) demonstraram que o ano de 2004, durante a segunda quinzena de janeiro e todo mês de fevereiro, foi bastante chuvoso em toda a Paraíba, devido principalmente a atuação VCANs que interagiram com a convecção organizada pela ZCIT e a ZCAS. De maio a julho ocorreram chuvas acima da média climatológica causadas, principalmente, pela atuação de OL.

Os quatro sistemas atmosféricos acima citados atuam em escalas meteorológicas e em épocas do ano diferentes. Segundo Cavalcante et. al. (2009) a ZCIT atua na escala global e pode permanecer por mais de 3 meses organizando a convecção e interferindo nas chuvas do Norte e Nordeste do Brasil, principalmente nos meses de janeiro, fevereiro e março. Os três sistemas (ZCAS, VCAN e OL) atuam na escala sinótica, sendo que ZCAS e VCANs principalmente nos ve-

rão e OL no inverno austral. A Figura 6.1 mostra a variabilidade mensal da PRP na Paraíba em 2004, evidenciando que na maioria dos lugares estudados os dois primeiros meses deste ano são os mais chuvosos, exceto em João Pessoa, onde os meses mais chuvosos foram junho e julho. As análises sinóticas utilizadas neste capítulo constam dos boletins de monitoramento e análise climática do CLIMANÁLISE.

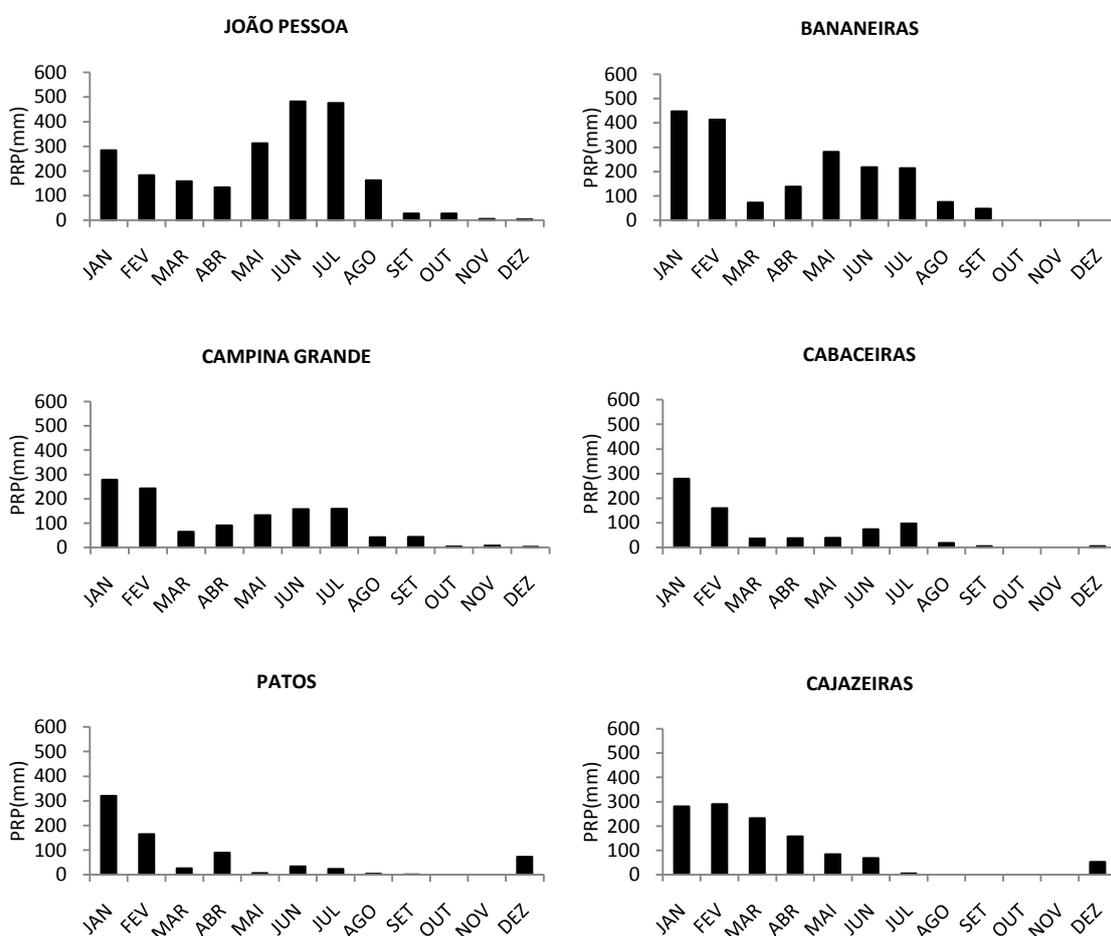


Figura 6.1 Variabilidade mensal das cidades representantes das regiões pluviometricamente homogêneas do estado da Paraíba no ano de 2004

## 6.1. Análise sinótica para os meses de janeiro e fevereiro de 2004 na Paraíba

A análise sinótica para os casos estudados utiliza as médias de 5 dias conhecidas como pëndadas no intuito de abranger, de forma mais sucinta, a totalidade do mês. Em um mês são extraídas seis pëndadas, nesse caso, de valores de Radiação de Onda Longa (ROL) e temperatura média diária de brilho.

### 6.1.1. Janeiro

Em janeiro foi observado que a partir da terceira pëndada, isto é, a partir do dia 11, a ZCIT posicionou-se ao sul da sua climatologia (Figura 6.2a), isso teve influência no início das chuvas que começaram a partir da segunda quinzena (BRITO & BRAGA 2005). Através dos campos médios diários de temperatura de brilho mínimo (Figura 6.3), se observou a grande interação que a ZCIT teve com a atividade convectiva sobre o continente, proporcionada pela atuação dos vórtices ciclônicos, que favoreceram as chuvas intensas em toda a Região Nordeste, e ZCAS. Os resultados de Brito & Braga (2005) se mostram semelhantes pois segundo os autores a incursão de uma frente fria sobre o estado da Bahia trouxe consigo a ZCAS e favoreceu a formação de um VCAN sobre o Nordeste e Atlântico adjacente, que permaneceu durante toda segunda quinzena de janeiro. A atividade convectiva proporcionada pelo vórtice interagiu com a ZCIT, que se posicionou ao sul de sua climatologia, produzindo instabilidade sobre a Região Nordeste, em particular sobre a Paraíba, e intensificando as chuvas sobre o Estado. 91

Segundo as análises do CLIMANÁLISE para janeiro de 2004 ocorreram oito eventos de VCANs e em dois deles houve grande interação com a ZCAS, sendo o primeiro entre os dias 10 e 20 e o outro entre 25 e 29. Na Figura 6.3 se observa que a partir da terceira pênada de fato a interação entre esse sistemas juntamente com a convecção organizada pela ZCIT, se intensifica atingindo praticamente todo o NEB, então a chuvas na segunda quinzena de janeiro foi causadas por uma intensa interação entros sistemas de escalas diferentes, ZCIT, ZCAS e VACAN.

Na circulação de altos níveis média de janeiro (Figura 6.2b), o eixo do cavado de altitude se estende quase que por toda a costa da América do Sul e a Alta da Bolívia (AB) fica acima da sua posição climatológica.

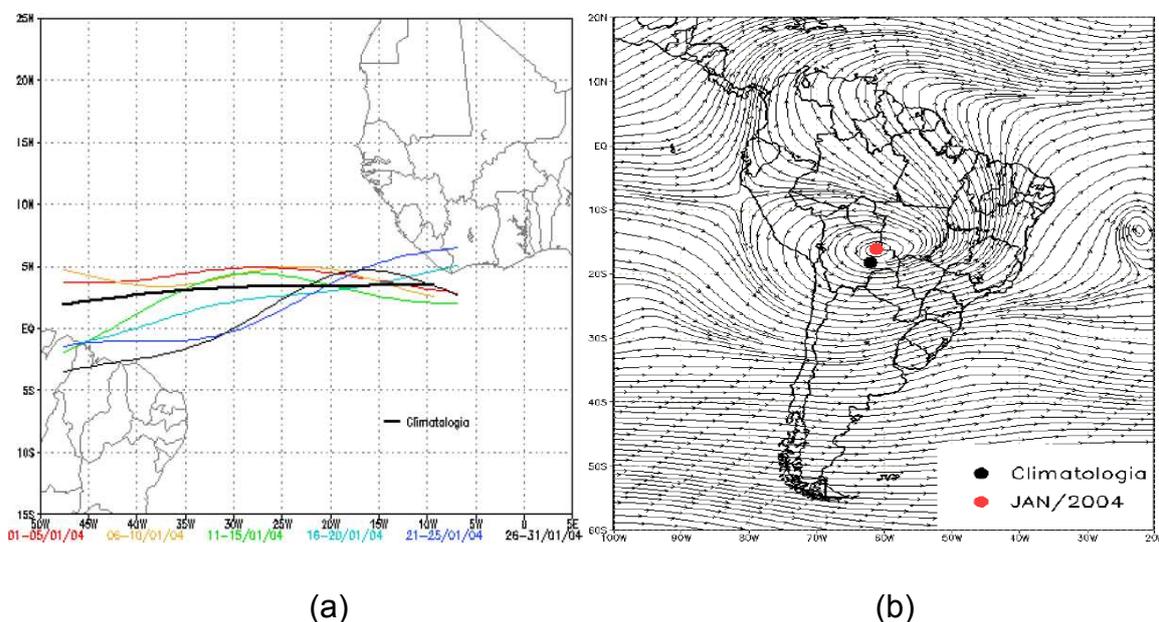


Figura 6.2: (a) Estimativa da posição média pentadal da ZCIT, em janeiro de 2004, a partir da localização dos mínimos valores de ROL ao longo do Oceano Atlântico Equatorial, (b) Posição média climatológica da circulação da alta troposfera em janeiro de 2004. (Fonte: NCEP/NOAA/CPTEC/IMPE/CLIMANÁLISE)

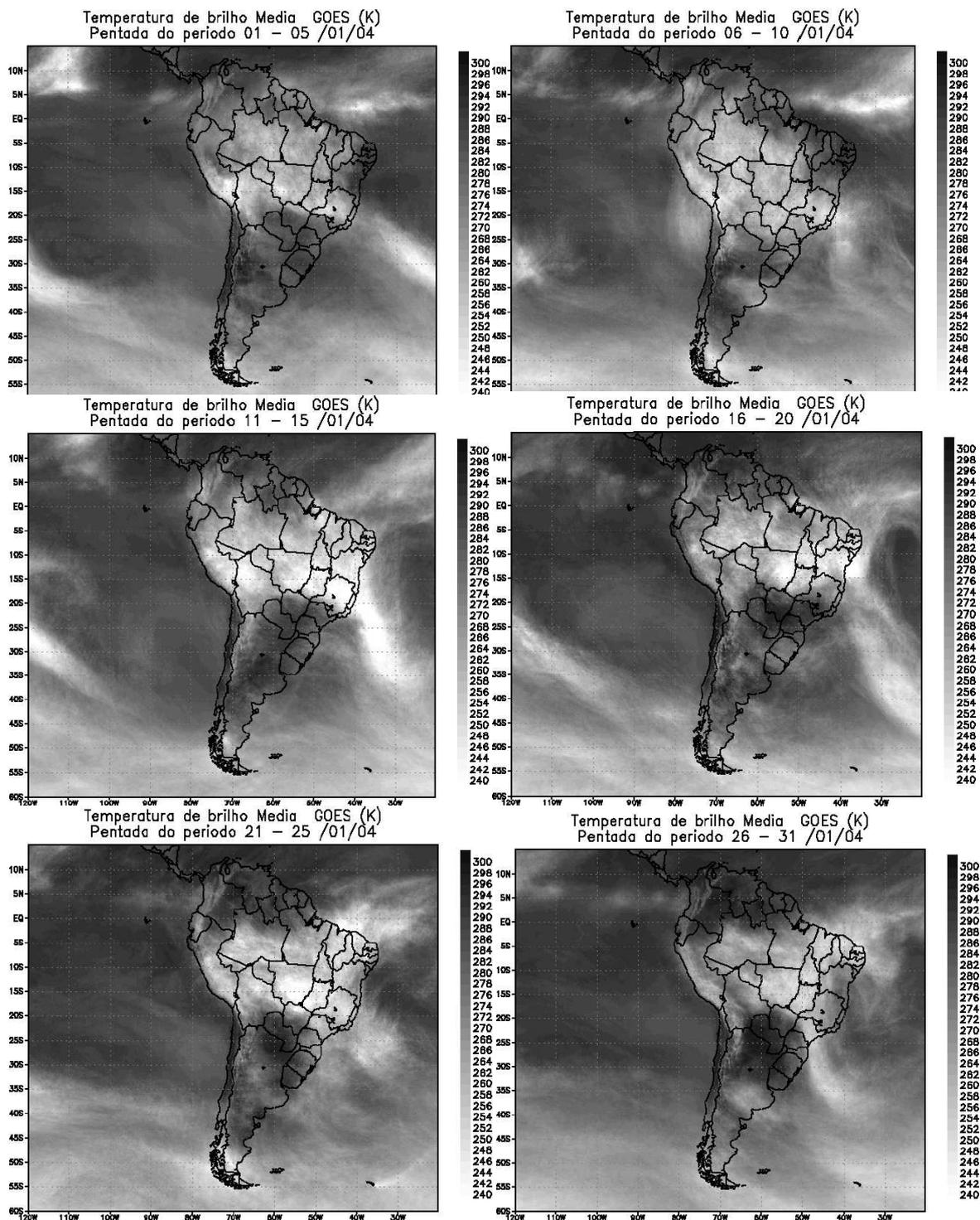


Figura 6.3: Pêntadas de temperatura de brilho média (K) para o mês de JANEIRO de 2004. (FONTE: Satélite GOES 12/CPTEC/INPE/CLIMANÁLISE).

### 6.1.2 Fevereiro

No mês de fevereiro as configurações sinóticas foram bastante semelhantes às de janeiro. A ZCIT ainda permanece abaixo da sua média climatológica (Figura 6.4a) e as interações entre ZCIT, ZCAS e VCAN continuaram intensas. Nos campos médios diários de temperatura de brilho mínima, notou-se a configuração da ZCIT durante quase todo o mês, com maior atividade convectiva nas 1a, 4a e 5a pântadas desse mês (Figura 6.5). Na média mensal da circulação de altos níveis (Figura 6.4b) se observa um enfraquecimento do cavado, isso se deve a diminuição da atuação dos VCANs que nesse mês apresentou sete episódios, na maioria sobre o oceano Atlântico, e ocorreu apenas um episódio de interação com a ZCAS. A AB ainda permanece bem acima da sua climatologia e se observa um enfraquecimento dos VCANs.

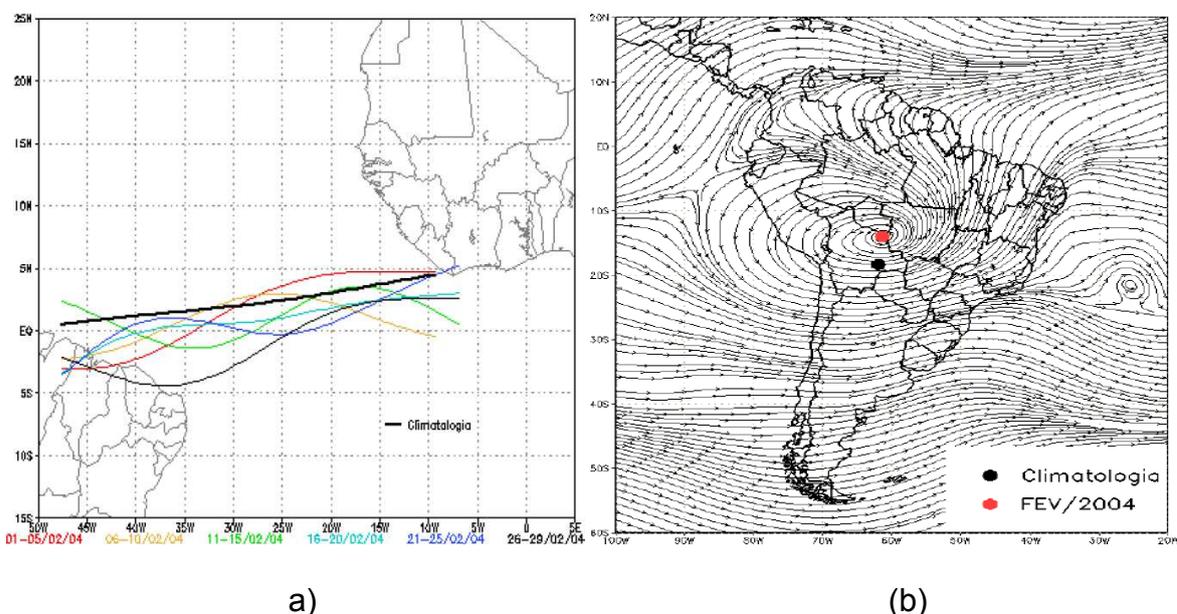


Figura 6.4: (a) Estimativa da posição média pentadal da ZCIT, em fevereiro de 2004, a partir da localização dos mínimos valores de ROL ao longo do Oceano Atlântico Equatorial, (b) Posição média climatológica da circulação da alta troposfera em fevereiro de 2004. (Fonte: NCEP/NOAA/CPTEC/IMPE/CLIMANÁLISE)

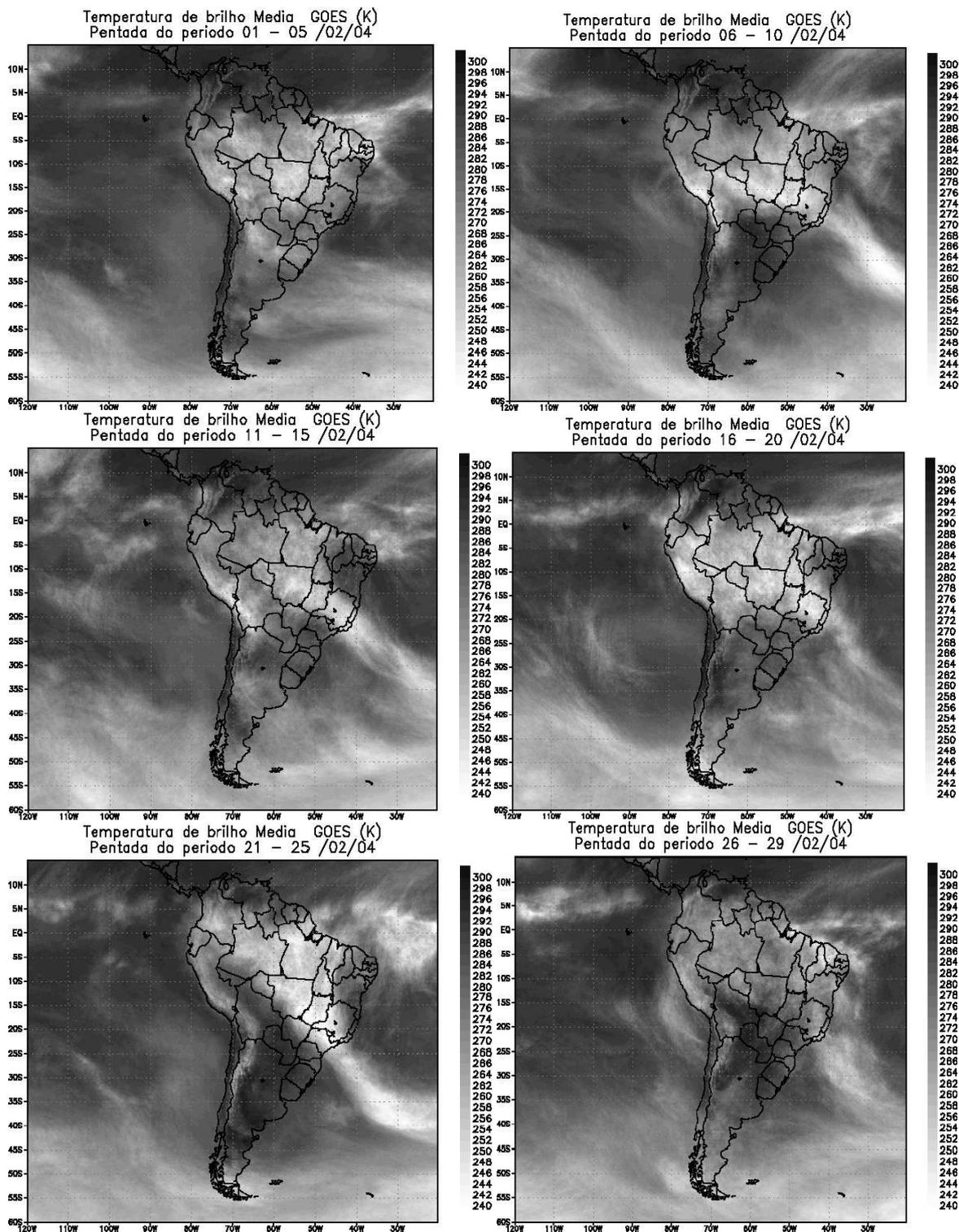


Figura 6.5: Pêntadas de temperatura de brilho média (K) para o mês de fevereiro de 2004. (FONTE: Satélite GOES 12/CPTEC/INPE/CLIMANÁLISE).

## 6.2. Análise de ondeletas para o período de 1998 a 2007

Os resultados para 2004 se mostraram interessantes em função da interação entre as energias das escalas inferiores à anual parecerem semelhantes em quase todas as regiões do estado. A Figura 665 mostra a análise de ondeletas ressaltando o ano de 2004 na década de 1998 a 2007.

Nessa década as principais escalas identificadas foram a mensal, semi-anual, anual e bianual. A escala anual está relacionada à frequência em que os sistemas atuam (o ciclo anual). A ZCIT é o fenômeno que se classifica como intrasazonal, as ZCAS e VCANs são sistemas sinóticos que nos episódios estudados, contribuíram no espectro de energia com a escala mensal.

As interações entre as escalas citadas são observadas em quase todas as cidades selecionadas, exceto João Pessoa e Cajazeiras (os extremos do estado). Em João Pessoa o ciclo anual aparece bem intenso, mas não existem interações com a escala mensal e intrasazonal, apenas com a semi-anual. Cajazeiras apresenta a mesma configuração com interação entre escala semi-anual e anual com menor intensidade. Esses casos em particular representam atuações entre sistemas meteorológicos diferentes do restante do estado, onde João Pessoa sofreu mais a influência dos distúrbios de leste em junho e julho e Cajazeiras mais as influências da ZCIT em janeiro e fevereiro. O restante do estado sofreu influência da forte interação entre ZCIT, ZCAS e VACANs indicada pela interação entre as escalas mensal, intrasazonal, semi-anual.

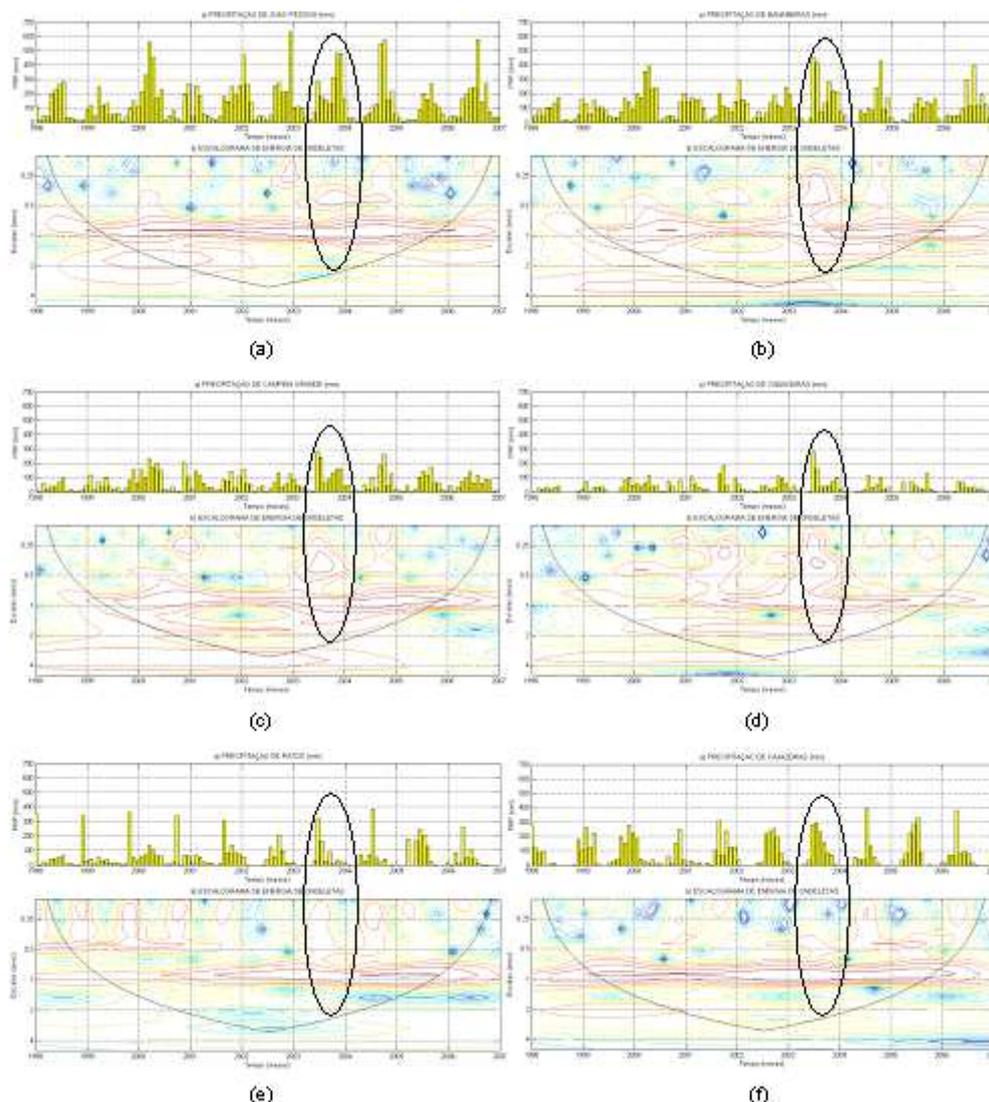


Figura 6.6.: Análise de ondeletas em uma série mensal de precipitação de 10 anos (1998-2007) em: (a) João Pessoa, (b) Bananeiras, (c) Campina Grande, (d) Cabaceiras, (e) Patos, (f) Cajazeiras.

O EN 2003/04 foi classificado como moderado, porém, aparentemente não teve influência na inibição das chuvas do início do ano em 2004. Para esse mesmo período a análise subjetiva da relação entre DPA e PRP (a partir da figura 5.27) indica que o DPA nesse ano também não influenciou as chuvas desse ano. O gradiente térmico do Atlântico em 2004 foi um dos mais baixos da série, em torno de  $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , indicando que o Atlântico Sul estava muito mais frio que o Atlân-

tico Norte e aparentemente teve mais influência nas chuvas da Paraíba. A Figura 6.1a mostra que na média o cavado em altos níveis estava mais intenso em janeiro, relacionado também a AB que estava mais intensa (CLIMANÁLISE 2004), porém é importante ressaltar que a alta semi-estacionaria sobre o Atlântico Sul estava mais intensa em função do forte gradiente térmico, que também é indicada pela inibição da nebulosidade representada nas pêntadas da Figura 6.3.

## CAPITULO 7

### CONCLUSÕES

A análise de ondeletas aplicada a PRP em cada região homogênea do estado da Paraíba e nas regiões dos índices de monitoramento de TSM nos oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical possibilitou chegar às seguintes conclusões:

- ❖ A TO aplicada às séries climatológicas de PRP e TSM foi capaz de decompor o sinal em múltiplas escalas de tempo e mostrar que a construção das séries faz parte de interações complexas de ondulações em diferentes escalas.
- ❖ De modo geral a TO aplicada a PRP evidenciou que dentre todas as regiões estudadas destacou-se o ano 2004, pois neste ano ocorreram chuvas intensas na maioria das regiões estudadas. A energia de ondeleta para chuva revelou relações importantes entre a escala mensal, intrasazonal, semi-anual e anual, e sua associação com três sistemas atmosféricos, quais sejam: ZCIT, ZCAS e os VCANs, que elevam o índice pluviométrico da região.
- ❖ As análises da TSM do Pacífico Equatorial mostraram que na parte leste a escala anual é mais intensa devido à grande variabilidade do ciclo anual. À medida que se desloca para a parte oeste do Pacífico, a escala anual é praticamente nula e a escala decadal é fortalecida, tornando-se mais importante

na nessa região do Pacífico. Já no Atlântico, a TSM apresentou na sua composição duas ondas em escalas diferentes: uma na escala anual e outra na escala decadal, que se propagam durante todo o período de tempo estudado.

- ❖ As relações entre TSM e PRP são mais significativas em anos eventos intensos do ENOS, principalmente na parte central do estado. O gradiente térmico do Atlântico se relacionou melhor com as chuvas na parte oeste, onde o DPA interfere na ZCIT e conseqüentemente nas chuvas no semi-árido da Paraíba.
- ❖ Para o ano de 2004, identificaram-se escalas específicas dos sistemas atmosféricos que influenciaram nas chuvas de janeiro e fevereiro. No litoral leste quem mais contribuiu foi os sistemas ondulatórios de leste. No oeste e Alto Sertão foi a ZCIT.

## REFERÊNCIAS

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T.; GUEDES, R.L.; OYAMA, M.D.; ALVES, M.A.S. A influência da temperatura da superfície do mar dos oceanos Pacífico e Atlântico na variabilidade de precipitação em Fortaleza. **Revista Brasileira Meteorologia**, v.19, n.3, p.337-344, 2004.

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V. de; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à Climatologia: Teoria e prática**. Pelotas: Ed. Universitária, 1996. 161 f.

BARBOSA, E. B. M.; ROSA, R. R.; VIJAYKUMAR, N. L.; BOLZAN, M. J. A.; TOMASELLA, J. Caracterização por ondeletas de processos físicos não-lineares na micro-bacia amazônicas. **Anais** do XXVIII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e computacional, CNMAC, 2005.

BOLZAN. M. J. A. Análise da transformada em ondeletas aplicada em sinal geofísico. **Revista Brasileira de Ensino da Física**. V. 26, n. 1, p. 37-41. 2004.

BOLZAN. M. J. A. Transformada em ondeleta: Uma necessidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, 563-567, 2006. 101.

BRAGA, C. C. **Inter-relação entre padrões de índices de vegetação e de pluviometria no Nordeste do Brasil**. Tese de doutorado, campina grande – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, 2000, 129 p.

BRITO, J. I. B. de; SILVA, M. C. L. de; COSTA, A. M. N.; BRAGA, C. C. Análise da precipitação no Estado da Paraíba no período de 1962-2001. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza, SBMET, **Anais**: 2004.

BRITO, J. I. B. de; BRAGA, C. C. Chuvas no estado da Paraíba em 2004. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**. V. 29, nº 1, março 2005.

CAVALCANTE, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da, DIAS, M. A. F.; **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2009.

CERQUEIRA, H. D. V. **Análise harmônica de séries climatológicas de temperatura da superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico**. 2008. 40f. Trabalho de conclusão de curso (graduação em Meteorologia)-Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências, Belém - Pará. 2007.

CLAUZET, G.; WAINER, I.; SERVAIN, J. A variabilidade oceânica e atmosférica na região do Atlântico Tropical nos dados da rede PIRATA a partir da análise de ondeleta. **Revista Brasileira de Meteorologia**. V. 20, n.1, 43-58. 2005. 102.

CLIMANÁLISE. **Boletim de monitoramento e análise climática**. Volume 19 - Nº 01, janeiro de 2004.

CLIMANÁLISE. **Boletim de monitoramento e análise climática**. Volume 19 - Nº 02, fevereiro de 2004.

CRUZ, R. C. **Uso de Funções de Transferência e da Transformada Wavelet aplicadas a Sinais Meteorológicos da Floresta Nacional de Caxiuanã**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística, Belém - Pará, 2008.

DATSENKO, N. M.; ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. Variações Pluviométricas no Nordeste Brasileiro: Comparações com Mudanças Climáticas Globais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.10, n.2, p.42-47, 1995.

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

ENFIELD, D. B. Relationships of inter-american rainfall to tropical Atlantic and Pacific SST variability, **Geophysical Research Letters**. V. 23, n. 23, P. 3305–3308. 1996. 103.

GANDU, A.W.; SILVA DIAS, P. L. Impact of tropical heat sources on the South American tropospheric upper circulation and subsidence. **Journal of Geophysics Research**. v. 103, p. 6001-60015, 1998.

GATTS, C. E. N.; OVALLE, A. R. C. Análise de séries temporais com múltipla resolução em frequência: aporte fluvial para o estuário do rio Paraíba do Sul. **Anais do III Congresso Brasileiro de Oceanografia**, Fortaleza-CE, maio de 2008.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quartely Journal Royal Meteorological society**, v. 103, p. 77-92, Jan. 1977.

HASTENRATH, S. Climate and circulation of the tropics, p.455, **Dordrecht: D. Reidel**, 1985.

HASTENRATH, S.; GREISHAR, I. Circulation mechanisms related to Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Geophysical Research**, v.98 (D3), p. 5093-5102.1993.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.107, n.9, p.1140-1153, 1979.

KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**,v.108, n. 4, p. 488-498, Apr. 1980 104.

KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T.; CAVALCANTI, I.F.A. A Review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation change and related rainfall anomalies. **Tellus**, v.36A, p. 490-504, 1984.

KUNUTSON, T. R.; WEICKMANN, K. M. 30-60 day atmospheric oscillation: composite life cycles of convection and circulation anomalies. **American Meteorological Society**. V.115, July 1987. 1407-1436.

MANTUA, N. J. A pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, p. 1069-1079. 1997.

MENEZES, H. E. A. BRITO, J. I. B. SANTOS, C. A. C. S. SILVA, L. L. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 152-161, 2008.

MEYER, Y. **Wavelets**: algorithms and applications. Philadelphia, SIAM, 1993.

MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da região Amazônica: mecanismo de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 2, n. 1, p. 107-117, Jun.1987.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, n.1, p. 1-10, 2002. 105.

MORETTIN, P., A. **Ondas e ondeletas: da análise de Fourier à análise de ondeletas**. São Paulo: editora da Universidade de São Paulo. 1999.

MOTA, G. V. **Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no nordeste no nordeste brasileiro**. 1997. 97 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – IAG/USP. 1997.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of the Atmospheric sciences**. V.38, p. 2653-2675, Dec. 1981.

NEIVA, E. J. F. **An investigation of wave-type disturbances over the Tropical South-Atlantic**. 1975. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Naval Post Graduate Scholl, Monterrey, California, USA, 1975.

NIMER, E. Climatologia da região Nordeste do Brasil: Introdução à Climatologia Dinâmica, **Revista Brasileira de Geografia**, 34(2): 3-51, 1972.

NIMER, E. **Pluviometria e recursos hídricos dos Estados de Pernambuco e Paraíba**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

NOBRE, C. A.; CAVALCANTI, M. A. G.; NOBRE, P.; KAYANO, M. T.; BONATTI, J. P.; SATYARMUTI, P.; UVO, C. B.; COHEN, J. C. 1986. Aspectos da climatologia dinâmica do Brasil. **Climanálise**, Número Especial: 124p. 106.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South American. **Journal of Climate**. V. 9. P. 2464-2479. Oct. of 1996.

NOBRE, P.; MELO, A. B. C. Variabilidade climática sobre o Nordeste do Brasil em 1998-2000. **Climanálise**. (São José dos Campos), Brasil. 2001.

OCEANO ATLÂNTICO, disponível em <http://pwp.netcabo.pt/geografia/planeta.htm>, site visitado em 6 de junho de 2009.

OCEANO PACÍFICO, disponível em <http://pessoas.hsw.uol.com.br/informacoes-oceano-pacifico.htm>, site visitado em 6 de junho de 2009

ODA, T. O. Análise de séries temporais de temperatura da superfície do mar e vorticidade geostrófica no Atlântico Sul através da transformada em ondeletas. XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008, São Paulo-SP. **Anais** DVD-ROM, SBMET.

OLIVEIRA, G. S. **O El Niño e você**: fenômeno climático. São José dos Campos - SP: Trastec. 1999. 155 p. 107.

RAMÍREZ, M. C. V.; WEIGANG, L.; FERREIRA, N. J. Aplicação de Redes Neurais Artificiais e Transformada de Ondeletas para estimativas de Precipitação usando imagens do satélite GOES-8: Resultados Preliminares. IV Congresso Brasileiro de Redes Neurais, p. 252-256, **anais**. ITA, São José dos Campos - SP – Brasil. julho de 1999.

RAO, V. B.; LIMA, M. C. de; FRANCHITO, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over Eastern Northeast Brazil. **American Meteorological Society**. v.6, September 1993. 1754-1763.

REYNOLDS, R. W.; RAYNER, N. A.; SMITH, T. M.; STOKES, D. C.; WANG, W. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. **Journal of Climate**. V. 15. 2002. 1609-1625.

RUIZ-BARRADAS A.; CARTON J. A.; NIGAM S. Structure of interannual-to-decadal climate variability in the tropical Atlantic Sector. **American Meteorological Society**. v.13, September 2000. 3285-3297.

SÁ, A. L. D.; SAMBATTI, S. B. M.; GALVÃO, G. P. Ondelata de Morlet aplicada ao estudo da variabilidade do nível do rio Paraguai em Ladário, MS. **Pesquisa Agropecuária**. Brasília. V. 33. Num. Especial. P. 1775-1785. Outubro de 1998.

SERVAIN, J.; LEGLER, D. M. Empirical orthogonal function analyses of tropical Atlantic sea surface temperature and wind stress: 1964-1979. **Journal of Geophysical Research**, v.91 (c12), n. 14, p. 181-191, 1986. 108.

SILVA, L. A. **A influência do vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) sobre a precipitação do nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas.** Dissertação de mestrado. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005.

SISTEMAS ATMOSFÉRICOS CAUSADORES DE CHUVA NO NORTESTE BRASILEIRO. Disponível em <http://www.funceme.br/areas/tempo-e-clima/sistemas-atmosfericos-atuantes-sobre-o-nordeste>, site visitado em 16 de fevereiro de 2010.

SOUZA, E. B. E; AMBRIZZI. T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden-Julian oscillation. **Journal of Climatology**, 2006.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B. REPELLI, C. A. Uma Revisão sobre a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Variabilidade Pluviométrica do Semi-Árido Nordestino. **Monitor Climático**, 11 (122): 7-17, maio de 1997.

SOUZA, E. B.; ALVES, J. M. B. REPELLI. A. Influência dos oceanos Pacífico e Atlântico na estação chuvosa do Semi-Árido Nordestino. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 277-283, 1998.

SOUZA, .E B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. The regional precipitation over the eastern Amazon/Northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic sst anomalies on weekly timescale. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.3, 325-336, 2004. 109.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. 340 problemas resolvidos. 340 problemas propostos; tradução, revisão e adaptação Carlos Augusto Crusius, 2 ed. São Paulo: MCGraw-Hill do Brasil, 1986. 454 p.

TASCETTO, A. S.; I. WAINER. The impact of subtropical South Atlantic SST on South American precipitation. **Annales Geophysicae** , 26(11):3457-3476. 2008

TORRENCE, C.; COMPO, G.P. A practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**. 79, 61-78, 1998.

TRENBERTH, M. R. The definition of the El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, V.78, N. 12, P.2771-2777. Dec. 1997.

UVO, C. B.; REPELLI C. A.; ZEBIAK S. E.; KUSHNIR Y. The Relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation. **American Meteorological Society**, April 1998, 551-561.

VAREJÃO SILVA, M. A.; BRAGA, C. C.; AGUIAR, M. J. N.; NIETZSCHE, M. H. SILVA, B. B. **Atlas Climatológico do Estado da Paraíba**, FINEP, 1984

VITORINO, M., V. **Análise das oscilações intrasazonais sobre a América do sul e oceanos adjacentes utilizando a análise de ondeletas.** Tese de doutorado. São José dos Campos: INPE, 2002. 344p. 110.

VITORINO, M. I.; DIAS, P. L.; FERREIRA, N. J. Observational study of the seasonality of the submonthly and intraseasonal of convection over the tropics. **Meteor. Atmos. Phys.** 93, 17-35. 2005.

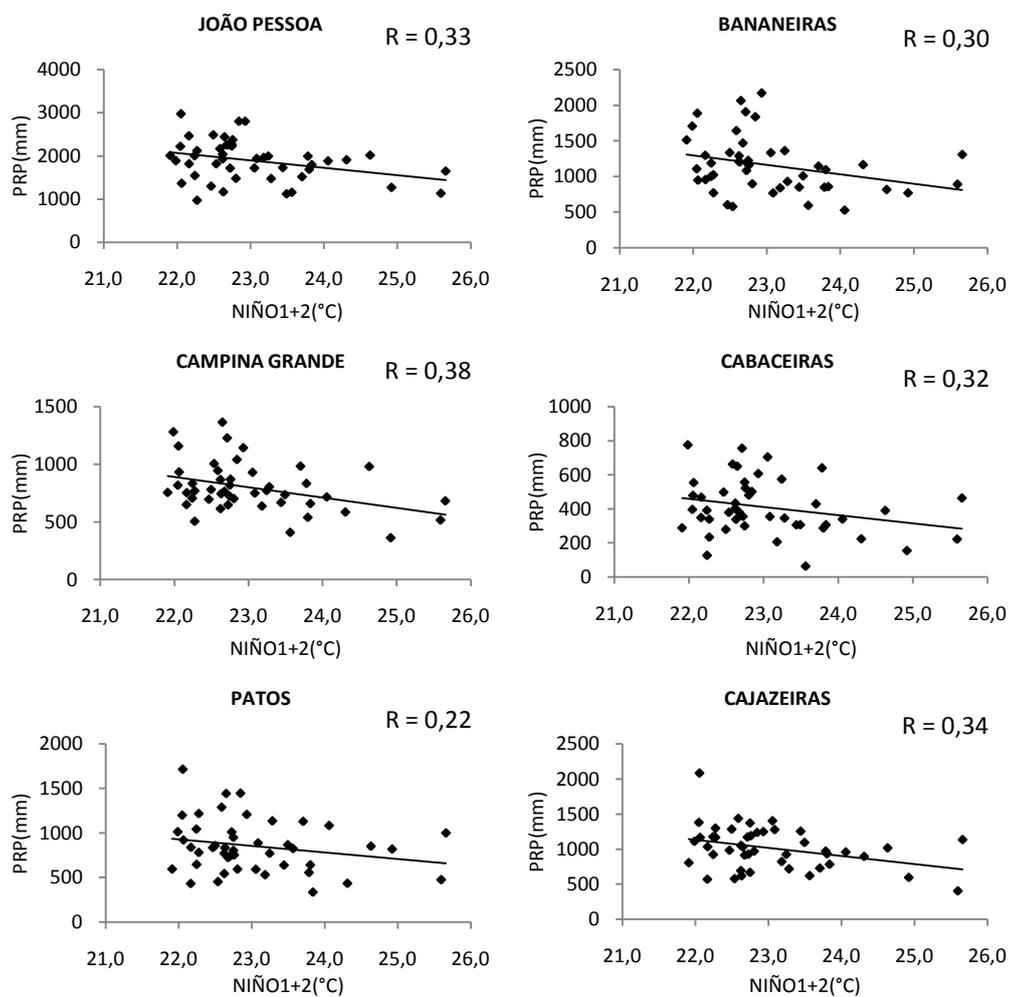
VITORINO, M. I.; BRAGA, C. C.; BRITO, J. B. B. Análise da variabilidade de baixa frequência da precipitação sobre o estado da Paraíba. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis - SC. **Anais** DVD-ROM, SBMET.

WAGNER, R. G. Mechanisms controlling variability of the inter-hemispheric sea surface temperature gradient in the tropical Atlantic. **Journal of Climate.** V. 9(7), p. 2010-2019. 1996.

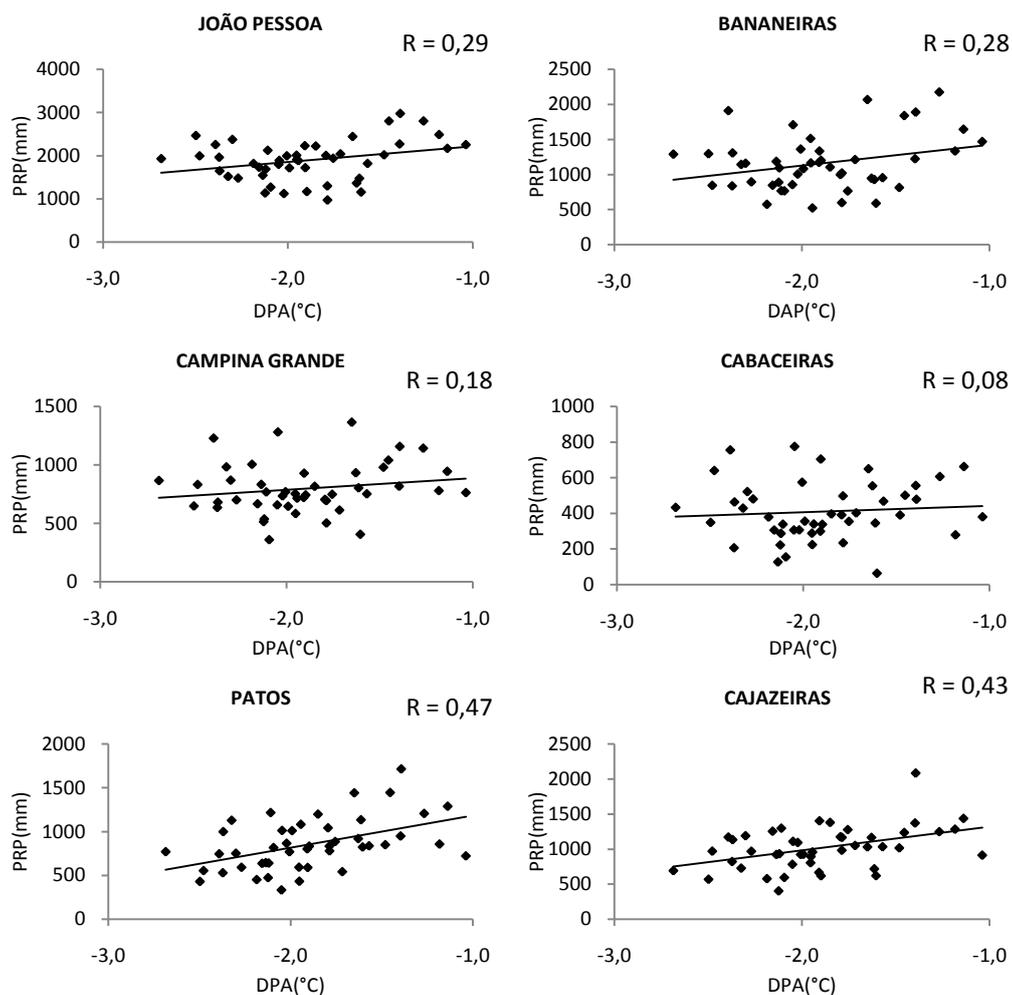
WENG, H.; LAU, K-M. Wavelet, period doubling, and time-frequency localization with application to organization of convection over the tropical Western Pacific. **American Meteorological Society**, Set. 1994, 2523-2541.

XAVIER, T., B., **Tempo de chuva:** estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional. Fortaleza: ABC Editora. 2001.

## APÊNDICE



Apêndice 5.1: Coeficiente de correlação linear entre os eventos de El Niño forte e moderado com as chuvas nas regiões pluviometricamente homogêneas da Paraíba.



Apêndice 5.2: Coeficiente de correlação linear entre o gradiente térmico meridional do Atlântico com as chuvas nas regiões pluviometricamente homogêneas da Paraíba.