



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

Nº MET - UFAL - MS – 103

ANDERLAN HENRIQUE BATISTA SIQUEIRA

**VARIABILIDADE DO CLIMA DA AMÉRICA DO SUL E SUA
RELAÇÃO COM OS ÍNDICES OCEÂNICOS E ATMOSFÉRICOS**

**MACEIÓ - ALAGOAS
2012**

ANDERLAN HENRIQUE BATISTA SIQUEIRA

Nº MET - UFAL - MS - 103

**VARIABILIDADE DO CLIMA DA AMÉRICA DO SUL E SUA
RELAÇÃO COM OS ÍNDICES OCEÂNICOS E ATMOSFÉRICOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Professor Doutor Luiz Carlos Baldicero Molion

**MACEIÓ - ALAGOAS
2012**

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Fabiana Camargo dos Santos

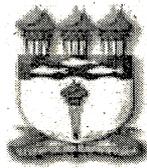
S618v Siqueira, Anderlan Henrique Batista.
Variabilidade do clima da América do Sul e sua relação com os índices oceânicos e atmosféricos / Anderlan Henrique Batista. – 2012.
77 f. : il.

Orientador: Luiz Carlos Baldicero Molion.
Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2012.

Bibliografia: f. 71-75.
Apêndices: f. 76-77.

1. Variabilidade climática – América do Sul. 2. Oceano Pacífico. 3. Oceano Atlântico. I. Título.

CDU: 551.588.4



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-103.

*“VARIABILIDADE DO CLIMA DA AMÉRICA DO SUL E SUA RELAÇÃO COM OS
ÍNDICES OCEÂNICOS E ATMOSFÉRICOS”*

Anderlan Henrique Batista Siqueira

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion
(Orientador)

Prof. Dr. Frederico Tejo Di Pace
(Membro Interno)

Prof. Dr. Antonio Divino Moura
(Membro Externo – INMET)

Dezembro/2012

Dedico este estudo com muito amor e carinho aos meus avós, Miguel Marcolino dos Santos e Aurea Alves Batista, Manoel Alves de Siqueira, *in memoriam*, e Maria Irene Silva. Também aos meus Pais, José Henrique Alves de Siqueira e Valderez Batista Siqueira, meu irmão Anderson Rangel Batista Siqueira e a minha noiva Nayara Arroxelas dos Santos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela a graça da vida, paz, serenidade e inteligência.

Agradeço ao Professor Molion, pela paciência nesses sete anos que estive trabalhando no laboratório. Também por me dar suporte em minha carreira acadêmica e me ensinar a dar os primeiro passos nos caminhos da área de pesquisa. Sem sombra de dúvida um grande amigo, orientador e mestre.

A todos os Professores do Instituto pelos ensinamentos.

Agradeço a minha família por dar suporte a minha vida estudantil e me incentivar em minha carreira acadêmica. Agradeço, especialmente, aos meus pais Valderez Batista Siqueira e José Henrique Alves Siqueira, meu irmão Anderson Rangel Batista Siqueira.

Agradeço a minha noiva Nayara Arroxelas dos Santos por toda paciência e incentivo dado em minha carreira profissional e minha vida pessoal. Lembre-se que te amo muito.

Aos amigos que sempre me acompanharam nos momentos bons e ruins, em especial Wially, Clebson, André Gonçalo, Wendell, Bruno e Renato.

PENSAMENTOS

CLOSER TO THE HEART (RUSH)

And the men who hold high places
Must be the ones who start
to mold a new reality
Closer to the Heart
Closer to the Heart

The Blacksmith and the Artist
Reflected in their art
They forge their creativity
Closer to the Heart
Yeah, Closer to the Heart

Philosophers and Plowmen
Each must know his part
To sow a new mentality
Closer to the Heart
Closer to the Heart

You can be the Captian
And i will draw the chart
Sailing into destinity
Closer to the Heart
Closer to the Heart
Well, Closer to the Heart
Yeah, Closer to the Heart
Close to the Heart
I said, Closer to the Heart

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar e avaliar a dinâmica do clima existente na América do Sul. Para tal, utilizaram-se dados dos índices climáticos da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), da Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA), da Oscilação do Sul (OS) e da Oscilação do Atlântico Norte (OAN), como, também, o conjunto de dados de reanálise do NCAR da variável meteorológica taxa de precipitação. Aplicaram-se nesses conjuntos de dados quatro técnicas estatísticas a saber, filtro Hodrick – Prescott, análise das ondeletas, análise exploratória de dados e análise das funções ortogonais empíricas. Com o filtro Hodrick – Prescott separaram-se a parte cíclica/aleatória (variabilidade de alta frequência) da tendência (variabilidade de baixa frequência) dos índices climáticos. Depois, para cada parte aplicou-se a análise das ondeletas na parte cíclica como também na parte da tendência para se captar possíveis periodicidades aparentes em ambas as novas séries. No segundo momento, utilizou-se a análise exploratória de dados para se observar a relação de superposição entre a ODP e OMA. Após, calcularam-se as anomalias da taxa de precipitação em relação ao período de 1981 a 2010 para cada período de superposição, ou seja, 1948 a 1964 (ODP negativa e OMA positiva), 1965 a 1977 (ODP negativa e OMA negativa), 1978 a 1996 (ODP positiva e OMA negativa) e 1997 a 2006 (ODP positiva e OMA positiva). No terceiro momento, calcularam-se os coeficientes de correlação direta entre a taxa de precipitação e os índices de ODP e OMA para cada período. No quarto momento, calcularam-se a primeira e segunda componentes das funções ortogonais empíricas para a taxa de precipitação nas fases fria e quente da ODP. Observou-se que o filtro Hodrick – Prescott é uma boa ferramenta para análise de séries temporais. Sugeriu-se que as oscilações possam ter sofrido a influência do ciclo nodal lunar, uma vez que foram observados os dois ciclos distintos nas análises das ondeletas da parte cíclica e da tendência dos índices climáticos, ou seja, ciclos de 9 e 18 anos. Viu-se que a taxa de precipitação tem comportamento diferente, dependendo das fases da ODP e dos modos da OMA. Ou seja, a taxa de precipitação pode aumentar, diminuir ou não ter correlação com uma ou ambas as oscilações. A primeira componente da taxa de precipitação mostrou um núcleo interligado no centro da América do Sul em ambas as fases da ODP, provavelmente associado com a Alta da Bolívia, que resulta do aquecimento continental no verão, e a formação da Zona de convergência da América do Sul. A segunda componente apresentou sinais opostos entre as Regiões Norte e Centro/Sudeste do Brasil, possivelmente associados a eventos El Niño/La Niña e sua interação com as estruturas atmosféricas de grande escala.

Palavras – Chaves: Variabilidade Climática. Oceanos Pacífico e Atlântico. América do Sul.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze and evaluate the dynamics of climate observed in South America. To achieve this aim, we used time series of climatic indices of the Pacific Decadal Oscillation (PDO), Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO), Southern Oscillation and North Atlantic Oscillation, as well as the NCAR reanalysis data set of the variable precipitation rate. We applied statistical techniques to these four data sets, namely Hodrick – Prescott filter, wavelet analysis, exploratory data analysis and analysis of empirical orthogonal functions. The Hodrick – Prescott filter applied to the climatic indices time series generated two new time series for each index, the cyclical/random (high frequency variability) and trend (low frequency variability) components. Wavelet analysis was applied to the cyclical/random and trend components time series separately to search for possible apparent periodicities in the components time series. In the second step, we used the exploratory data analysis to identify periods of superposition between the PDO and AMO. Then, precipitation rate anomalies were calculated for the period 1981 to 2010 for each superposition period, namely 1948 to 1964 (PDO negative and AMO positive), 1965 to 1977 (PDO negative and AMO negative), 1978 to 1996 (PDO positive and AMO negative) and 1997 to 2006 (PDO positive and AMO positive). The third step was to calculate the correlation coefficients between the precipitation rate and the PDO and AMO indices for each period. After that, first and second components of empirical orthogonal functions for the rate of precipitation in the PDO cold and warm phases were calculated. It was found that the Hodrick - Prescott filter is a good tool for analyzing time series of meteorological variables and separating their trend and cyclical/random components. It was noted that the oscillations may have the influence the lunar nodal cycle, since we found two distinct cycles in the wavelet analysis of the climatic indices trend and cyclical components, that is, the 9 and 18 year cycles. The correlation analysis suggested that the precipitation rate may have different behaviors depending on the phases of PDO and of the modes of AMO. It may increase, decrease or have no correlation with one or both oscillations. The first component of the precipitation rate showed a nucleus of high values in the center of South America in both PDO phases and it is most probably associated with the Bolivian High, resulting from the summer continental heating and convection, and South American Convergence Zone. The second component showed inverted signs between the Northern Region and the Center/Southeastern Region of Brazil, possibly related to El Niño/La Niña events that affect these regions and interact with large-scale atmospheric structures.

Keywords: Climate Variability. Atlantic and Pacific Oceans. South America.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Posição geográfica dos locais de estudo.	17
Figura 2-	Condições sobre o oceano Pacífico dos fenômenos El Niño - Oscilação do Sul (ENOS). Em (a) eventos El Niños, em (b) condições normais e em (c) La Niñas.	20
Figura 3-	Anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) para a região do oceano Pacífico. Em (a) fase fria e em (b) fase quente da oscilação decadal do Pacífico (ODP).	22
Figura 4-	Configuração da Oscilação do Atlântico Norte (OAN). Em (a) fase negativa e em (b) fase positiva.	24
Figura 5-	Índice da Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA).	26
Figura 6-	Gráfico da dispersão em coordenadas cartesianas, em (a) correlação linear positiva, em (b) correlação linear negativa e em (c) correlação nula.	31
Figura 7-	Gráfico de uma distribuição normal (ou gaussiana).	34
Figura 8-	Análise da série temporal dos índices da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) em (a) série dos índices da ODP e as tendências (linha suave) e em (b) a parte cíclica/aleatória, extraídas com o filtro Hodrick-Prescott.	40
Figura 9-	Análise das ondeletas aplicada às séries (a) das tendências e (b) da parte cíclica/aleatória, obtidas após o tratamento da série dos índices da ODP com o filtro HP, com respectivos Espectros de Potências (EPO, esquerda) e Espectro Global das Ondeletas (EGO, direita).	42
Figura 10-	Análise da série temporal dos índices da Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) em (a) série dos índices da OMA e das tendências (linha suave) e em (b) a parte cíclica/aleatória, extraídas com o filtro Hodrick-Prescott.	43
Figura 11-	Análise das ondeletas aplicadas às séries (a) das tendências e (b) parte cíclica/aleatória, obtidas após tratamento da série dos índices de OMA com o filtro HP com os respectivos Espectro de Potência (EPO, esquerda) e Espectro Global das Ondeletas (EGO, direita).	45
Figura 12-	Análise da série temporal dos índices da Oscilação do Sul (OS) em (a) série dos índices da OS e as tendências (linha suave) e em (b) a parte cíclica/aleatória, extraídas com o filtro Hodrick- Prescott.	46
Figura 13-	Análise das ondeletas aplicada às séries (a) das tendências e (b) da parte cíclica/aleatória, obtidas após o tratamento da série dos índices da OS com o filtro HP, com respectivos Espectros de Potências (EPO, esquerda) e Espectro Global das Ondeletas (EGO, direita).	47
Figura 14-	Análise da série temporal dos índices da Oscilação do Atlântico Norte (OAN) em (a) série dos índices da OAN e das tendências (linha suave) e em (b) a parte cíclica/aleatória, extraídas com o filtro Hodrick-Prescott.	49

Figura 15-	Análise das ondeletas aplicadas às séries (a) das tendências e (b) parte cíclica/aleatória, obtidas após tratamento da série dos índices de OMA com o filtro HP com os respectivos Espectro de Potência (EPO, esquerda) e Espectro Global das Ondeletas (EGO, direita).	50
Figura 16-	Tendências dos índices da ODP (em cinza) e da OMA (em negro) extraídas com o filtro Hodrick-Prescott do período de janeiro de 1900 a dezembro de 2010. As linhas verticais cheias e tracejadas representam, respectivamente, as divisões do modo positivo e negativo da OMA e as fases fria e quente da ODP.	51
Figura 17-	Anomalias anuais da taxa de precipitação (mm.dia-1) sobre a América do Sul em relação ao período de 1981 à 2010. Em (a) 1948 à 1964 (ODP - e OMA +), em (b) 1964 à 1976 (ODP - e OMA -), em (c) 1976 à 1995 (ODP + e OMA -) e em (d) 1995 à 2006 (ODP + e OMA +).	53
Figura 18-	Coefficientes de correlações entre os índices da ODP e OMA e a taxa de precipitação para os períodos de estudo. As figuras da esquerda (a, c, e, g) são os coeficientes de correlações com o índice da ODP e as da direita (b, d, f, h) são os coeficientes de correlações com o índice da OMA para os períodos de 1948 a 1964, 1965 a 1977, 1978 a 1996 e 1997 a 2006, respectivamente.	56
Figura 19-	Primeira componente das funções ortogonais empíricas (FOE) para a taxa de precipitação, em (a) fase fria e em (b) fase quente da ODP.	61
Figura 20-	Segunda componente das funções ortogonais empíricas (FOE) para a taxa de precipitação, em (a) fase fria e em (b) fase quente da ODP.	62
Figura 21-	Primeira componente das funções ortogonais empíricas (FOE) para os dados de precipitação compilados pela UDEL, em (a) fase fria e em (b) fase quente da ODP.	63
Figura 22-	Segunda componente das funções ortogonais empíricas (FOE) para os dados de precipitação compilados pela UDEL, em (a) fase fria e em (b) fase quente da ODP.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Valores e interpretação dos coeficientes de correlação adotados.	32
Tabela 2-	Características de uma distribuição normal.	34
Tabela 3-	Divisão dos períodos de atuação das fases da ODP e modos da OMA.	51
Tabela 4-	Valores das variâncias para as duas primeiras componentes da taxa de precipitação para as fases da ODP.	62
Tabela 5-	Valores das variâncias para as duas primeiras componentes dos dados de precipitação da UDEL para as fases da ODP.	64
Tabela 6-	Graus de significância versus coeficientes de correlação.	77

LISTA DE ABREVIATURAS

ACP	Análise das Componentes Principais
AED	Análise Exploratória de Dados
AO	Análise das Ondeletas
BOM	Bureau of Meteorology
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CRU	Climate Research Unit
EGO	Espectro Global das Ondeletas
EN	El Niño
ENOS	El Niño – Oscilação do Sul
EPO	Espectro de Potência das Ondeletas
ESRL	Earth System Research Laboratory
FHP	Filtro Hodrick - Prescott
FOE	Funções Ortogonais Empíricas
GPL	General Public License
GrADS	Grid Analysis and Display System
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOS	Índice da Oscilação do Sul
LN	La Niña
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCDC	National Climatic Data Center

NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NEB	Nordeste Brasileiro
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OAN	Oscilação do Atlântico Norte
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
OMA	Oscilação Multidecadal do Atlântico
OS	Oscilação do Sul
PIB	Produto Interno Bruto
PNA	Pacific North American
PNM	Pressão ao Nível Médio do Mar
PMEL	Pacific Marine Environmental Laboratory
PSA	Pacific South American
PSD	Physical Science Division
ROLE	Radiação de Onda Longa Emergente
TF	Transformadas de Fourier
TO	Transformadas das Ondeletas
TP	Taxa de precipitação
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UEA	University of East Anglia
UDEL	University of Delaware

ZCIA Zona de Convergência Intertropical do Atlântico

ZCIT Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Locais de estudo	17
2.2 Fenômenos Estudados	19
2.2.1 Fenômeno El Niño - Oscilação do Sul.....	19
2.2.2 Oscilação Decadal do Pacífico.....	20
2.2.3 Oscilação do Atlântico Norte.....	23
2.2.4 Oscilação Multidecadal do Atlântico.....	25
2.3 Métodos Estatísticos	27
2.3.1 Filtro de Hodrick – Prescott.....	27
2.3.2 Análise de Ondeletas.....	29
2.3.3 Coeficientes de Correlação Ordinária (ou de Pearson).....	31
2.3.4 Teste de hipótese e Níveis de Significância.....	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 Dados Utilizados	37
3.2 Metodologia e Programas Utilizados	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1 Análise do índice da Oscilação Decadal do Pacífico (IODP)	40
4.2 Análise do índice da Oscilação Multidecadal do Atlântico (IOMA)	43
4.3 Análise do índice da Oscilação do Sul (IOS)	45
4.4 Análise do índice da Oscilação do Atlântico Norte (IOAN)	48
4.5 Análise das Anomalias da Taxa de Precipitação	50
4.6 Análise da Correlação entre a Precipitação e os Índices da ODP e OMA	56
4.7 Análises das Funções Ortogonais Empíricas (Taxa de Precipitação)	61
4.8 Análises das Funções Ortogonais Empíricas (Precipitação UDEL)	63
4.9 Discussões	65
5 CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS	71
APÊNDICE A	77

1 INTRODUÇÃO

O clima de nosso planeta é dinâmico e complexo. Vários fatores, externos e internos influenciam e modificam as condições climáticas em todo o globo. Essas modificações podem perdurar meses, anos, décadas e assim por diante. Já conhecemos um pouco sobre as variabilidades de curto e de longo prazo. Como exemplo desse esforço, temos os fenômenos El Niño - Oscilação do Sul (ENOS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Muito ainda há de ser estudado para que o prognóstico climático seja melhorado, porém os conhecimentos que temos ajudam a compreender o comportamento do clima.

Na atualidade, as mudanças do clima ganharam um grande foco na sociedade. Sabe-se que o clima de nosso planeta apresenta uma variabilidade natural e que essa variabilidade, dentre outros fatores, está relacionada e condicionada aos oceanos, uma vez que esses ocupam, aproximadamente, 70% da superfície do planeta. Dentre os oceanos, os maiores são o oceano Pacífico e o oceano Atlântico. Observando esse aspecto, como também a constatação de que a atmosfera é aquecida por baixo, a interação entre o oceano e a atmosfera torna-se a condição de contorno inferior mais importante para a atmosfera e um dos fatores dominantes na dinâmica do clima nos continentes.

Fenômenos externos podem influenciar de forma direta ou indireta a variabilidade climática. São exemplos a variação da atividade solar e o ciclo nodal lunar. Os sinais decorrentes desses fenômenos podem se sobrepor uns aos outros, ocasionando confusão na análise e interpretação dos possíveis ciclos existentes nas séries climáticas de longo prazo. Para minimizar esse efeito, torna-se necessário separar os fenômenos de escala temporal maior dos de escalas mais curtas.

A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e a Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) são exemplos de fenômenos internos de longo prazo (baixa frequência), ambas na escala decadal ou interdecadal. Por outro lado, a Oscilação do Sul (OS) e a Oscilação do Atlântico Norte (OAN) são exemplos de fenômenos de curta duração (alta frequência). A ODP e a OMA estão relacionadas com a temperatura da superfície do mar (TSM). A OS e a OAN estão relacionadas com a pressão ao nível médio do mar (PNM).

A ODP e a OS como a OMA e a OAN estão relacionadas entre si. Portanto, a

variabilidade da TSM pode influenciar a PNM e vice-versa. Sabe-se que a TSM pode ser alterada por meio da interação com outros fenômenos de escalas temporais diferentes. Então, deve ser feita a separação das escalas de curto e longo prazos para que haja uma melhor interpretação dos resultados.

Este estudo teve como objetivo avaliar a relação entre a variabilidade oceânica e atmosférica nas escalas espacial e temporal e as mudanças climáticas das últimas décadas que ocorreram na América do Sul. Especificamente, analisar a periodicidade das mudanças temporais dos fenômenos em estudo, visando duas escalas temporais, a interanual e a interdecadal; estudar a distribuição espacial das grandezas meteorológicas precipitação; e analisar os padrões do comportamento da precipitação nas fases da ODP e nos modos da OMA.

Utilizaram-se, para tal, técnicas estatísticas, como o Filtro Hodrick-Prescott (FHP), a análise por Ondeletas, a Análise Exploratória de Dados (AED) e as Funções Ortogonais Empíricas (FOE). A primeira técnica separou a variabilidade de longo da de curto prazo dos índices da ODP, OMA, OS e OAN. A segunda técnica foi aplicada às novas series geradas pela aplicação do FHP nos índices climáticos para se observar os períodos dominantes nas series.

A variável precipitação foi submetida à terceira técnica para se estudar seu comportamento ao longo da variação temporal da ODP e OMA. E, a quarta foi utilizada para se observar os padrões de distribuição da precipitação nas duas primeiras componentes da FOE. Espera-se que os resultados obtidos venham a contribuir para o melhor entendimento do clima e sua previsibilidade sobre a América do Sul.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Locais de estudo

O continente Sul-americano está localizado entre os dois maiores oceanos terrestres, os Oceanos Pacífico e Atlântico. Sua maior porção territorial (aproximadamente 80%) situa-se no hemisfério sul do globo terrestre. Esse hemisfério apresenta uma grande concentração de oceanos, aproximadamente 80%. Por essa razão, o conhecimento dos fenômenos que ocorrem nos mesmos é de grande importância para os estudos climáticos e o entendimento da dinâmica do clima de nosso planeta. Na Figura 1, são mostradas as localizações dos locais de estudo.

Figura 1- Posição geográfica dos locais de estudo.



Fonte: Adaptada de Generic Mapping Tools

Entender os fenômenos oceânicos que ocorrem nesses oceanos e seus respectivos acoplamentos com a atmosfera sem dúvida contribuirá para melhorar os prognósticos climáticos. O Oceano Pacífico é o maior oceano do planeta. Possui uma área com um total de 180 milhões de km². Possui 707,5 km de fossas, as quais são consideradas as mais profundas em comparação com as características encontradas nos outros oceanos. É o oceano que tem a maior profundidade média, cerca de 4.282 metros abaixo do nível médio do mar, onde se localizam as maiores fossas submarinas, com destaque a Fossa das Marianas, com uma profundidade de 10.912 metros.

O Oceano Atlântico possui uma área superficial 106,2 milhões de km² e ocupa um terço da área total dos oceanos. É o segundo maior oceano de nosso planeta, ocupando quase um quinto da superfície da terra, e tem uma forma que se assemelha a letra “S”, alongando-se no sentido de norte a sul. Está situado entre os continentes das Américas, Europa e África, banha as Américas a Oeste, a Europa e a África a leste. Possui um fundo oceânico irregular com a costa da Europa, América do Norte e parte da porção meridional da América do Sul larga, que se estreita entre o Brasil e a África e delimita outros mares anexos, como exemplo, o Mar Mediterrâneo. A América do Sul possui uma área superficial de aproximadamente 16 milhões de km², está limitada a oeste pelo Oceano Pacífico, a norte pelo Golfo do México, a leste pelo Oceano Atlântico Sul e a sul pelo Oceano Antártico, possuindo uma direção essencialmente meridional. Ocupa cerca de 12% da superfície de nosso planeta, porém tem cerca de 6% da população mundial, um dos principais países e maior esta situado em seu território, o Brasil.

O Brasil possui uma característica muito peculiar, a existência de vários climas, pois a maior parte de seu território encontra-se entre a linha do Equador e o Trópico de Capricórnio e sofre a influência de vários fenômenos atmosféricos dos dois hemisférios. É dividido em cinco regiões, Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Dessas regiões, destaca-se a região Nordeste. Segundo Molion e Bernado (2002), no Nordeste Brasileiro (NEB) identificam-se três regimes básicos de precipitação em uma distribuição espacial.

O primeiro situa-se no norte do NEB, que abrange o estado do Ceará e parte dos estados do Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão, o oeste da Paraíba e Pernambuco. Os quatro meses mais chuvosos são, fevereiro, março, abril e maio. O segundo, na região sul, cobrindo praticamente todo o estado da Bahia, onde os meses mais chuvosos são novembro, dezembro, janeiro e fevereiro. E o terceiro atinge toda a zona costeira, estendendo-se desde o litoral a 300 km adentro do continente. Esse engloba o litoral do Rio Grande do Norte e vai até o sul da Bahia, conhecida como Zona da Mata, apresentando os meses mais chuvosos entre abril e julho. Essa diferença entre os períodos de maior taxa pluviométrica prova a existência vários mecanismos de circulação da geral atmosférica que causam precipitação sobre o NEB.

2.2 Fenômenos Estudados

2.2.1 Fenômeno El Niño - Oscilação do Sul

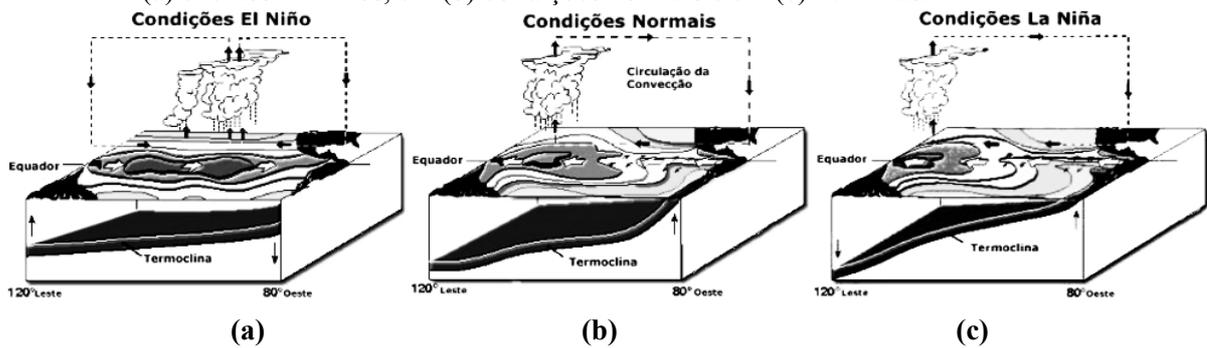
Trata-se de um fenômeno atmosférico-oceânico em que o oceano, ao interagir com a atmosfera, altera os campos de pressão atmosférica ao nível do mar (PNM) e de ventos sobre o Pacífico Equatorial, mudando seus padrões nas escalas regional e mundial. O El Niño é caracterizado pela alteração das TSM na região equatorial do Oceano Pacífico e por apresentar duas fases distintas, denominadas de El Niño (fase quente) e La Niña (fase fria), que podem durar cerca de 6 a 18 meses. Por outro lado, a Oscilação do Sul é uma oscilação alternada da PNM, ou gangorra barométrica, entre dois centros, um localizado no Pacífico Centro-Oriental e outro no Pacífico Ocidental, tal que, quando a PNM aumenta num dos centros, diminui no outro e vice-versa (Rasmusson e Carpenter, 1982; Trenberth, 1997; Walker, 1928).

No Pacífico Oriental, em condições normais, os ventos Alísios sopram em direção à Indonésia. O atrito do vento com a superfície de água na costa da América do Sul gera um transporte de água para o interior do Pacífico e induz afloramento (ressurgência) das águas próximo à costa da América do Sul. Em alguns anos, o vento cessa ou enfraquece, resultando no desaparecimento da ressurgência e um conseqüente aquecimento anormal das águas superficiais e sub-superficiais, que foi denominado de El Niño.

Esse aumento da temperatura muda às características normais da Célula de Walker, fazendo com que seu ramo ascendente se posicione sobre o Pacífico Oriental e costa do Equador, Peru e norte do Chile. Por teleconexões, a mudança da Célula de Walker gera mudanças na circulação global que afetam os padrões de precipitação em todo o globo (Rasmusson e Wallace, 1983; Ropelewski e Halpert, 1987). Na Figura 2 mostraram-se as condições sobre o oceano Pacífico durante os eventos El Niño – Oscilação Sul (ENOS).

Durante um evento La Niña, os ventos Alísios tornam-se mais forte, a ressurgência na costa da América do Sul se intensifica, e o resfriamento das águas superficiais e sub-superficiais do Pacífico Oriental é mais intenso. A Circulação de Walker se altera, e os movimentos ascendentes se intensificam sobre a Indonésia e Amazônia (NOBRE E MOLION, 1988) e os descendentes sobre Pacífico Centro-Oriental.

Figura 2- Condições sobre o oceano Pacífico dos fenômenos El Niño - Oscilação do Sul (ENOS). Em (a) eventos El Niños, em (b) condições normais e em (c) La Niñas.



Fonte: Adaptada de Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL)/NOAA

Esses fenômenos, El Niño e La Niña, são exemplos de fenômenos climáticos de alta frequência, ou seja, apresentam um curto tempo de duração, cerca de 6 a 18 meses, que causam alterações significativas e afetam os climas regional e global com grandes impactos negativos nas sociedades. Durante os eventos El Niño, a taxa de precipitação sobre as regiões Norte e Nordeste do Brasil apresenta-se abaixo da média climatológica. Durante eventos La Niña, ocorre o contrário, há um aumento dos totais pluviométricos.

As Regiões Sul e Sudeste apresentam o oposto do que ocorre no Norte e Nordeste, ou seja, durante El Niños (La Niñas), a taxa de precipitação aumenta (diminui) sobre esses locais. Também, nota-se que durante os eventos La Niña, a temperatura do ar média global tende a permanecer abaixo da normal climatológica. Durante eventos de El Niño, como o Pacífico perde muito calor para a atmosfera, a temperatura global tende a ser acima da média. Isso demonstra que a interação entre os oceanos e a atmosfera é um dos fatores importantes para a manutenção e dinâmica do clima.

O índice da Oscilação do Sul (IOS) é definido como a diferença entre os desvios, em relação à média, das pressões registradas ao nível médio do mar (PNM) em Tahiti (17°S, 150°W) e Darwin (12°S, 130°E). Caracteriza, assim, como uma “gangorra barométrica” entre a região do Pacífico Oeste (Darwin, Austrália) e o Pacífico Leste (Ilhas Tahiti).

2.2.2 Oscilação Decadal do Pacífico

As temperaturas da superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico sofrem mudanças ao longo do tempo. Hare e Francis (1995) notaram essa variação ao pesquisar a

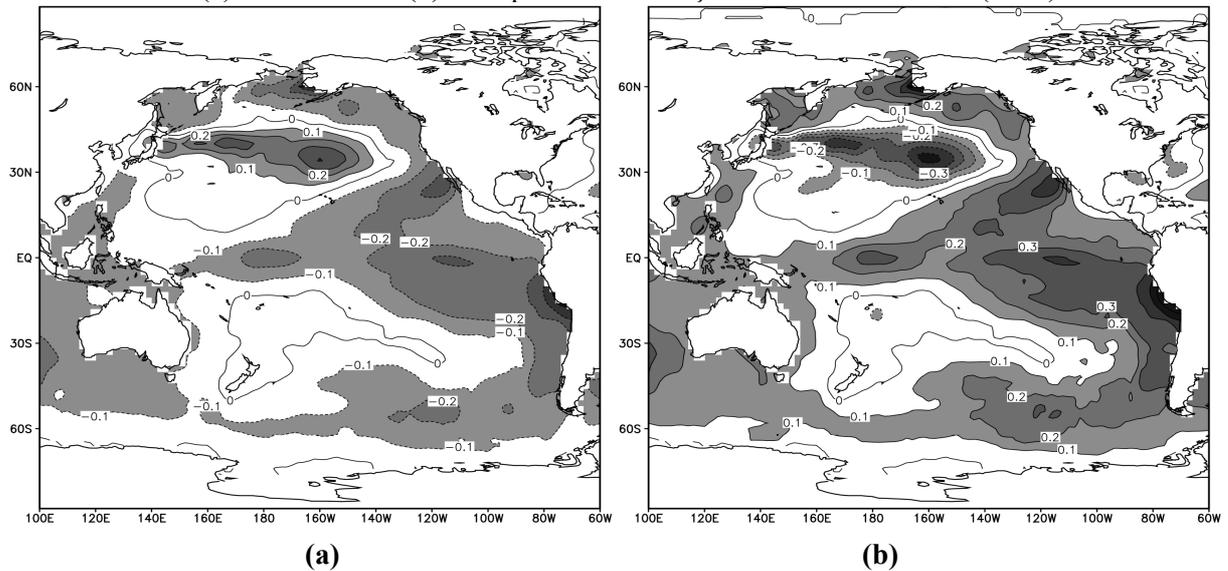
conexão entre os ciclos da pesca de salmão no Alasca e o clima do Oceano Pacífico. Mantua et al (1997) descreveram e denominaram o fenômeno de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) como sendo uma oscilação das temperaturas de sua superfície semelhante ao ENOS, com duas fases, quente e fria, porém de longa duração, entre 25 e 30 anos em cada fase, totalizando um ciclo de 50 a 60 anos.

A ODP apresenta duas fases bem definidas (Figura 3). A fase fria (modo negativo) é caracterizada por anomalias negativas de TSM no Pacífico Tropical e, em contrapartida, anomalias da TSM positiva no Pacífico Extratropical, tanto no Hemisfério Norte como no Hemisfério Sul. A última fase fria da ODP ocorreu no período de 1948 – 1976. Por sua vez, a fase quente (modo positivo) apresenta uma configuração contrária, com as anomalias de TSM positivas na região do Pacífico Tropical e negativas no Pacífico Extratropical. A última fase quente da ODP ocorreu durante o período de 1977 – 1998.

Molion (2005) mostrou que houve uma coincidência entre o comportamento da temperatura do ar média global (T_a) e a ODP, em que a T_a diminuiu entre os anos de 1948 – 1976 (fase fria) e aumentou durante 1977 – 1998 (fase quente). Oliveira et al (2005) fizeram as análises de 8 estações do Estado de São Paulo para estudar uma possível relação entre a ODP e o clima dessa região. Foram utilizados os dados de precipitação e da temperatura na superfície entre o período de 1948 – 1998, tendo sido constatado que, durante o período de 1948 – 1976, a amplitude térmica diária foi maior que durante 1977 – 1998.

Nesse período, foram observados maiores valores das temperaturas máximas diárias e valores menores das temperaturas mínimas diárias, o que pode ter relação com a diminuição da quantidade do vapor d'água atmosférico sobre todo o Estado de São Paulo. Pezza e Ambrizzi (2005) também constataram um número maior de geadas e invernos mais rigorosos durante 1948 – 1976. Na Figura 3, mostraram-se as anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) para a região do oceano Pacífico durante as fases da ODP.

Figura 3- Anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) para a região do oceano Pacífico. Em (a) fase fria e em (b) fase quente da oscilação decadal do Pacífico (ODP).



Fonte: Autor, 2012.

Siqueira et al (2006) estudaram a relação entre a ODP e os impactos causados no Norte e Nordeste Brasileiro e mostraram que, dependendo da fase da ODP, os ENOS causam impactos diferentes. Siqueira et al (2007), também, elaboraram um estudo sobre a variabilidade climática no sudeste da Amazônia, fronteira de expansão da soja no Brasil. Constataram que, no período de 1948 – 1976, houve uma diminuição dos totais pluviométricos sobre a região e, durante 1977 – 1998, ocorreu o contrário. Concluíram que essa variabilidade pode ter impactos negativos na safra dessa “*commodity*” se a ODP permanecer em sua nova fase fria nos próximos 20 anos.

Siqueira e Molion (2008) demonstraram, ainda, que durante os eventos La Niña da fase fria da ODP, os totais pluviométricos, sobre as Regiões Norte e Nordeste do Brasil, foram abaixo da normal climatológica em relação à média do período que compreende as duas fases da ODP (1948 - 1998), ao contrário do que consta na literatura. Ou seja, a afirmação que eventos La Niña causam chuvas acima da normal nessas regiões só foi verdadeira para a fase quente da ODP. Os eventos El Niño se apresentam de forma semelhante nas duas fases da ODP, causando redução de precipitação sobre essas regiões. Muito pouco se sabe sobre a importância, impactos e influência da ODP no clima global. No entanto, devido ao fato de os oceanos ocuparem 70% do planeta, e entre eles, o Oceano Pacífico ser o maior, a ODP deve ter influência na variabilidade climática de prazo longo (50-60 anos), a ponto de ser confundida com mudanças climáticas.

O índice da ODP é construído a partir dos valores padronizados das anomalias mensais da temperatura da superfície do mar (TSM) da região do Pacífico Norte (20° Norte). Seus valores são atualizados mensalmente. A média global mensal é retirada para separar qualquer outro tipo de padrão que possa vir a interferir nos dados.

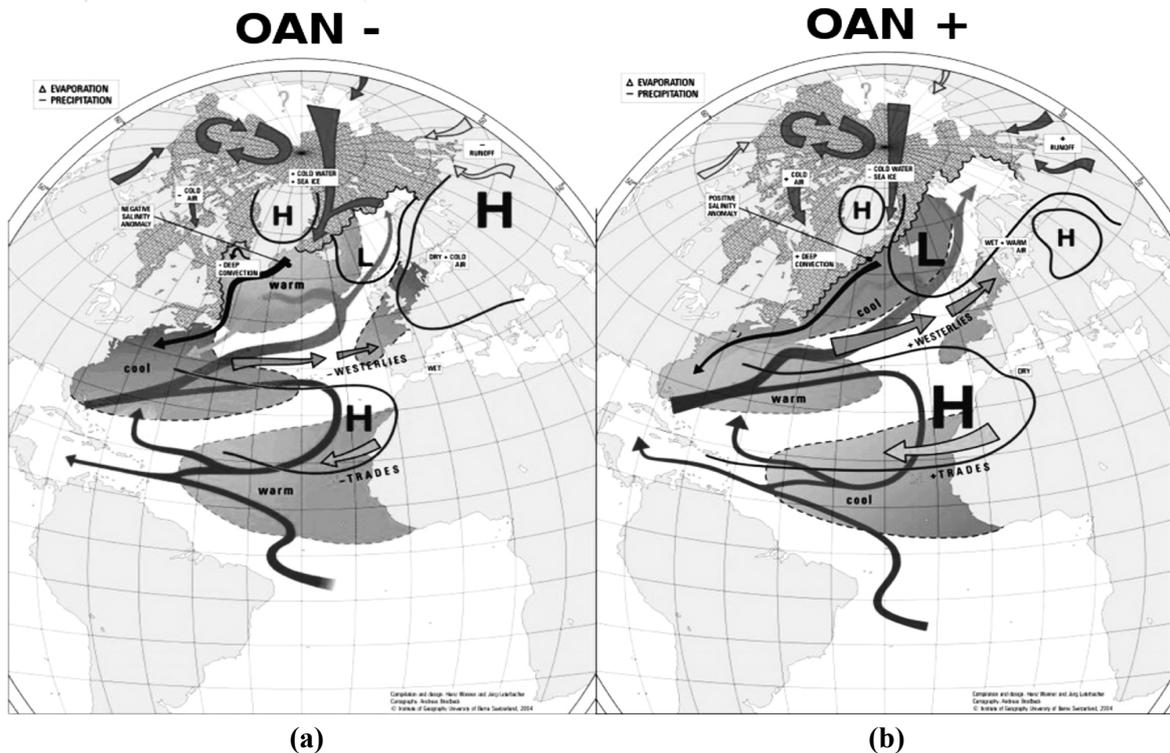
2.2.3 Oscilação do Atlântico Norte

A atmosfera sobre o Oceano Atlântico Norte apresenta uma oscilação que caracteriza, de forma mais lenta, uma das principais variações do clima sobre o Continente Europeu, denominada Oscilação do Atlântico Norte (OAN). “Seria este o El Niño do Oceano Atlântico?”. Walker (1924) propôs um índice dado pela diferença da PNM entre a Islândia e os Açores. Jones et al (1997) calculam esse índice utilizando a diferença da PNM entre Lisboa e a Islândia, enquanto Osborn et al (1999) usaram a diferença entre Gibraltar e a Islândia. Segundo esses autores, a OAN consiste na oscilação de larga escala da anomalia do campo de pressão ou, segundo Van Loon e Rogers (1978), é uma troca meridional de massa atmosférica em grande escala.

A OAN possui duas fases bem definidas, a fase positiva, cujo índice apresenta valores positivos da anomalia da PNM, e a fase negativa, com valores do índice negativos, as quais influenciam e determinam o clima do Continente Europeu. A fase positiva da OAN tem, como característica principal, o aumento e intensificação da pressão sobre o centro da Alta Subtropical (Açores), que fica posicionado mais próximo da linha do Equador e afastado mais a oeste do Continente Africano, enquanto a baixa pressão da Islândia se posiciona mais próxima à ilha e tende a ficar mais intensa que o habitual.

O aumento da PNM na fase positiva da OAN faz com que as tempestades, que atravessam o Oceano Atlântico com a trajetória de oeste para leste, se desloquem mais para a região norte da Europa (Figura 4b), ficando mais fortes e com maior frequência. Essa situação faz com que os invernos na região da Groenlândia e do Canadá fiquem mais secos e frios, enquanto a Europa e a costa leste dos Estados Unidos ficam caracterizadas por invernos mais amenos e úmidos.

Figura 4- Configuração da Oscilação do Atlântico Norte (OAN). Em (a) fase negativa e em (b) fase positiva.



Fonte: Adaptada de Open Source Systems, Science, Solutions.

Na fase negativa da OAN, o centro de alta pressão subtropical enfraquece, enquanto a baixa pressão da Islândia se posiciona mais abaixo e se revela mais fraca que o normal. Nessa situação de fase negativa da OAN, as tempestades, que se deslocam de oeste para leste, possuem uma trajetória mais retilínea (Figura 4a), possibilitando a chegada de um número maior de tempestades sobre a Península Ibérica e o Mar Mediterrâneo e deixando o clima mais ameno, úmido e chuvoso. A região da Groenlândia e Canadá apresenta a mesma configuração. Porém, as regiões da costa leste dos Estados Unidos e Europa Norte apresentam clima contrário, isto é, mais secas e frias.

Jones et al (1997) estudaram o comportamento do índice da OAN em relação aos meses de inverno no hemisfério norte durante o período de 1950 a 1997. Notaram que, no período de 1950 a 1976, os índices tiveram valores negativos. No período consecutivo (1977 a 1997), ocorreu uma inversão e os índices apresentaram valores positivos. Seria uma coincidência com as fases da ODP, ou a ODP poderia, por meio de teleconexão, influenciar e/ou interagir com a OAN e modificar o clima Europeu durante os invernos?

Siqueira et al (2008) estudaram uma possível relação entre a ODP e a OAN e

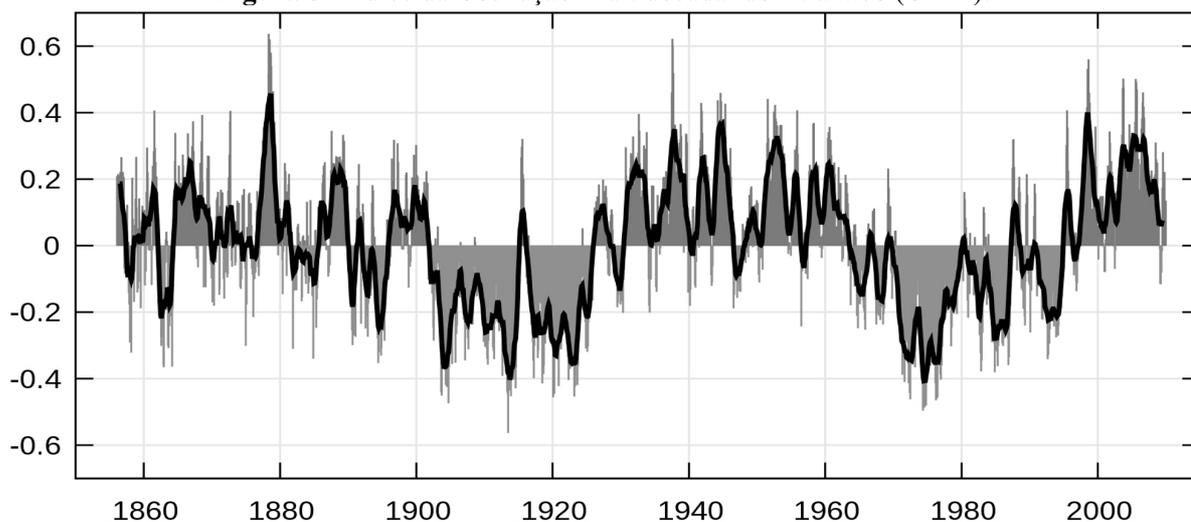
notaram haver coincidência entre as fases da ODP e o comportamento do índice climático da OAN. Durante a fase fria (fase quente) da ODP, o índice da OAN ficou, em média, negativo (positivo), mostrando que, na fase fria (fase quente) da ODP, a Península Ibérica apresentou invernos mais amenos úmidos e chuvosos (invernos mais secos e frios). Siqueira e Molion (2008) mostraram que a influência da OAN sobre a América do Sul foi distinta dependendo das fases da ODP. Durante a fase fria, ela interagiu com a PNM sobre toda a costa leste do continente com relação inversa, ou seja, quando o valor do índice foi positivo, a PNM diminuiu, e vice-versa. Durante a fase quente, por outro lado, sua interação foi com a região norte e de forma direta, ou seja, quando o índice foi negativo (positivo), a PNM diminuiu (aumentou).

2.2.4 Oscilação Multidecadal do Atlântico

A OMA é caracterizada pela alteração, em um período longo de tempo, da TSM do Oceano Atlântico Norte. O índice da OMA é calculado levando em consideração as anomalias da TSM da região norte do Atlântico e a região do Golfo do México. Após esse cálculo inicial entre 0° e 70° norte, é feita a padronização dos dados usando a climatologia dos dados interpolados em 5° x 5° graus desde 1856 até o presente. Essa oscilação é parecida com a ODP, pois também é considerada de baixa frequência, possuindo duas fases distintas, uma fria e a outra quente. Seu tempo de duração é muito longo se comparada, por exemplo, com a Oscilação do Atlântico Norte (OAN), que perdura por questão de meses apenas.

Molion (2005) notou que, durante a fase fria (quente) da ODP, as águas do Golfo do México tenderam a ficar mais quentes (frias), o que por sua vez, possivelmente aumentou (diminuiu) a frequência de furacões nessa região. Segundo esse autor, os Alísios mais intensos (fracos) durante a fase fria (quente) transportam águas mais (menos) quente para o Golfo. Dijkstra et al (2006) propuseram um modelo hierárquico para caracterizar todos os processos físicos que se relacionam com a dinâmica da OMA. A ligação entre os resultados foi estabelecida pela detecção da expressão espacial e temporal do modo multidecadal por meio do modelo de hierarquia durante o acompanhamento das mudanças nas quantidades específicas (indicadores mecanicistas) associados com a física do problema. A explicação proposta é que as propriedades da OMA são, eventualmente, baseadas nas mudanças dos padrões de variabilidade espacial por meio da modelo de hierarquia.

Figura 5- Índice da Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA).



Fonte: Adaptada de National Climatic Data Center

Em 2006, o National Climatic Data Center (NCDC/NOAA) divulgou um estudo onde associava a intensidade e frequência de furacões no Golfo do México com a variabilidade temporal da TSM no Atlântico e mostrou que, durante a fase positiva (negativa) da OMA, houve uma tendência de aumento (diminuição) e intensificação (enfraquecimento) dos furacões no Golfo do México. Como exemplo, a temporada de 2005, que apresentou mais de 25 furacões registrados. Convém comentar que houve uma mudança de El Niño para La Niña no segundo semestre de 2005, com intensificação dos Alísios.

Dima e Lohmann (2007) propuseram um mecanismo hemisférico baseados em uma análise de 70 anos dos mecanismos físicos associados com a OMA, com a análise de dados observados. Apoiaram-se em um mecanismo determinístico, com base na interação entre o oceano, atmosfera e o gelo no mar. Notaram que as variações da circulação termoalina refletia nas anomalias da TSM no Atlântico Norte. Essas anomalias estão ligadas a uma onda no hemisfério norte, através da pressão ao nível médio do mar (PNM), que é amplificada através da interação oceano-atmosfera no Pacífico Norte.

O padrão da PNM, associado ao campo de vento, afeta as geleiras no mar do estreito de Fram, conseqüentemente, influenciando a circulação oceânica de grande escala e gerando anomalias na TSM do Atlântico Norte com sinais opostos, o que completa um feedback negativo, com a tentativa de equilíbrio da circulação termoalina. Esse seria o mecanismo que cria o ciclo da OMA. Por fim, alegou-se que a grande anomalia da salinidade no final dos anos 1960 e 1970 fez parte da OMA.

Joe D'Aleo (2008) mostrou uma grande coincidência entre diminuição (aumento) das geleiras ocorrido na Groenlândia e o modo quente (frio) da OMA. Afirmou, ainda, que as mudanças no Pólo Norte parecem ser cíclicas, devendo-se ao fato de estarem em conjunto com a OMA e não ao fato do aumento dos gases do efeito estufa, especialmente o CO₂.

Siqueira e Molion (2008) estudaram a interação entre a OMA e a PNM sobre a América do Sul, constataram que, durante a fase fria da ODP, a TSM do Atlântico Norte influenciou de forma significativa (grau de significância acima de 90%) e direta a PNM na costa leste do continente. Quando o índice foi positivo, a PNM aumentou sobre a costa, e vice-versa. Sobre o Centro-Oeste Brasileiro, porém, a relação foi indireta, ou seja, quando o índice foi negativo, a PNM aumentou sobre a região e vice-versa. Durante a fase quente da ODP, a interação foi inversa, com um núcleo deslocado para a região norte do continente, atingindo principalmente a região do semi-árido NEB, ou seja, quando o índice se tornou negativo, a PNM aumentou, e vice-versa.

2.3 Métodos Estatísticos

2.3.1 Filtro de Hodrick – Prescott

Hodrick e Prescott (1980) propuseram um método, filtro que leva seu nome (HP), que é uma análise estatística para tratamento de séries temporais que separa a componente da tendência variável suavizada da componente cíclica/aleatória existentes nos dados, por meio da remoção das flutuações de baixa frequência das séries. A hipótese que se faz é que, nessa separação, a variabilidade de baixa frequência (escala decadal) represente a tendência de prazo mais longo e as de frequência mais altas (escala interanual e intrasazonal) representem os ciclos mais curtos.

Em 1997, Robert Hodrick e Edward Prescott popularizaram uma técnica estatística para tratamento de séries temporais, proposta, inicialmente, por Edmund Taylor Whittaker em 1923. Tal análise é utilizada para obter uma representação suavizada e não-linear de uma série temporal, na qual, está seria mais sensível em longo prazo do que as flutuações de curto prazo. Ou seja, obtém-se uma série de tendência não-linear suavizada. É uma técnica muito usada em ciclos reais de negócios (macroeconomia) para extrair a tendência de séries dados como a do produto interno bruto (PIB), por exemplo, e não tem sido

aplicado a series de variáveis climáticas comumente.

O filtro Hodrick-Prescott (HP) decompõe uma série temporal em uma componente de tendências e outra cíclica/aleatória. Balçilar (2009) demonstrou a utilização do filtro HP, considerando a decomposição de uma serie temporal x_t como a soma do período da oscilação y_t e o valor médio de x_t para cada componente da mesma. Sendo x_t representado por sua variabilidade no tempo, $\{x_t\}_{t=1}^T$.

$$x_t = y_t + \bar{x}_t \quad (1)$$

onde y_t varia entre os pesos p_l e p_u , sendo que os mesmos estão no intervalo de $2 \leq p_l < p_u < \infty$. Assume-se, ainda, que y_t representa uma frequência no intervalo $\{(a,b) \cup (-a,-b)\} \in (-\pi,\pi)$, podendo a e b serem escritos como:

$$a = \frac{2\pi}{p_u} \text{ e } b = \frac{2\pi}{p_l} \quad (2)$$

Para uma quantidade infinita de dados, pode-se utilizar um filtro ideal, no qual se relacione y_t e x_t incluindo uma defasagem $B(L)$. Logo, y_t pode ser escrito em função de x_t da seguinte forma:

$$y_t = B(L) \cdot x_t \quad (3)$$

$$B(L) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} B_j \cdot L^j, L^k \cdot x_t = x_{t-k} \quad (4)$$

Ao se utilizar um filtro ideal, os pesos de B_j são escritos em funções de “a” e “b” formula (2), tendo B_0 e B_j definidos como:

$$B_0 = \frac{b-a}{\pi} \quad (5)$$

$$B_j = \frac{\text{sen}(jb) - \text{sen}(ja)}{j\pi} \quad (6)$$

O filtro HP obtém a solução de B_j através dos pesos de \hat{B}_j e descritos como a solução de:

$$\hat{B}_j = \underset{B_j}{\text{argmin}} E\{(y_t - \hat{y}_t)^2\} = \underset{B_j}{\text{argmin}} \left\{ \sum_{t=1}^T (y_t - \hat{y}_t)^2 + \lambda \sum_{t=2}^{T-1} (\hat{y}_{t+1} - 2\hat{y}_t + \hat{y}_{t-1})^2 \right\} \quad (7)$$

Para séries finitas, os valores de \hat{B}_j podem ser encontrados pela equação:

$$\hat{B}_j = \frac{1}{2\pi} \cdot \int \frac{4\lambda(1 - \cos(\omega))^2}{1 + 4\lambda(1 - \cos(\omega))^2} \cdot e^{i\omega} d\omega \quad (8)$$

onde

$$\lambda = \left(2 \cdot \text{sen} \left(\frac{\pi}{\text{frequência}} \right) \right)^{-4} \quad (9)$$

Para este estudo, optou-se pelo o uso do valor da frequência de 14400, pois, na literatura (Ahumada e Garegnani, 1999; Balcilar, 2009), por exemplo, há relatos de que esse seria o valor mais adequado para dados mensais. Posteriormente, serão testados valores distintos desse valor. Convém esclarecer que foram empregados valores mensais dos índices porque alguns autores sugerem que a utilização de dados anuais no filtro HP torna-se inviável pela quantidade de erros gerados devido ao pequeno comprimento das séries.

2.3.2 Análise de Ondeletas

Essa técnica estatística foi se desenvolvendo ao longo dos anos e está baseada nas transformadas de Fourier (TF). Gabor (1946) estudou e adaptou a TF para o estudo do sinal no domínio do tempo e no domínio da frequência. Essa modificação ficou conhecida como TF com janela móvel. Porém, existia um grande inconveniente nessa técnica, que era o comprimento fixo que tais janelas móveis tinham que ter.

Exemplificado, nos estudos em Meteorologia, os fenômenos mudam e apresentam diferenças em escalas de tempo e frequência e, muitas vezes, com ordens de grandezas diferentes para caracterizar um sinal meteorológico. Morlet *et al* (1982) e Grossman e Morlet (1984) observaram o estudo feito por Gabor e o modificaram, introduzindo a Análise de Ondeletas (AO). A AO satisfaz o Princípio de Heisenberg, introduzindo janelas que se adaptam conforme a frequência que ocorrem dos fenômenos, ou seja, essas janelas adaptam-se em relação a fenômenos de baixa ou alta frequência.

Weng e Lau (1994) descreveram a AO como uma série de funções em pequenas ondas. Essas têm sua gênese através de alargamento e translações de uma função simples de variável real qualquer e são, também, conhecidas como ondeleta-mãe. Tal função pode ser descrita matematicamente tomando-se uma escala e uma posição, onde o valor da escala tem que assumir valores maiores que zero. A equação a seguir mostra função da transformada de ondeletas (TO) em uma série continua:

$$(W_{\psi} f)(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (10)$$

onde $f(t)$ é a função que constitui a série de dados a ser analisada, $\frac{1}{\sqrt{a}}$ é utilizado para normalizar a energia de cada ondeleta; “a” é a escala, “b” é a posição e “t” é a variável real.

Na literatura, existem várias funções que são utilizadas para o cálculo e geração das ondeletas (DAUBECHIES, 1992; FOUFOULA-GEORGIU E KUMAR, 1994). Mas, as que são mais utilizadas são as funções de Paul, Dog e Morlet. Cada uma possui sua peculiaridade e a função de Morlet foi utilizada neste estudo. Essa foi escolhida, pois, segundo Weng e Lau (1994), é uma função complexa, que possui características semelhantes as dos sinais meteorológicos que se desejam analisar, tais como simetria, ou não, e apresenta uma variação temporal suave ou brusca. A função de Morlet é descrita pela seguinte equação:

$$\Psi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} \cdot e^{iw_0 t} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (11)$$

onde “w₀” é a frequência adimensional de Morlet e “t” é o parâmetro adimensional no tempo.

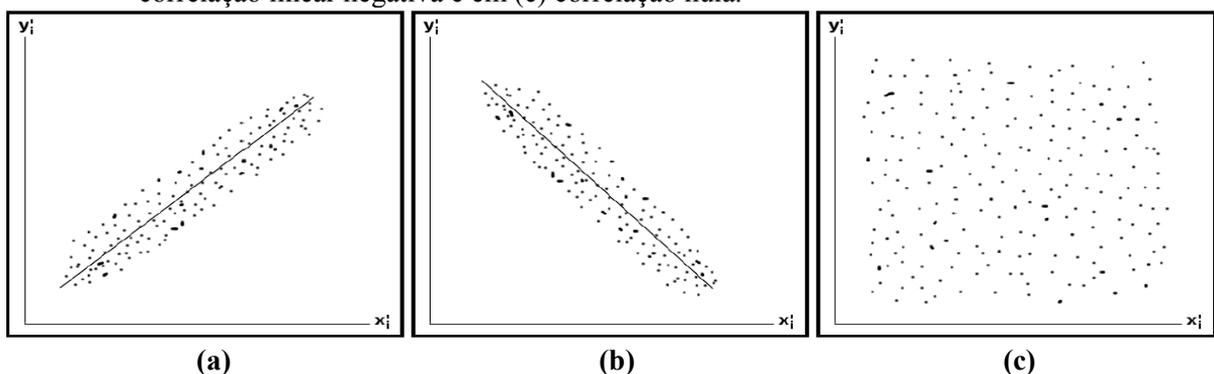
A TO consiste, apenas, em decompor um sinal em diferentes partes, ou seja, explora-se tal sinal em seus níveis de resolução. Esse procedimento é conhecido na literatura como multirresolução. Ao ser apresentada, a multirresolução mostra uma figura simplificada para a análise da informação que o sinal trás. As várias resoluções, ou seja, os vários detalhes de um sinal, de forma geral, caracterizam as diferentes estruturas físicas que estão contidas no mesmo. Então, ao modular essa resolução, pode se trazer à tona sinais mais grosseiros ou mais refinados presentes nas séries temporais. Esses sinais são apresentados na forma da intensidade de energia que se representa em função da frequência (período) e da escala temporal da série.

2.3.3 Coeficientes de Correlação Ordinária (ou de Pearson)

O coeficiente de correlação de Pearson, conhecido como correlação ordinária ou correlação linear, é uma ferramenta simples e eficiente para estimar o grau de relacionamento entre variáveis quaisquer. Observe a seguinte descrição. Se x_i e y_i representam as duas variáveis consideradas, um diagrama da dispersão mostrará a localização dos pares (x_i, y_i) em um sistema com coordenadas cartesianas.

Se os pontos desse diagrama aparecem próximos de uma reta, como mostrado na Figura 6 (a e b), essa correlação é chamada de linear. Se não há uma relação indicada entre as variáveis, como mostrado na Figura 6c, admite-se que não existe correlação entre elas. Por exemplo, se x apresentar uma relação direta com y , o gráfico do digrama de dispersão será semelhante ao da Figura 6a. Se a relação for inversa, corresponderá ao da Figura 6b e, se não houver correlação entre as variáveis, seria semelhante ao da Figura 6c.

Figura 6- Gráfico da dispersão em coordenadas cartesianas, em (a) correlação linear positiva, em (b) correlação linear negativa e em (c) correlação nula.



Ou seja, é visto apenas como a razão da covariância das amostras de duas variáveis pelo o produto dos dois desvios padrões. A covariância é usada para medir a relação entre duas variáveis distintas e o desvio-padrão das variáveis é utilizado para padronizar essa expressão e, assim, revelar se existe um grau de relação, fraco ou forte, entre as variáveis. Em síntese, o coeficiente de correlação é a raiz da divisão da variação explicada pela variação total.

$$r = \frac{\sum_i^n (x'_i \cdot y'_i)}{\sqrt{\sum_i^n (x'_i)^2 \cdot \sum_i^n (y'_i)^2}} \quad (12)$$

onde, “i” é o ano inicial, “n” o ano final, “x’_i” é a anomalia do índice e “y’_i” é a anomalia das grandezas meteorológicas.

O valor positivo da correlação indica que, se a variável independente cresce, o valor da dependente também cresce e, ao maior grau de associação, é atribuído o valor 1. Se o coeficiente for negativo, ocorre o contrário, ou seja, se o valor da variável independente cresce, o valor da dependente decresce e, ao maior grau de associação contrária (anticorrelação), é atribuído o valor -1. Para ajudar na interpretação foi criada a Tabela 1, onde são mostradas as diferentes classes com os valores de associação entre as variáveis e suas respectivas interpretações.

Tabela 1- Valores e interpretação dos coeficientes de correlação adotados.

Valores da Correlação (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Muito Fraca
0,20 a 0,39	Fraca
0,40 a 0,59	Moderada
0,60 a 0,89	Forte
0,90 a 1,00	Muito Forte

Fonte: Autor,2012.

Como visto na Tabela 1 foram definidas 5 categorias para a interpretação do coeficiente de correlação. A correlação apenas dá uma noção do grau de relacionamento das variáveis, porém não implica uma relação de causa-efeito. Utilizou-se, então, um teste de

hipótese para avaliar os valores das correlações e determinar a significância estatística dos resultados obtidos, isto é, o nível de confiança dos coeficientes de correlação.

2.3.4 Teste de hipótese e Níveis de Significância

Ao se admitir que uma hipótese particular seja verdadeira e ao observar que, para essa hipótese, os resultados diferem daqueles que eram esperados, pode se estar sujeito a acreditar que as diferenças observadas tenham uma significância, e assim, aceitar ou rejeitar essa hipótese. Esses processos, que induzem a aceitar ou rejeitar uma hipótese, ou determinar se a amostra que foi observada é diferente, de modo significativo, dos resultados esperados, são chamados de teste de hipótese ou significância, ou, apenas, regra de decisão.

Ao se fazer um teste de hipótese, deve-se planejar de modo que os erros de decisão sejam reduzidos ao mínimo. Portanto, para um dado tamanho de amostra, a tentativa de diminuir certo tipo de erro é acompanhada pelo acréscimo de outro tipo. Nesse caso, para reduzir ambos os tipos de erros, aumenta-se o tamanho da amostra. Existem dois tipos de erros:

1. Erros do tipo I – uma hipótese é rejeitada quando, na verdade, se esperava que ela fosse aceita.
2. Erros do tipo II – uma hipótese é aceita quando, na verdade, se esperava que ela fosse rejeitada.

Nota-se que, em ambos os casos, o que na verdade ocorreu foi uma decisão errada que ocasionou um erro no julgamento.

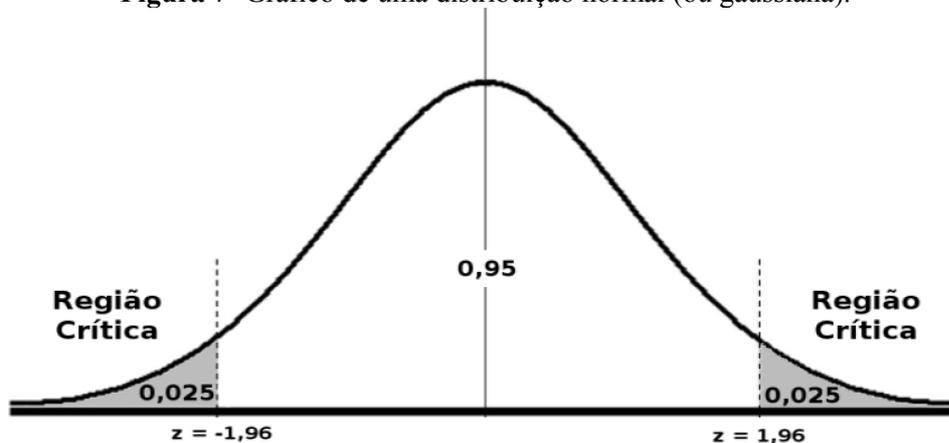
No teste de uma hipótese estabelecida, a probabilidade máxima, na qual ocorre um erro do tipo I, é chamada de nível de significância estatística. Essa probabilidade tem que ser especificada antes da extração de qualquer amostra para que os resultados obtidos não influenciem na escolha. Nesse caso em particular, admitiu-se que a correlação se apresentava como uma distribuição normal com as seguintes características:

Tabela 2- Características de uma distribuição normal.

Características	Símbolos
Média	m
Variância	S ²
Desvio Padrão	S
Coefficientes de Momento de Assimetria	a ₃ =0
Coefficientes de Momento de Curtose	a ₄ =3
Desvio Médio	$\sigma \sqrt{2/\pi}$

Fonte: Autor, 2012.

Porém, o coeficiente de correlação não possui uma distribuição normal. Então, se utilizou a técnica estatística da transformação Z de Fisher para fazer com que a distribuição do coeficiente de correlação ficasse mais próxima de uma distribuição normal e, assim, aplicou-se o teste do nível de significância. Construindo o gráfico de uma distribuição normal, nota-se que esse apresenta um formato de boca de sino e, ao se aproximar mais das extremidades, observa-se que a área diminui como uma função exponencial. Então, quanto mais próximo das extremidades, mais difícil será de aceitar a hipótese, ou seja, a probabilidade de que o evento ocorra será reduzida.

Figura 7- Gráfico de uma distribuição normal (ou gaussiana).

Fonte: Autor, 2012

Utilizou-se o método de Monte Carlo (LIVEZEY E CHEN, 1983) para se ter o campo da estatística da correlação, que é calculado a partir da relação entre o grau de liberdade (no caso, os anos) e os valores dos coeficientes das correlações. Essa técnica determina o quão significativos são os resultados. O Apêndice 1 mostra os resultados do cálculo dos níveis de significância em relação aos valores das correlações e o grau de

liberdade. Por exemplo, dado o grau de liberdade 25 anos, os testes do nível de significância indicaram que, para um coeficiente de correlação com valor em módulo de 0,35, tem-se uma significância de 95% ou superior, isto é, há 95% de chance que as variáveis realmente estejam correlacionadas.

2.3.5. Funções Ortogonais Empíricas

As funções ortogonais empíricas (FOE), também conhecidas como análise das componentes principais (ACP), vêm sendo utilizadas com muita frequência nas Ciências Atmosféricas, especialmente em Climatologia. Essa técnica estatística visa dois objetivos principais. O primeiro deles é reduzir um conjunto de dados contendo um grande número de variáveis para um conjunto contendo um número bem menor de novas variáveis. O segundo, é observar as relações existentes entre as variáveis no tempo e/ou, no caso de uma análise espacial, a relação entre os pontos próximos em uma dada região. Com isso, observam-se padrões existentes nos conjuntos de dados.

Lorenz (1956) foi o primeiro a introduzir as FOE como ferramenta de análise das séries temporais de dados meteorológicos. Segundo Wilks (2006), a ACP tem, como objetivo, reduzir um conjunto de dados que contém um grande número de variáveis a um conjunto de dados com um menor conjunto, essa redução forma uma nova série das variáveis. Essas novas variáveis são, apenas, combinações lineares dos conjuntos originais. Logo, essas novas combinações lineares são escolhidas para representar a máxima fração possível da variabilidade que estava contida nos conjuntos de dados originais.

Em geral, os dados das variáveis que se utilizam em Meteorologia apresentam correlações bem expressivas, por exemplo, nebulosidade e radiação de onda longa emergente (ROLE). Mas, esses conjuntos de dados podem ser imensos, pois, para cada variável, teremos as observações nas 4 dimensões: latitude, longitude, altura e tempo. Além do mais, a altura pode ser dividida em níveis de pressão contendo informações dos níveis baixo, médio e alto, por exemplo. Por esse motivo, a FOE é utilizada para compactar esses conjuntos de dados, escrevendo-os como combinações lineares. Essas combinações podem ser descritas da seguinte forma:

$$u_m = e_m^T x' = \sum_{k=1}^K e_{km} x'_k, m=1, \dots, M. \quad (13)$$

onde, u_m são as componentes principais, e_m são os autovetores e x' são os desvios das combinações lineares.

Contudo, as FOE podem ser aplicadas a um único campo meteorológico. Para que essa aplicação seja feita, é necessário que as observações da mesma sejam múltiplas nas dimensões de espaço e no tempo. Vários autores utilizaram as FOE em aplicações de único campo. Por exemplo, Wallace e Gutzler (1981) utilizaram essa técnica para observar padrões de teleconectividade no hemisfério norte, como a teleconexão Pacífico-América do Norte (PAN). Mo e Higgins (1998) observaram os padrões teleconectivos no hemisfério sul (Pacífico-América do Sul, PAS). Nery et al (1997) estudaram a variabilidade interanual de precipitação sobre o Rio Grande do Sul usando FOE. Notaram que os sinais da OS persistiram vários meses e foram os que mais influenciaram e/ou modificaram o regime das chuvas na região. Valores positivos (negativos) de IOS resultou na diminuição (aumento) das chuvas.

Garcia (2006) utilizou a FOE no campo médio do potencial de velocidade em 200 hPa para caracterizar a variabilidade existente em relação a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Ao analisar esse campo, observou que o sistema de monção da América do Sul apresentou um padrão multidecadal que pode está relacionado à variabilidade da ODP. Em 2010, a mesma autora, ao estudar o início e o fim da estação chuva na América do Sul e sua relação com a zona de convergência intertropical do Atlântico, encontrou três modos dominantes e os classificou como: monçônico, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e simétrico. Os dois primeiros possuem uma variabilidade na escala anual e, o terceiro, em uma escala considerada semi-anual. Guedes et al (2010) utilizaram as FOE para caracterizar o regime de precipitação no estado do Piauí. Encontraram um padrão pluviométrico mensal nas 27 estações estudadas, no qual obtiveram 88% da variação explicada nas duas primeiras componentes. Esse resultado sugeriu que houve um alto grau de correlação entre os fatores de tempo e de espaço do regime de precipitação sobre a região de estudo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Dados Utilizados

Nesse estudo, foram utilizados três conjuntos de dados. O primeiro do conjunto de dados de Reanalyse (Kalnay et al, 1996) do National Center for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR), que estão valorados em um ponto de grade de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, correspondente a uma distância média de 280 km x 280 km. Os dados usados foram os da variável meteorológica taxa de precipitação (mm.dia^{-1}). Esses dados são média mensal e possuem uma boa escala temporal que cobre o período de janeiro de 1948 a dezembro de 2010, isto é, uma série de 63 anos de dados.

O segundo conjuntos de dados foi o da precipitação compilados pela Universidade de Delaware (UDEL), disponível no site do Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO), que estão espaçados em ponto de grade de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$, correspondente a uma distância média de 50 km x 50 km. Os dados correspondem a média mensal, cobrindo o período de 1948 a 2008, 61 anos de dados.

O terceiro conjunto de dados foram dos índices climáticos das oscilações sobre os Oceanos Atlântico e Pacífico, relativamente aos índices que dizem respeito à variabilidade da TSM (índices da ODP e OMA) e a variabilidade do campo de pressão atmosférica ao nível médio do mar (índices da OS e OAN). Os dados cobrem o período janeiro de 1900 a dezembro de 2010, 111 anos de dados. Os dados dos índices da ODP e OMA foram coletados do site do Earth System Research Laboratory (ESRL), do IOS foi coletado no site do Bureau of Meteorology (BOM, Austrália) e os da OAN, do site do Climatic Research Unit (CRU), University of East Anglia (UEA).

3.2 Metodologia e Programas Utilizados

No primeiro momento, aplicou-se o filtro Hodrick-Prescott (HP) nas series dos índices climáticos (ODP, OMA, OS e OAN) para se separa a tendência (variabilidade de longo prazo) da serie da parte cíclica e/ou aleatória (variabilidade de curto prazo). Essa técnica possibilitou a separação das variabilidades de baixa frequência das de alta frequência. Logo após aplicou-se a técnica das ondeletas para se observarem quais foram os períodos

dominantes em cada nova serie criada (longo e curto prazo), para, assim, observar quais as relações entre as escalas de tempo e alguns fenômenos que interferem no clima.

No segundo momento, utilizaram-se as series de longo prazo (tendências extraídas com o filtro HP) dos índices da ODP e da OMA para se fazer uma comparação entre a variabilidade da TSM no oceano Pacífico e no oceano Atlântico. A partir dessa análise inicial, procurou-se uma relação direta entre as mudanças da TSM no oceano Pacífico e no oceano Atlântico ou vice-versa. Siqueira (2010) observou que existe uma diferença entre as mudanças de fase da ODP e os modos da OMA, e sugeriu que, na média essa diferença seria de 15 anos, aproximadamente.

No terceiro momento, separaram-se os períodos onde a ODP e a OMA apresentaram modos ou fases iguais (positiva e positiva e negativa e negativa, respectivamente), como também, modos ou fases opostas (positiva e negativa e negativa e positiva, respectivamente). Com essa separação, notaram-se períodos distintos e calcularam-se as anomalias da taxa de precipitação (TP) para cada um deles, a fim de se estudar o comportamento da TP sobre a América do Sul. Depois, obtiveram-se os coeficientes da correlação entre os índices climáticos e as os períodos iguais e diferentes da ODP e OMA e o nível de significância dos coeficientes de correlação.

No ultimo momento, utilizaram-se as FOE nos dados da TP sobre a América do Sul durante as fases da ODP e, também, nos períodos separados por igualdade e diferenças entre os índices da ODP e da OMA. Na análise das FOE, foram calculadas as 12 primeiras componentes, mas foram utilizadas para as análises apenas as duas primeiras. Essas possuem a maior parte da variação explicada das combinações lineares e representam melhores os dados originais. Além do mais, as FOE aplicadas mostraram os padrões existentes da TP sobre a América do Sul durante os períodos estudados.

Nesse estudo, optou-se pela utilização de programas gratuitos e que usam a licença General Public License (GPL). Para a organização dos dados dos índices climáticos, utilizou-se o programa Calc da plataforma LibreOffice (The Document Foundation, 2012). No cálculo do filtro Hodrick-Prescott (HP), fez-se o uso do programa estatístico R e o pacote “mFilter” (The R Foundation for Statistical Computing, 2012) e, para o calculo das ondeletas foi utilizado o programa Octave (GNU Octave, 2012).

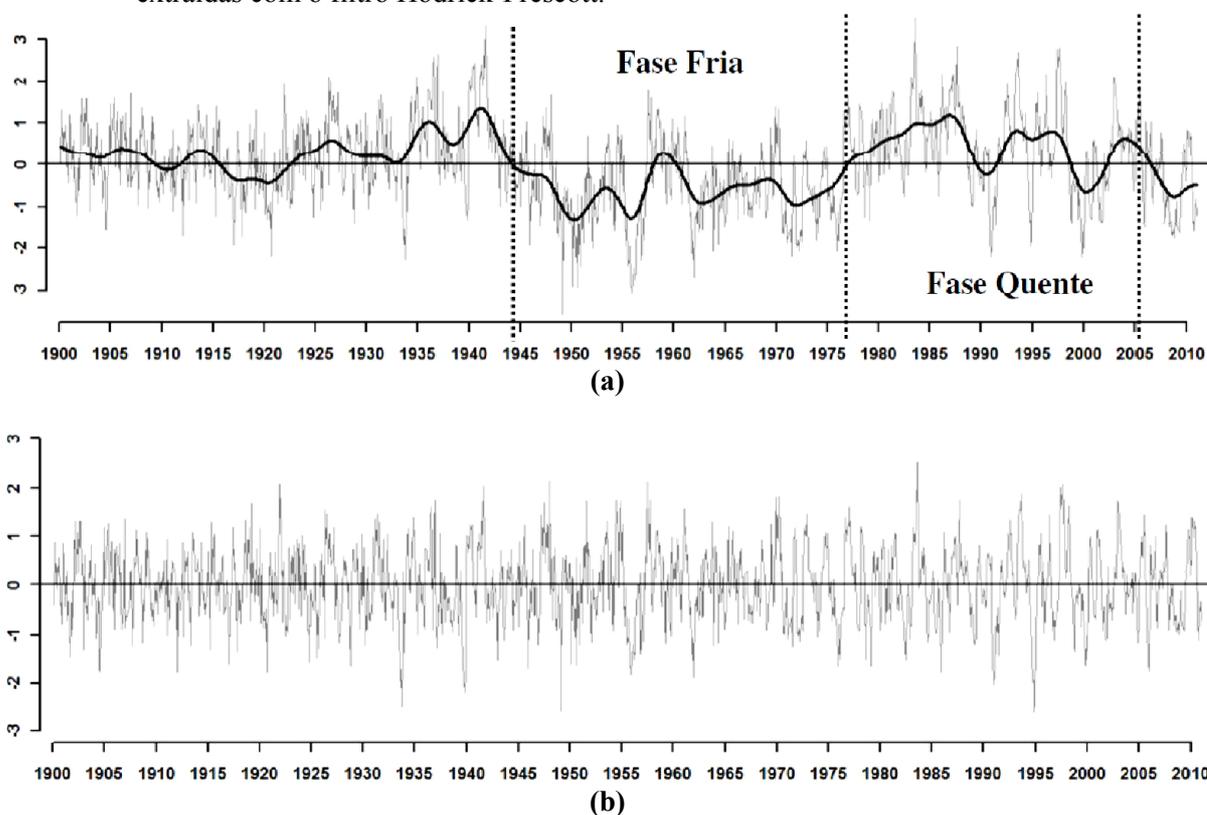
Já, para as anomalias, coeficientes de correlação e funções ortogonais empíricas (FOE) usou-se o programa Grid Analysis and Display System (GrADS) (DOTY, 1992). As FOE foram obtidas com o script EOFGRADS, versão 0.155 (MÜNNICH, 1995), com algumas modificações feitas para esse estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise do índice da Oscilação Decadal do Pacífico (IODP)

Na Figura 8, foram mostradas as análises obtidas com o filtro HP para a série dos índices da ODP. Na Figura 8a, mostraram-se a série dos índices da ODP e as tendências (linha suave) obtidas com o filtro HP. Na Figura 8b, graficou-se somente a parte cíclica/aleatória da série dos índices, as oscilações de alta frequência.

Figura 8- Análise da série temporal dos índices da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) em (a) série dos índices da ODP e as tendências (linha suave) e em (b) a parte cíclica/aleatória, extraídas com o filtro Hodrick-Prescott.



Fonte: Autor, 2012.

Observou-se, na Figura 8a, que a curva das tendências (linha suave) mostrou as oscilações de baixa frequência (interdecadais) da ODP, com uma fase quente entre 1923 e 1943, seguida de uma fase fria entre 1943 e 1976. Mantua *et al* (1997) sugeriram que essa fase fria tenha começado em 1946. Outro aspecto seria extensão e o fim da fase quente recente da ODP (1976 a 1998) que, segundo a análise, não teria terminado em 1998 e sim se estendido até 2006, dando início a nova fase fria da ODP após essa data.

De maneira geral, a curva de tendências apresentou valores negativos na fase fria da ODP. Em alguns pontos, porém, foram notadas inversões bruscas do comportamento da série. Na fase fria da ODP, entre 1957 e 1960, notou-se claramente uma inversão, com um pico em 1958. Nesse período, ocorreu um evento El Niño (EN) de grande intensidade, de 1957 a 1959.

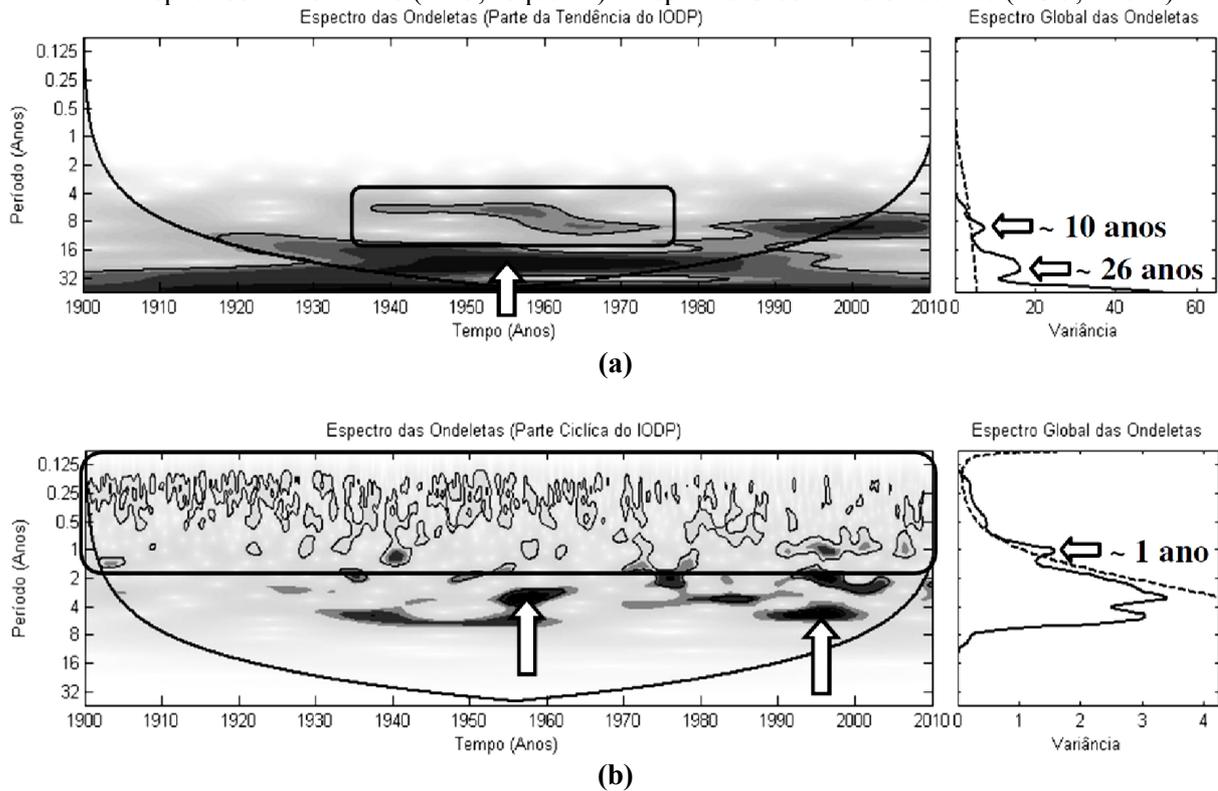
Durante a fase quente da ODP, observou-se um declínio dos índices no período compreendido entre 1988 e 1990. Esse período foi marcado por um evento La Niña (LN) forte (1988-1989). Além disso, um evento La Niña fraco ocorreu entre 1983 e 1986. É possível, também, que a erupção do Monte Pinatubo, em junho de 1991, tenha contribuído para esse declínio.

Na Figura 8b, viu-se a “dinâmica” das altas frequências da ODP. Essa dinâmica assemelha-se a dos eventos EN/LN. Contudo, o índice da ODP é construído com a primeira componente principal das anomalias de TSM do lado polar a 20° N (MANTUA *et al*, 1997; ZHANG *et al*, 1997) e pode incluir contribuições aleatórias, como Oscilação Madden-Julian.

Nas Figuras 9a e 9b, mostraram-se os resultados das análises das ondeletas aplicadas às séries das tendências e da parte cíclica/aleatória, obtidas com o filtro HP, no período de janeiro de 1900 a dezembro de 2010. As figuras representam, respectivamente, o Espectro de Potência das Ondeletas (EPO), à esquerda, e o Espectro Global das Ondeletas (EGO), à direita.

As áreas sombreadas no espectro das ondeletas na escala de cinza para o preto são de variâncias normalizadas, as quais estão nas escalas de 0 a 5 unidades com o intervalo de contorno de 0,5. Os contornos fechados são significativos ao nível de confiança superior a 95% e a curva contínua, em forma de “U”, representa o cone de influência, além do qual o efeito de borda se faz importante. No espectro global das ondeletas (EGO), valores são significativos ao nível de 95% à direita da curva tracejada.

Figura 9- Análise das ondeletas aplicada às séries (a) das tendências e (b) da parte cíclica/aleatória, obtidas após o tratamento da série dos índices da ODP com o filtro HP, com respectivos Espectros de Potências (EPO, esquerda) e Espectro Global das Ondeletas (EGO, direita).



Fonte: Autor, 2012.

Notaram-se, na Figura 9a, dois núcleos significativos que apresentaram alta energia no EPO da série das tendências, um no intervalo de 8 a 12 anos (retângulo) entre os anos de 1937 e 1976 e outro no intervalo de 16 a 32 anos entre os anos de 1925 e 1985 (seta). O primeiro núcleo parece ser composto de dois subnúcleos, um entre 8 e 10 anos e outro entre 8 e 12 anos. Esse fato merece ser detalhado no futuro. Há um terceiro núcleo, já saindo do cone de influência, também com período centrado em 10 anos, que é aparente a partir de 1983. No EGO da série de tendências, observaram-se dois picos nas escalas decadais de, aproximadamente, 10 e 26 anos (setas). Tanto no EPO quanto no EGO, notou-se que os picos de energia ultrapassaram o nível de significância de 95%. Porém, no EGO, o mais evidente foi o pico de 26 anos. Esse ciclo está associado às fases da ODP, e representa mudanças de estados energéticos distintos no Pacífico e frequências distintas de ocorrência de eventos EN/LN.

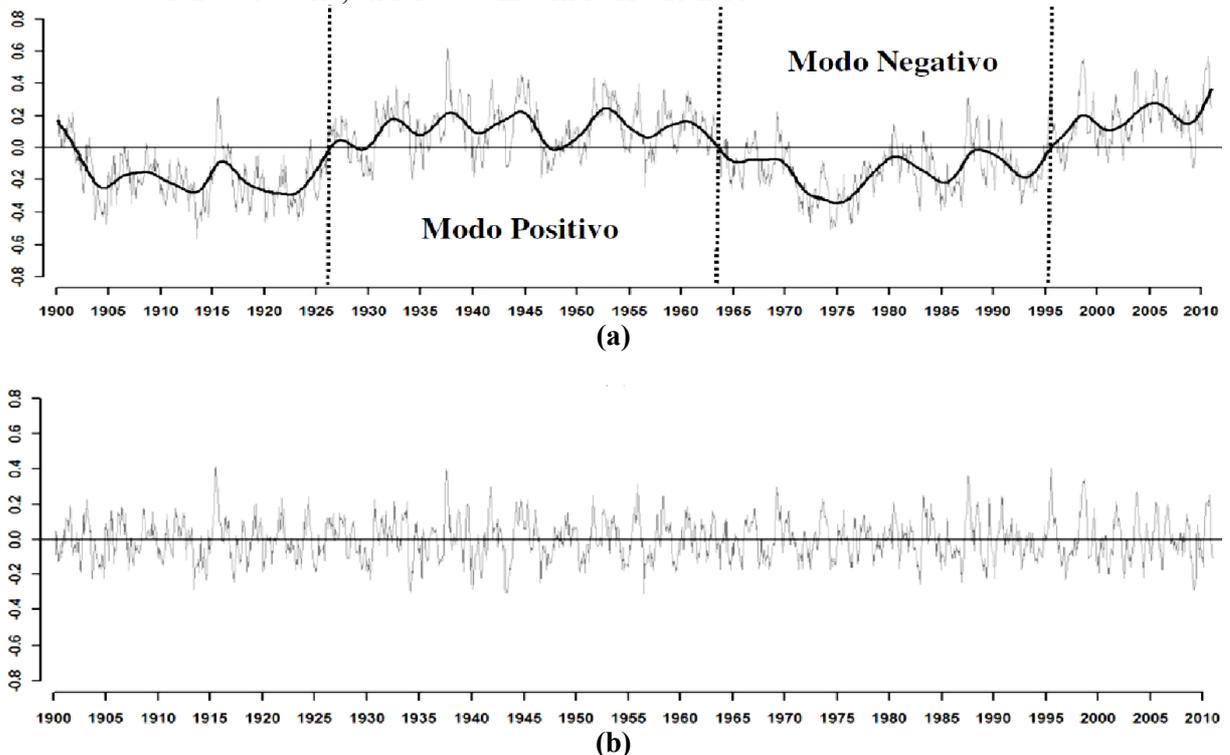
Na Figura 9b, análise das ondeletas para a parte cíclica/aleatória do índice da ODP, viu-se que as altas energias no EPO concentraram-se nas variabilidades intrasazonal (inferiores ao ciclo anual) e interanual (eventos EN/LN), nesse caso com periodicidade entre 2 e 8 anos entre 1955 e 1960 e 1988 e 2002 (setas). A periodicidade de ocorrência dos eventos

EN/LN muda de acordo com a fase da ODP. Os La Niñas (El Niños) foram mais frequentes em sua fase fria (quente). No EGO, observou-se que a curva contínua se situou acima do nível de significância de 95% com destaque para o ciclo de 1 ano. Porém, seu caráter preditivo não foi considerado, já que o sinal está associado ao ciclo anual. Picos entre 2 e 4 anos e 4 e 8 anos foram observados, porém ficaram abaixo da linha de nível de significância de 95%. Mas, são dignos de nota, porque mostraram que a frequência de ocorrência de eventos EN/LN variou ao longo do período de estudo.

4.2 Análise do índice da Oscilação Multidecadal do Atlântico (IOMA)

Na Figura 10, foram mostrados os resultados das análises obtidos com o filtro HP para a série dos índices da OMA, que é construída com as anomalias de TSM do Atlântico Norte com relação a média de todo período. Seu modo positivo (negativo) indica TSM acima (abaixo) da média. Na Figura 10a, mostraram-se os índices da OMA e a série das tendências (linha suave). Na Figura 10b, foi mostrada a parte cíclica/aleatória da série dos índices, que corresponde às oscilações de alta frequência.

Figura 10- Análise da série temporal dos índices da Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA) em (a) série dos índices da OMA e das tendências (linha suave) e em (b) a parte cíclica/aleatória, extraídas com o filtro Hodrick-Prescott.



Fonte: Autor, 2012.

Na Figura 10a, a série das tendências dos índices da OMA representou bem suas duas fases observadas no século passado. A primeira fase (modo positivo), de 1927 a 1964, intervalo de 37 anos, foi um pouco mais longa, aproximadamente 5 anos, que a segunda fase (modo negativo), entre 1964 a 1995, cerca de 32 anos. Essas fases compõem a oscilação de baixa frequência, cujo ciclo é em torno de 70 anos. Aparentemente, essa oscilação modula oscilações de menor período e com amplitudes distintas.

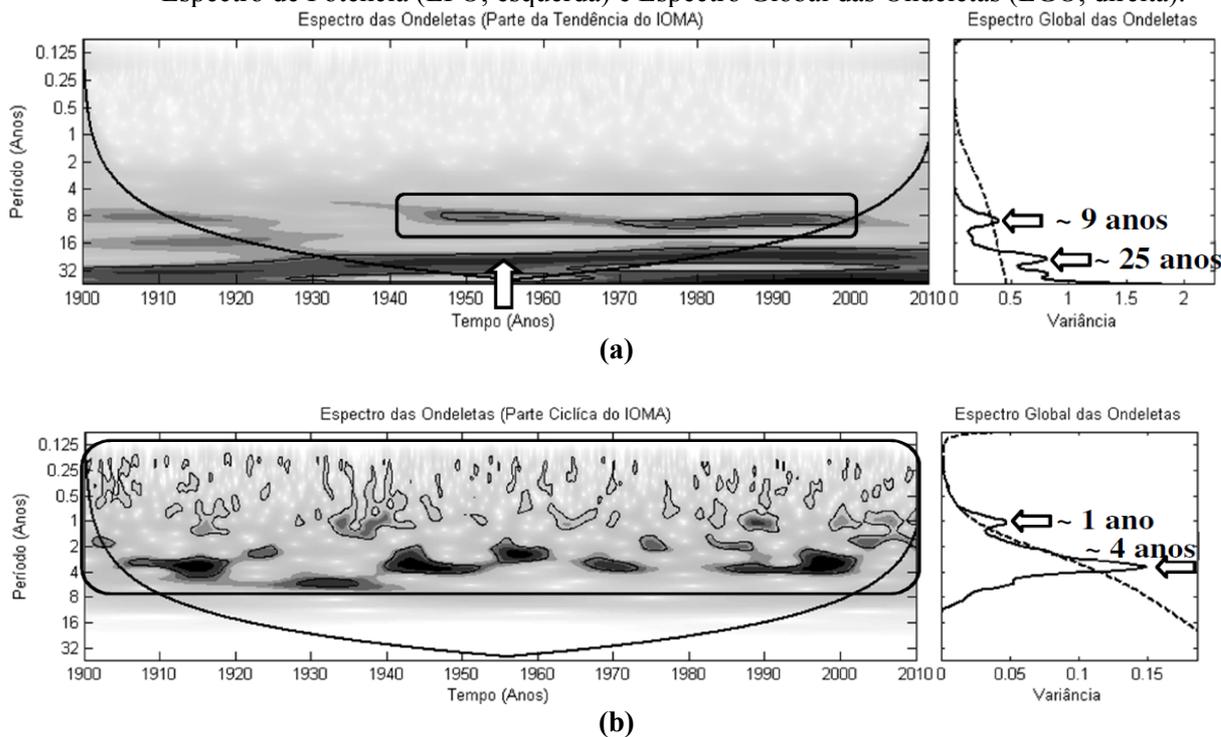
Durante o modo positivo, aparentemente, houve um aumento de frequência (5 oscilações) e redução na amplitude, se comparado com o modo negativo (3 oscilações), em que a oscilação de maior amplitude coincide com o período de transição da fase fria para a fase quente da ODP, em torno de 1976. Notou-se que o período de transição para o modo positivo, entre 1917 e 1926, outra transição da ODP, também apresentou um ciclo semelhante em amplitude e período. Após 1995, a OMA voltou para seu modo positivo aparentemente com oscilações semelhantes ao modo positivo anterior.

Observou-se que, ainda na fase positiva, ocorreu uma oscilação a cada 7 anos (5 oscilações em 37 anos) e na fase negativa ocorreu oscilação a cada 11 anos (3 oscilações em 32 anos), aproximadamente, indicando que o Atlântico Norte “vibrou” mais na fase positiva.

Na Figura 10b, parte cíclica/aleatória da série dos índices da OMA, viu-se a variabilidade de alta frequência das TSM do Atlântico Norte. Tal dinâmica demonstrou ser parecida com a observada na análise da parte cíclica do índice da ODP. Alguns autores, como por exemplo, JONES *et al* (1997), OSBORN *et al* (1999) e VAN LOON e ROGERS (1978), consideraram essa variação associada com a parte atmosférica Oscilação do Atlântico Norte (OAN) e Oscilação Sul (OS).

Nas Figuras 11a e 11b, mostraram-se os resultados das análises das ondeletas para as séries das tendências e cíclica/aleatória após ter sido aplicado o filtro HP à série temporal dos índices da OMA, disposto em regime mensal, durante o período de janeiro de 1900 a dezembro de 2010. As figuras mostraram o Espectro de Potência das Ondeletas (EPO) à esquerda e o Espectro Global das Ondeletas (EGO) à direita, respectivamente.

Figura 11- Análise das ondeletas aplicadas às séries (a) das tendências e (b) parte cíclica/aleatória, obtidas após tratamento da série dos índices de OMA com o filtro HP com os respectivos Espectro de Potência (EPO, esquerda) e Espectro Global das Ondeletas (EGO, direita).



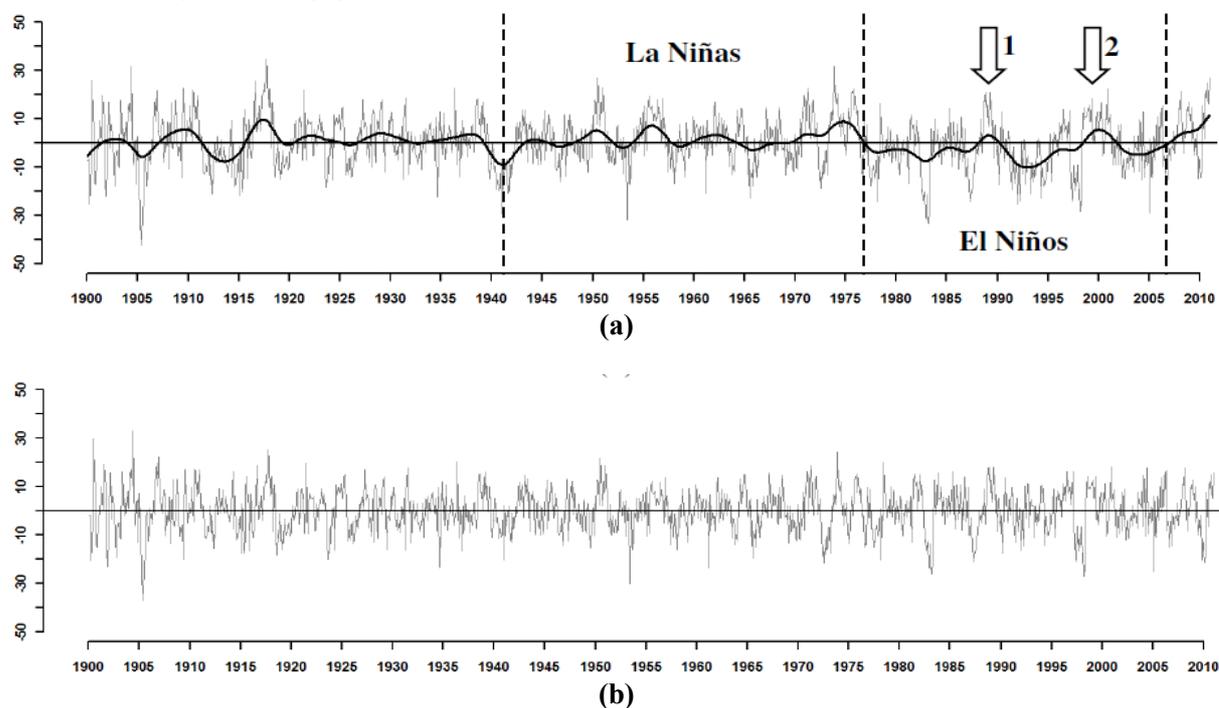
Fonte: Autor, 2012.

A análise da série das tendências (Figura 11a) mostrou picos significativos no espectro das ondeletas entre 8 e 12 anos (retângulo) e 18 e 32 anos (seta). No EGO, observaram-se dois picos com nível de significância superior a 95%. Esses picos apresentaram uma periodicidade de, aproximadamente, 9 e 25 anos (setas). O pico de 9 anos pode estar relacionado ao ciclo nodal lunar. Na análise da parte cíclica/aleatória da série dos índices da OMA (Figura 11b), notaram-se energias significativas entre três meses (0,125 anos) e 8 anos (retângulo) no EPO. Porém, as que apresentaram maiores valores energéticos foram as associadas à periodicidade de 2 a 4 anos. No EGO de sua parte cíclica/aleatória, observaram-se dois picos nas escalas de 1 e 4 anos com significância acima de 95%, respectivamente, ciclos anual e de EN/LN.

4.3 Análise do índice da Oscilação do Sul (IOS)

Na Figura 12, foram mostradas as análises obtidas com o filtro HP para a série dos índices da OS. Na Figura 12a, mostraram-se a série dos índices da OS e as tendências (linha suave) obtida com o filtro HP. Já, na Figura 12b, graficou-se somente a parte cíclica/aleatória da série dos índices, as oscilações de alta frequência.

Figura 12- Análise da série temporal dos índices da Oscilação do Sul (OS) em (a) série dos índices da OS e as tendências (linha suave) e em (b) a parte cíclica/aleatória, extraídas com o filtro Hodrick- Prescott.



Fonte: Autor, 2012.

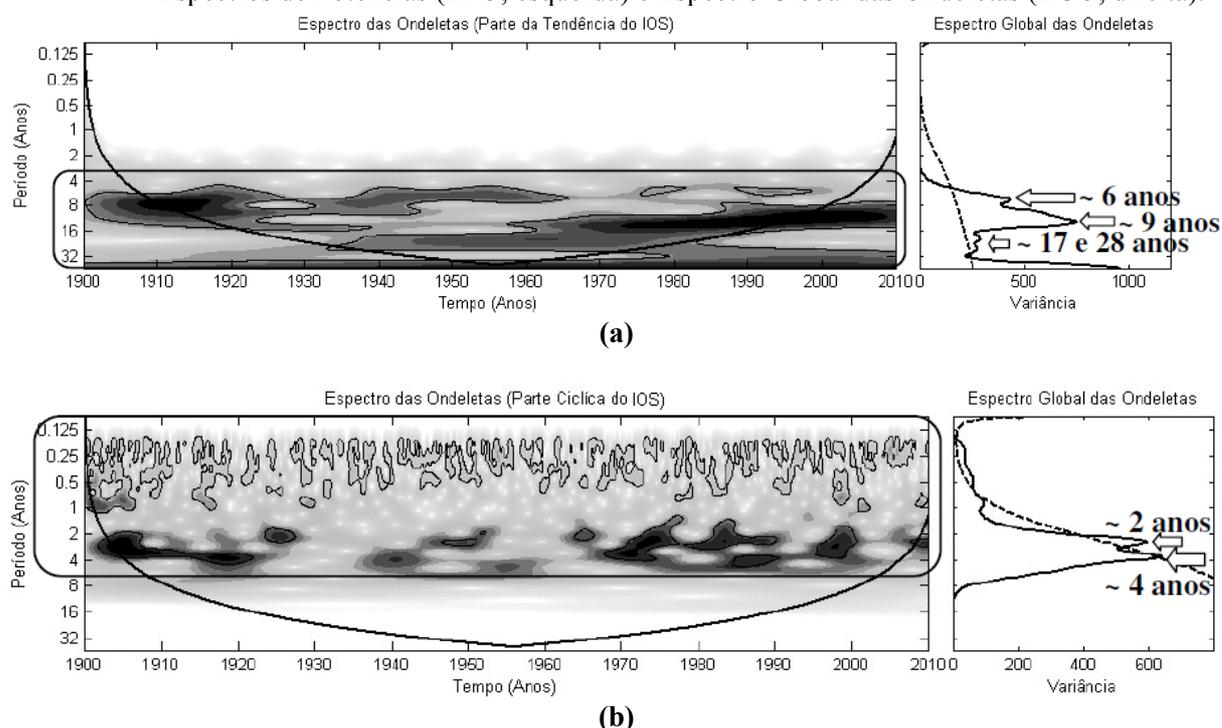
Observou-se, na Figura 12a, que a linha de tendência (linha suave) não foi tão acentuada, porém, notou-se bem a oscilação de baixa frequência (períodos interdecadais). Também ficou evidente que, a partir de 1943 e persistindo até 1976, os valores do índice da OS apresentaram uma frequência maior de valores positivos se comparados com o do período seguinte de 1977 a 2006, onde os valores foram negativos. Viu-se que esses períodos são, respectivamente, as fases fria e quente da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), concordando com Molion (2005) que demonstrou que, durante a fase fria da ODP, os eventos La Niña foram mais intensos e fortes e os eventos El Niño foram menos intensos e mais fracos. Já, durante a fase quente ocorreu o oposto.

Ainda na Figura 12a, durante o período de 1976 a 2006, ficou aparente anos em que a linha de tendência ultrapassou o limite da linha zero, deslocando-se para valores positivos (setas 1 e 2). Nesse caso, as setas mostraram os eventos intensos de La Niña em 1988 e 1989 (seta 1) e o de 1998 a 2001 (seta 2). Esses eventos mostraram que, mesmo com a predominância de águas mais quentes sobre a região do Pacífico Centro – Equatorial (fase quente da ODP), há casos em que eventos La Niña podem ocorrer. Na Figura 12b, notou-se que a parte cíclica/aleatória demonstrou-se ser parecida com o índice da OS. A grande

variabilidade do índice da OS é devido ao ciclo anual e a Oscilação Maden – Julian (OMJ). Por exemplo, com a OMJ mais intensa em ano de La Niña, a amplitude do índice é maior.

Nas Figuras 13a e 13b, mostraram-se os resultados das análises das ondeletas aplicadas às séries das tendências e da parte cíclica/aleatória, obtidas com o filtro HP, no período de janeiro de 1900 a dezembro de 2010. As figuras representam, respectivamente, o Espectro de Potência das Ondeletas (EPO), à esquerda, e o Espectro Global das Ondeletas (EGO), à direita.

Figura 13- Análise das ondeletas aplicada às séries (a) das tendências e (b) da parte cíclica/aleatória, obtidas após o tratamento da série dos índices da OS com o filtro HP, com respectivos Espectros de Potências (EPO, esquerda) e Espectro Global das Ondeletas (EGO, direita).



Fonte: Autor, 2012.

As áreas sombreadas no espectro das ondeletas na escala de cinza para preto são de variâncias normalizadas, as quais estão nas escalas de 0 a 5 unidades com o intervalo de contorno de 0,5. Os contornos fechados são significativos ao nível de confiança superior a 95% e a curva contínua, em forma de “U”, representa o cone de influência, além do qual o efeito de borda se faz importante. No espectro global das ondeletas (EGO), valores são significativos ao nível de 95% à direita da curva tracejada.

Notaram-se 2 núcleos de alta energia na Figura 13a, espectro das ondeletas para a tendência do índice da OS extraída com o filtro HP, o primeiro de 1900 a 1920, com intervalo no período de 4 a 16 anos, e, o segundo, com intervalo no período de 8 a 16 anos de 1966 a além do cone de influência.

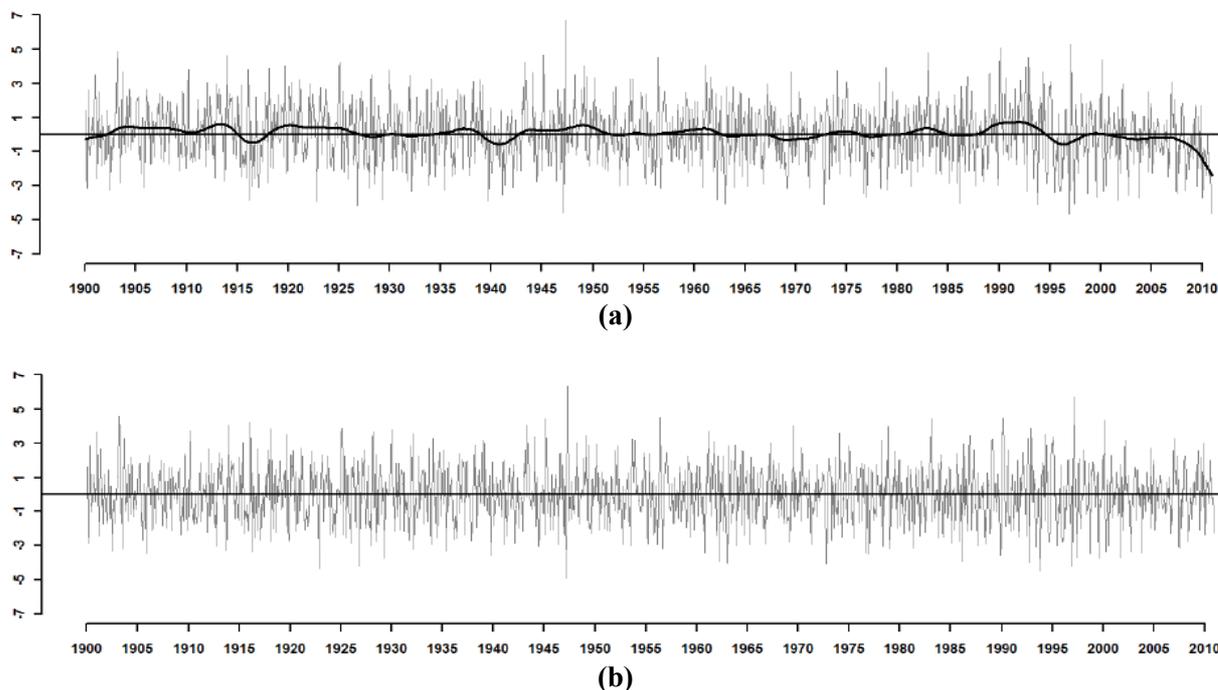
Observaram-se, ainda na Figura 13a, no espectro global das ondeletas (EGO), quatro picos significativos (95% de significância) com períodos de anos distintos. Um com 6 anos, outro de 9 anos e mais dois com 17 e 28 anos, aproximadamente. No caso da periodicidade de 6 anos, pode existir uma relação com os eventos El Niño e La Niña. Já, os períodos de 9 e 17 anos podem ter relação com o ciclo nodal lunar de 18,6 anos. O período de 28 anos pode ter relação com a ODP.

Na Figura 13b, parte cíclica/aleatória obtida com a extração por meio do filtro HP, observaram-se, no EPO, altas energias nos períodos de 0,125 (1 mês), 0,25 (3 meses), 0,5 (6 meses) e 1 anos. Além desses períodos, observaram-se altas energias entre 2 e 4 anos. Esses ciclos representam as variabilidades intrasazonal (como a OMJ), anual e interanual (eventos EN/LN), como esperado e descrito por Siqueira (2010). No EGO, notaram-se dois picos na escala interanual de 2 e 4 anos, aproximadamente, que têm relação mais direta com o ciclo dos eventos El Niño/La Niña.

4.4 Análise do índice da Oscilação do Atlântico Norte (IOAN)

Na Figura 14, foram mostrados os resultados das análises obtidos com o filtro HP para a série dos índices da OAN, que é construída da diferença da pressão atmosférica entre a baixa de Islândia e a alta dos Açores. Na Figura 14a, mostraram-se os índices da OAN e a série das tendências (linha suave). Já, na Figura 14b, foi mostrada a parte cíclica/aleatória da série dos índices, que corresponde às oscilações de alta frequência.

Figura 14- Análise da série temporal dos índices da Oscilação do Atlântico Norte (OAN) em (a) série dos índices da OAN e das tendências (linha suave) e em (b) a parte cíclica/aleatória, extraídas com o filtro Hodrick-Prescott.



Fonte: Autor, 2012.

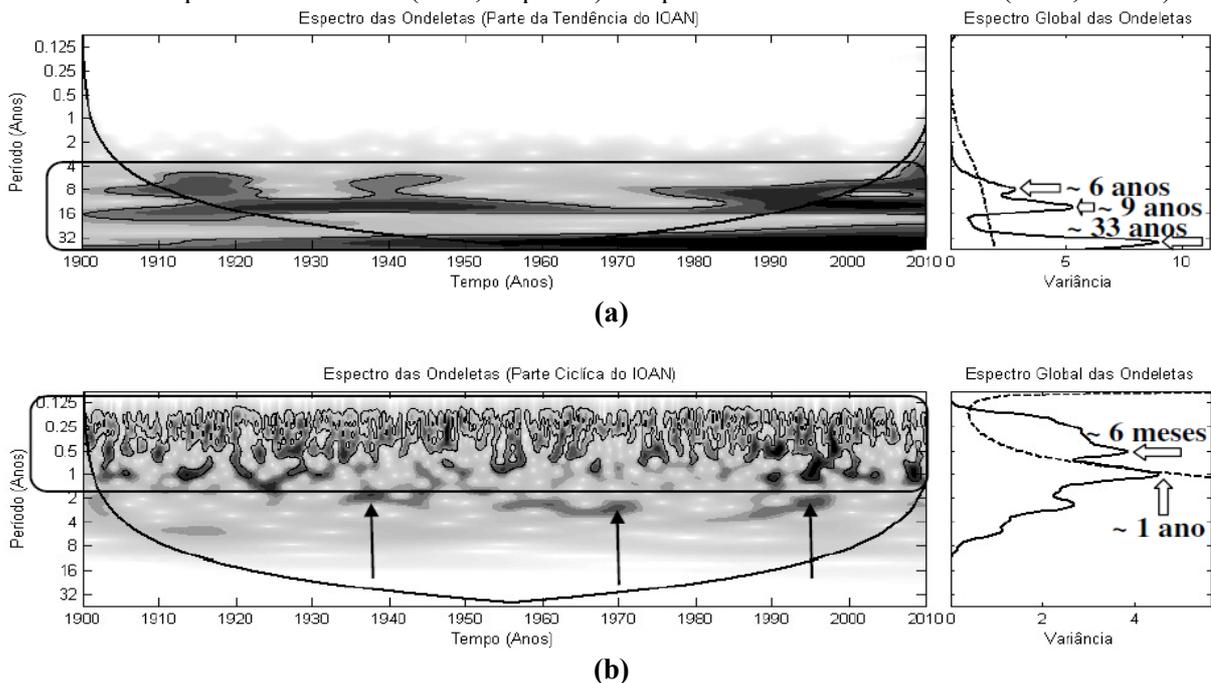
Não se observaram ciclos destacados no índice da OAN com amplitude alta como foi observado no índice OS (Figura 14a), o que concorda com Jones et al (1997) que notaram que, ao se olhar o índice por completo, não se observa variação significativa. Porém, ao se observar apenas os meses de inverno, os ciclos (com relação à escala decadal) são mais evidentes.

Siqueira e Molion (2008) também notaram que, apesar da pequena variação da pressão no Atlântico Norte relacionada com a OAN, quando o índice da OAN era positivo, a ZCIT localizava-se mais próximo do Continente Sul-americano. Por outro lado, quando o valor do índice era negativo, ocorria o contrário.

Na Figura 14b mostrou-se a parte cíclica/aleatória do índice da OAN. Notou-se que não houve distinção entre o índice (Figura 14a, linha cinza) e a parte cíclica/aleatória extraída com o filtro HP, de forma geral. Com exceção dos períodos de 1915 a 1920, 1940 a 1945 e de 1988 a 2000, esse fato demonstrou que o índice da OAN tende a apresentar variabilidade maior nas escalas intrasazonal e interanual.

Nas Figuras 15a e 15b, mostraram-se os resultados das análises das ondeletas para as séries das tendências e cíclica/aleatória após ter sido aplicado o filtro HP à série temporal dos índices da OAN, durante o período de janeiro de 1900 a dezembro de 2010. As figuras mostraram o Espectro de Potência das Ondeletas (EPO) à esquerda e o Espectro Global das Ondeletas (EGO) à direita, respectivamente.

Figura 15- Análise das ondeletas aplicadas às séries (a) das tendências e (b) parte cíclica/aleatória, obtidas após tratamento da série dos índices de OMA com o filtro HP com os respectivos Espectro de Potência (EPO, esquerda) e Espectro Global das Ondeletas (EGO, direita).



Fonte: Autor, 2012.

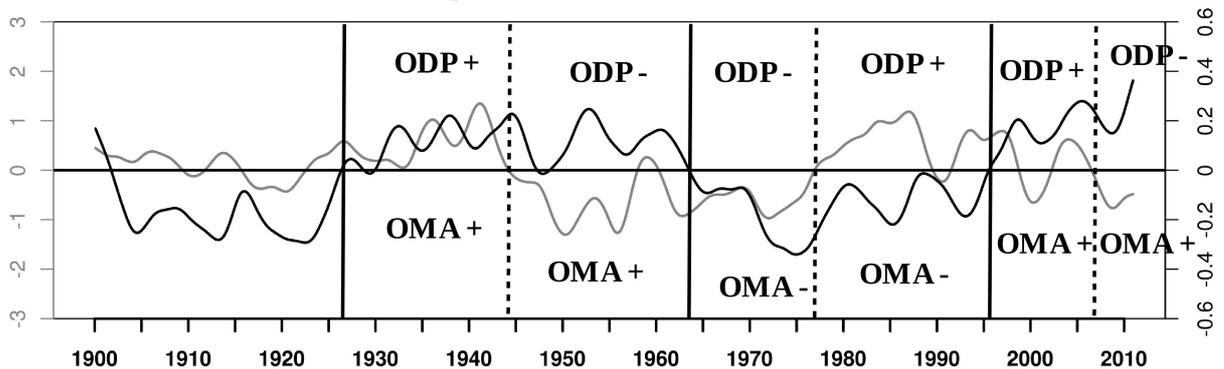
Observou-se na Figura 15a, tendência do índice da OAN extraída com o filtro HP, 3 picos de energia significativos no EGO de 6, 9 e 33 anos. No espectro das ondeletas, na mesma Figura, notaram núcleos de alta energia localizados entre 8 e 16 anos, o que concorda com o observado por Rawson (1909). Para ambos os resultados, o nível de significância foi superior a 95%. Na figura 15b, parte cíclica/aleatória do índice da OAN, observaram-se núcleos de alta energia variando entre os períodos de 0,125 ano (1 mês) e 1 ano. No EGO, viram-se 2 picos, um de 6 meses e o outro de 1 ano, representativos dos ciclos intrasazonal (inverno/verão) e anual. Ambos apresentaram um nível de significância superior a 95%.

4.5 Análise das Anomalias da Taxa de Precipitação

Na figura 16 mostraram-se os gráficos das tendências dos índices das oscilações

extraídas pelo filtro Hodrick-Prescott, respectivamente, oscilação decadal do Pacífico (em cinza) e oscilação multidecadal do Atlântico (em negro). Dividiram-se os gráficos em períodos de início e fim de cada fase ou modo das oscilações, a fim de se observar o intercalamento de suas respectivas fases ou modos.

Figura 16- Tendências dos índices da ODP (em cinza) e da OMA (em negro) extraídas com o filtro Hodrick-Prescott do período de janeiro de 1900 a dezembro de 2010. As linhas verticais cheias e tracejadas representam, respectivamente, as divisões do modo positivo e negativo da OMA e as fases fria e quente da ODP.



Fonte: Autor, 2012.

Observaram-se na Figura 16, períodos em que as oscilações ODP e OMA estiveram em fase e fora de fase com amplitudes e frequências distintas. Notou-se que existem quatro padrões entre as duas oscilações, em que os valores dos índices são iguais (ODP e OMA positivos/negativos) e em que os valores são distintos (ODP negativa e OMA positiva ou vice-versa). A partir dessas observações construiu-se uma tabela para se caracterizar melhor o comportamento dos índices das oscilações oceânicas. A Tabela 3 mostra os períodos de cada padrão separados, os modos e as fases de ambas as oscilações e suas respectivas durações em anos.

Tabela 3- Divisão dos períodos de atuação das fases da ODP e modos da OMA.

Períodos	Fases e Modos das Oscilações	Duração (Anos)
1927 a 1943	ODP + e OMA +	16
1944 a 1964	ODP - e OMA +	20
1964 a 1976	ODP - e OMA -	12
1976 a 1995	ODP + e OMA -	19
1996 a 2006	ODP + e OMA +	10
2006 a ????	ODP - e OMA +	??

Fonte: Autor, 2012.

Notaram-se, nessa Tabela, que os períodos se superpuseram e que, dentro de uma

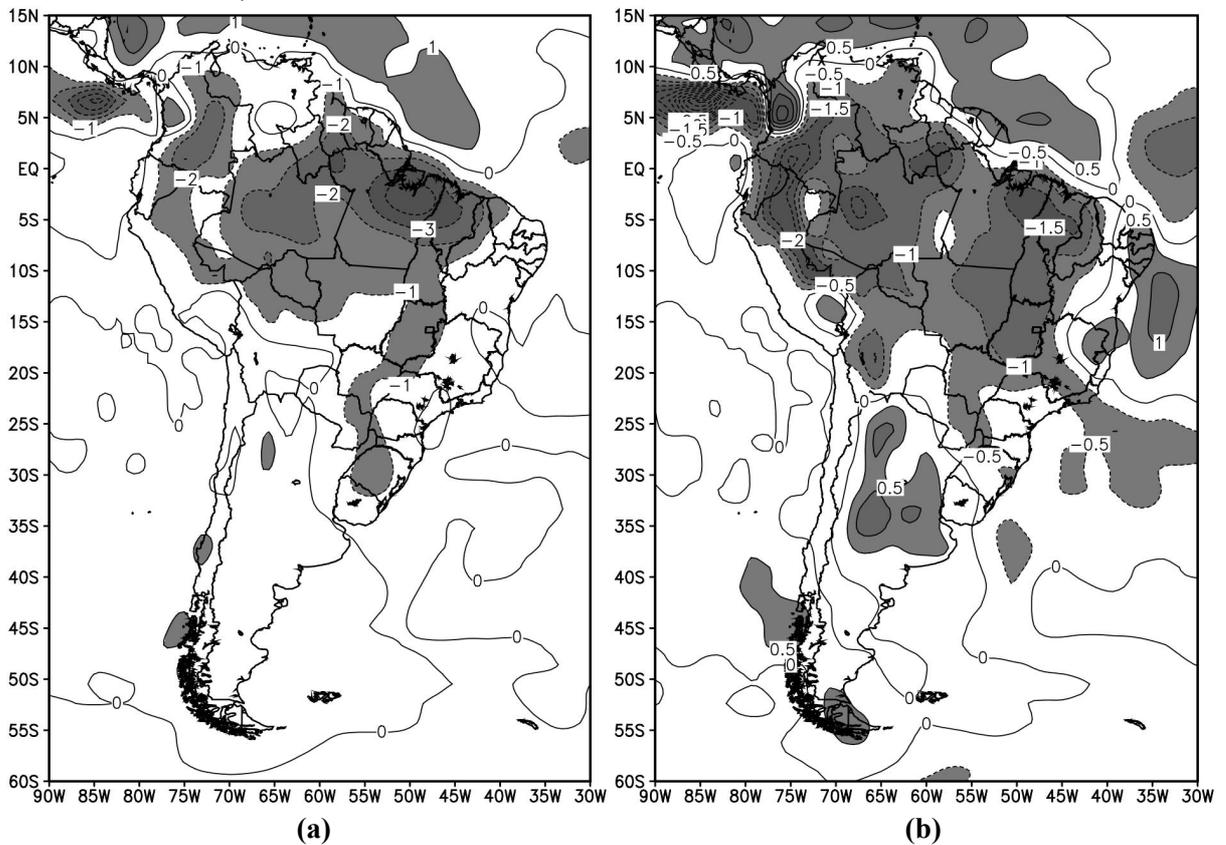
fase ou um modo, a segunda oscilação apresentou uma mudança de valores de positivo para negativo ou o oposto. Por exemplo, no período em que a ODP se apresentou negativa (1943 a 1976), a OMA mostrou-se 20 anos positiva e 12 anos negativa, totalizando 32 anos com influências de 20 e 12 anos diferentes no Oceano Atlântico e a manutenção das condições sobre o Oceano Pacífico. Nesse período, a temperatura média global apresentou um ligeiro declínio, cerca de $-0,2$ °C, e maior frequência de eventos La Niña intensos e número reduzido de eventos El Niño fortes. No Brasil, por exemplo, a frequência de secas severas foi baixa no NE, o porto de Manaus registrou os níveis mais elevados dos rios Negro e Solimões (1953 e 1976) e a região Sul houve uma frequência maior de geadas severas no inverno e veranicos na estação de cultivos agrícolas (nov-mar).

Por outro lado, durante a fase quente da ODP (1976 a 2006), a OMA apresentou valores negativos até 1995 (durante 19 anos) e depois virou para valores positivos (10 anos) totalizando 29 anos. Nesse período, ocorreu o contrário. A temperatura média global aumentou cerca de $0,4$ °C. A frequência de eventos El Niño fortes foi alta e houve o número reduzido de eventos La Niña. No Brasil, por exemplo, os eventos El Niño produziram secas severas no NEB e na Amazônia, excesso de chuva e inundações na Região Sul, enquanto os eventos La Niña estão relacionados com chuvas excessivas no NEB e Amazônia e moderadas no Sudeste/Sul. Notou-se, ainda, que os períodos de intercalação e das mudanças das fases da ODP ou dos modos da OMA não obedecem a um ciclo fixo. Ou seja, parece existir uma variação cíclica e/ou aleatória. Ressalta-se, também, que o menor período foi de 10 anos e o maior, até agora, foi de 20 anos.

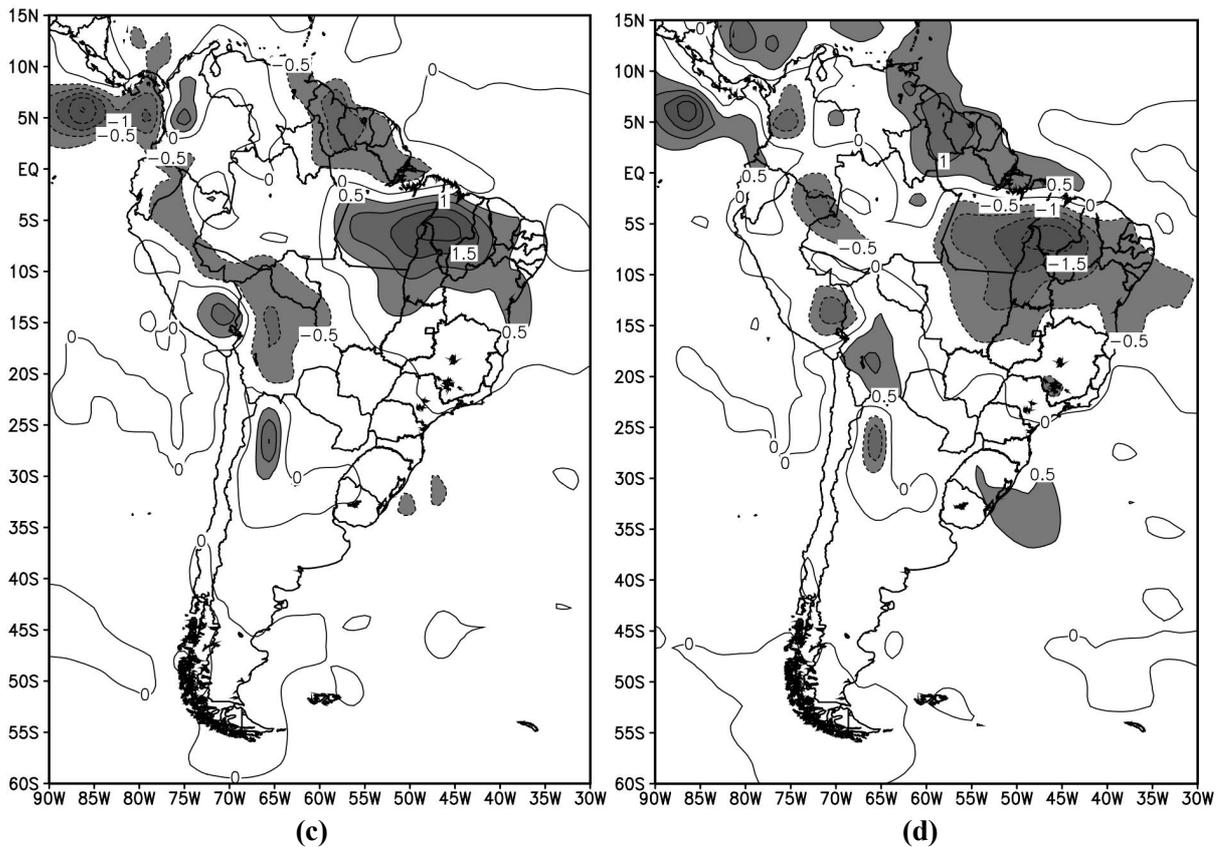
Esse fato parece estar relacionado com o ciclo nodal lunar de 18,6 anos e seu submúltiplo de 9,3 anos. Aparentemente, existem outros fenômenos cíclicos, como o ciclo de manchas solares, por exemplo, que podem interferir construtivamente/destrutivamente para a amplificar ou destruir o ciclo nodal lunar. Esse aspecto é comentado por Yndestad (2006), que sugeriu que a OMA e o degelo do Ártico apresentem ciclos de 18,6 com amplificação do sinal com ciclo de 74 anos ($4 \times 18,6$ anos).

Na figura 17 foram mostrados os campos das anomalias da taxa de precipitação (mm.dia^{-1}) para o período de 1948 a 2006. Nas figuras 6a, 6b, 6c e 6d foram mostradas as anomalias em relação ao período de 1981 à 2010, respectivamente, as divisões dos períodos da ODP negativa e OMA positiva (1948 à 1964), ODP negativa e OMA negativa (1965 à 1977), ODP positiva e OMA negativa (1978 à 1996) e ODP positiva e OMA positiva (1997 à 2006).

Figura 17: Anomalias anuais da taxa de precipitação (mm.dia^{-1}) sobre a América do Sul em relação ao período de 1981 à 2010. Em (a) 1948 à 1964 (ODP - e OMA +), em (b) 1964 à 1976 (ODP - e OMA -), em (c) 1976 à 1995 (ODP + e OMA -) e em (d) 1995 à 2006 (ODP + e OMA +).



(Continua)



Fonte: Autor, 2012.

Siqueira (2010) observou que, nas fases da ODP, fria de 1948 a 1976 e quente de 1976 a 1998, a taxa de precipitação mostrou um padrão parecido com o que foi observado na Figura 17a. Contudo, durante a fase fria, o núcleo de anomalia apresentou valores negativos entre $-1,5 \text{ mm.dia}^{-1}$ e $-0,3 \text{ mm.dia}^{-1}$, abaixo da normal climatológica. Já, durante a fase quente, os valores apresentaram-se opostos, isto é, o núcleo apresentou desvios positivos.

Observou-se, na Figura 17, que o resultado encontrado por Siqueira (2010) mostraram um caráter generalizado. Na mesma figura, observou-se que, durante uma fase da ODP, pode se ter duas configurações do regime de precipitação sobre a América do Sul. Na Figura 17a, 1948 a 1964 (ODP - e OMA +), notou-se que todo o norte da América do Sul apresentou valores das anomalias negativos.

Viu-se que um núcleo com anomalias de -3 mm.dia^{-1} se posicionou sobre o estado do Pará e se estendeu para o Amazonas e Piauí. Apesar de ter havido aumento na frequência de eventos La Niña durante a fase fria da ODP (MOLION, 2005; SIQUEIRA *et al*, 2008), o posicionamento da ZCIT mais ao norte, devido a OMA positiva, fez, com que seu ramo

descendente se posicionasse sobre a região, os totais pluviométricos diminuiriam devido à inibição da convecção.

Na Figura 17b, 1965 a 1977 (ODP - e OMA -), observou-se que grande parte da América do Sul apresentou valores negativos de anomalias de precipitação. Também, foi observado um núcleo com valores negativos parecido como o visto na Figura 17a, porém, esse núcleo se posicionou entre os estados do Piauí e do Pará e apresentou valores de $-1,5 \text{ mm.dia}^{-1}$. Já, na região sul do continente, especificamente no norte da Argentina, viu-se um núcleo de desvios positivos de $0,5 \text{ mm.dia}^{-1}$, mostrando que houve um aumento de precipitação.

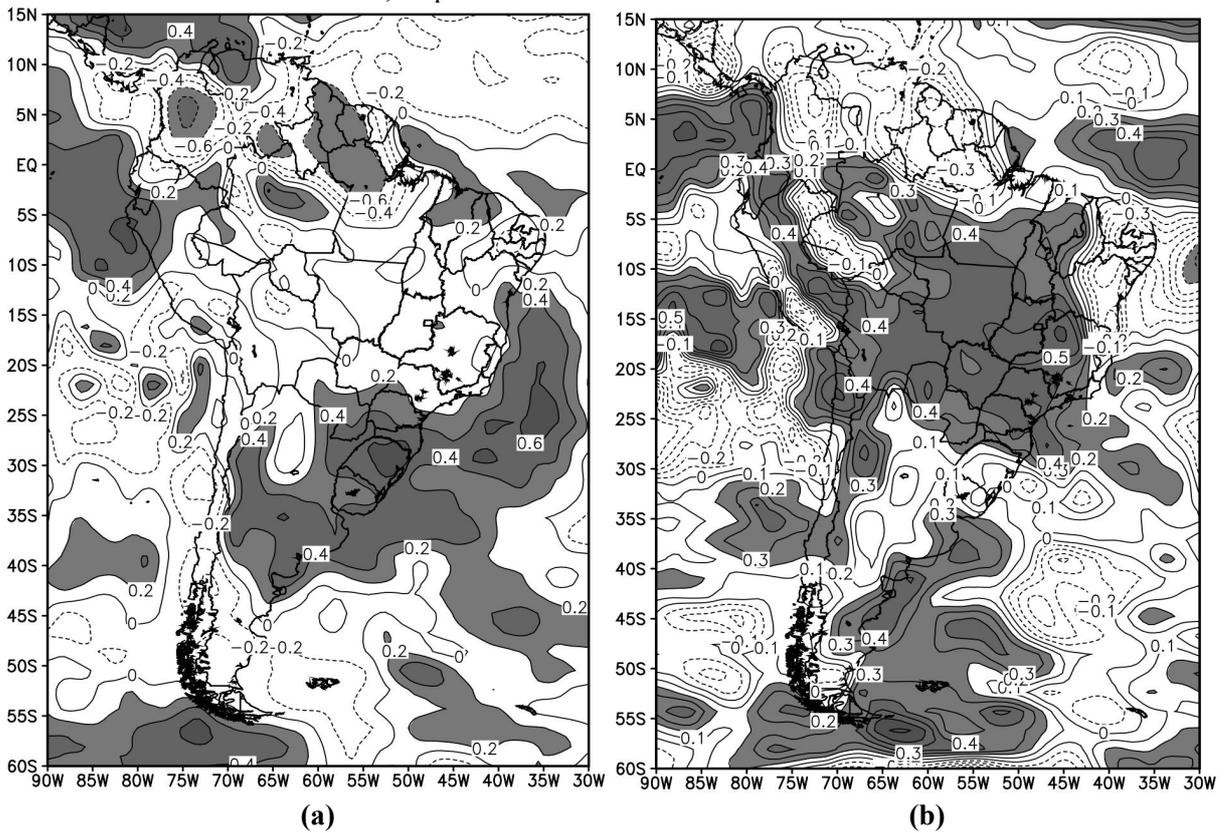
Na Figura 17c, 1978 a 1996 (ODP+ e OMA-), as anomalias apresentaram um padrão diferente. Notaram-se que os núcleos dos desvios posicionaram-se mais ao sul se comparados com os vistos na Figura 17a. Também, notou-se que os núcleos negativos de -2 mm.dia^{-1} , vistos na Figura 17a sobre o Amazonas e a Colômbia, desapareceram na Figura 17c. O deslocamento mais para o sul dos núcleos trouxe anomalias negativas, vistas antes na Figura 17a sobre a região do Caribe, para cima da costa norte da América do Sul, localizando-se sobre o Amapá, Guiana, Guiné Francesa, Suriname, Roraima e parte da Venezuela. Esse núcleo de desvio apresentou um valor positivo de $0,5 \text{ mm.dia}^{-1}$, mostrando que a ZCIT tendeu a se posicionar mais ao sul durante o período de 1978 a 1996.

Na Figura 17d, 1997 a 2006 (ODP+ e OMA+), observou-se um padrão oposto ao visto na Figura 17c. As regiões, onde os valores dos desvios foram positivos, transformaram-se em negativos e vice-versa. Essa observação teve relação com a mudança da fase da OMA de negativa para positiva no período de 1995 a 2006. Esse resultado mostrou que, durante a fase quente da ODP, a OMA tem uma grande influência no regime de precipitação sobre a região norte da América do Sul, certamente influenciando o deslocamento da ZCIT. Esta, deslocada mais para o sul de sua posição normal, intensificaria a subsidência sobre o leste da Amazônia e NEB, reduzindo a precipitação regional.

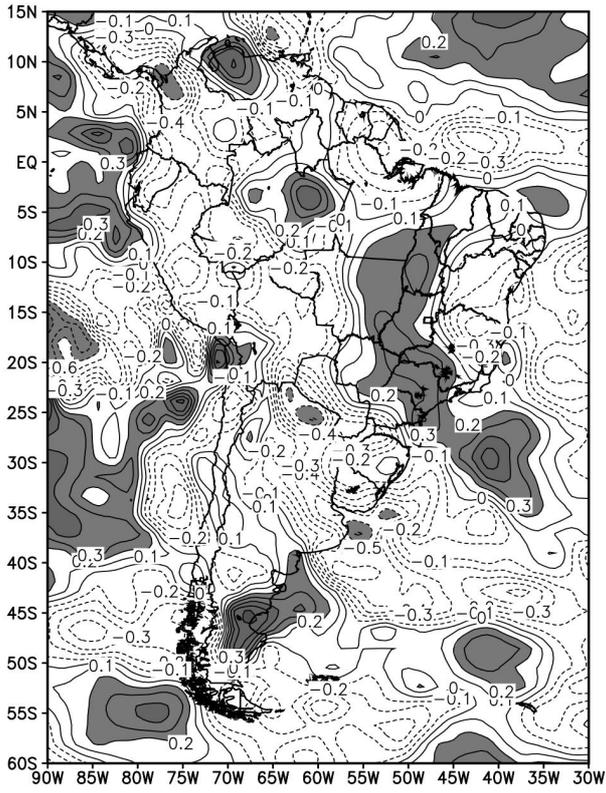
4.6 Análise da Correlação entre a Precipitação e os Índices da ODP e OMA

Na Figura 18, mostraram-se os mapas dos coeficientes de correlação (simultâneo no tempo) entre a taxa de precipitação e os índices da ODP e da OMA para os períodos das fases e modos de ambas as oscilações. As figuras da esquerda são os coeficientes de correlações entre o índice da ODP e a taxa de precipitação (Figuras 18a, 18c, 18e e 18g). As figuras da direita são os coeficientes de correlações entre o índice da OMA e a taxa de precipitação (Figura 18b, 18d, 18f e 18h).

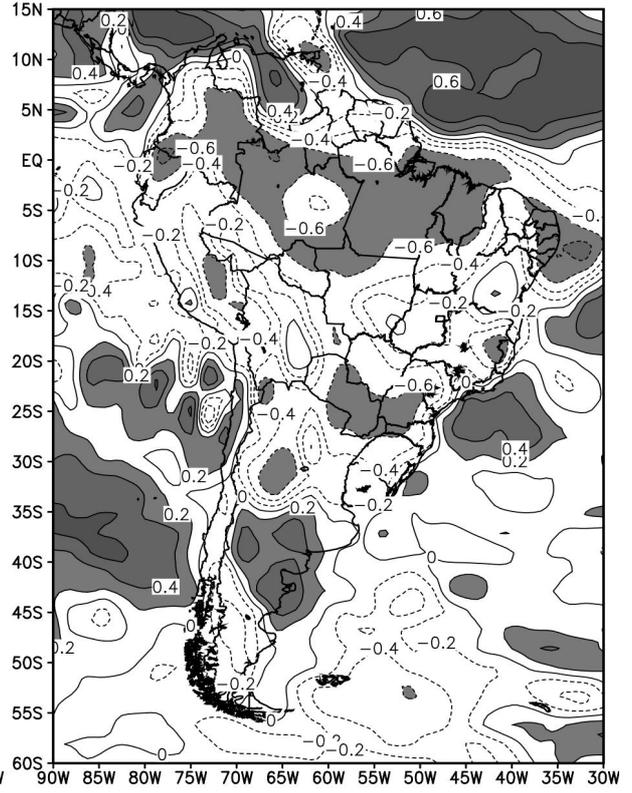
Figura 18- Coeficientes de correlações entre os índices da ODP e OMA e a taxa de precipitação para os períodos de estudo. As figuras da esquerda (a, c, e, g) são os coeficientes de correlações com o índice da ODP e as da direita (b, d, f, h) são os coeficientes de correlações com o índice da OMA para os períodos de 1948 a 1964, 1965 a 1977, 1978 a 1996 e 1997 a 2006, respectivamente.



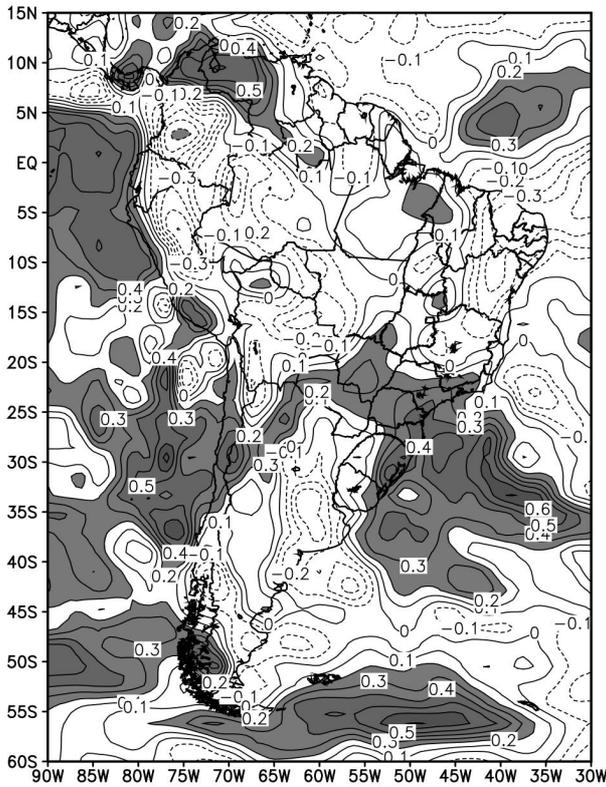
(Continua)



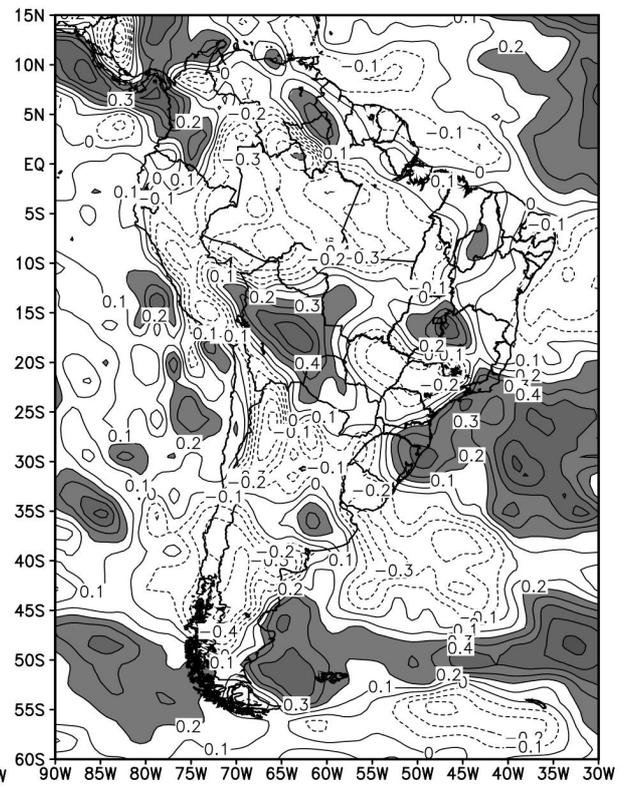
(c)



(d)

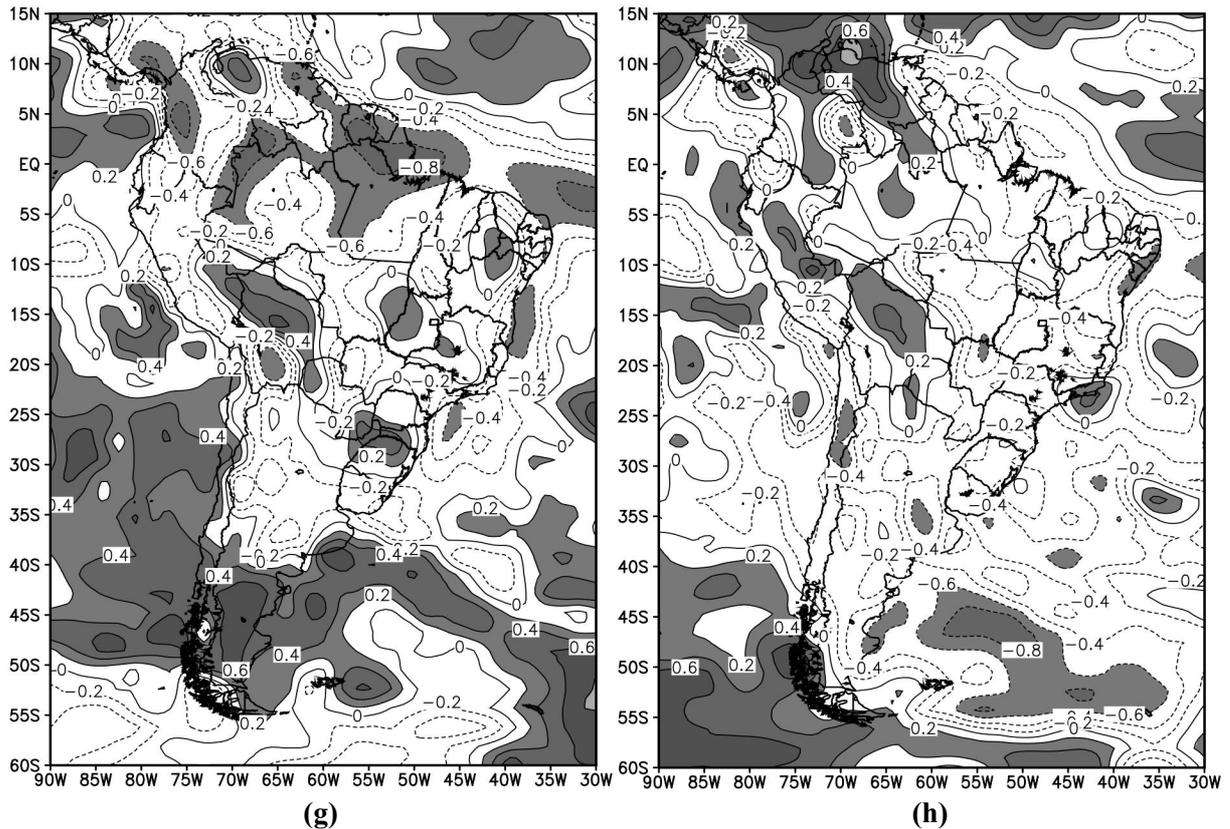


(e)



(f)

(Continua)



Fonte: Autor, 2012

Observou-se, na Figura 18a, que a ODP influenciou no comportamento da precipitação na costa leste da América do Sul e no norte a Argentina, entre 1948 e 1964. Os núcleos dos coeficientes das correlações apresentaram valores positivos que variaram entre 0,2 e 0,6, fraca e forte (Tabela 1). De acordo com a tabela do Apêndice A, os valores dos coeficientes de correlação superiores a 0,375 mostraram um nível de significância superior a 0,90, isto é, 90%. Os valores positivos dos coeficientes de correlação demonstraram uma relação direta entre o índice da ODP e a taxa de precipitação, ou seja, coeficientes de correlação positivos indicam que, com índice da ODP positivo (negativo), as anomalias da taxa de precipitação são positivas (negativas) com ODP na fase fria.

Notou-se, na mesma figura, que toda a região sul do Brasil ficou dentro do núcleo positivo. A região norte da América do Sul, porém, apresentou vários núcleos dos coeficientes de correlação negativos, separados, entre -0,2 e -0,6, mostrando um bom nível de significância (90%). Destacou-se, ainda, a heterogeneidade dos coeficientes de correlação na região Amazônica. Esse resultado demonstrou que as regiões leste e oeste da Amazônia apresentaram comportamentos, características e regimes de precipitações diferentes entre si

durante a fase fria da ODP.

Na Figura 18b, observou-se um grande núcleo positivo na região central da América do Sul. Tais núcleos foram positivos e apresentaram valores entre 0,3 e 0,7, indicando um grau de associação, entre fraco e forte. Como os coeficientes de correlação foram positivos, a OMA apresentou uma relação direta com a taxa de precipitação. Ou seja, com índice da OMA positivo na fase fria da ODP, a precipitação tendeu a aumentar sobre a região. Nota-se que a área de correlação positiva se estendeu para SE sobre o oceano Atlântico. Aparentemente, fase fria da ODP e fase quente da OMA, intensificam a Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS).

Viu-se que a costa leste do Nordeste Brasileiro apresentou valores negativos de correlação entre -0,3 e -0,6, associação entre fraca e forte. Os valores negativos demonstraram a redução da chuva nessa localidade com o índice positivo da OMA. Em princípio, o Atlântico estando com anomalias de TSM positivas deveria chover mais no NEB. Uma inspeção dessa figura sugere que a ZCIT se tornou mais intensa e posicionada mais a nordeste, sobre o Atlântico. Com o aumento da convecção no centro da América do Sul e na ZCIT, o ramo descendente da Célula de Hadley-Walker pode se tornar mais intenso e a subsidência reduzido a chuva.

Entre 1964 e 1976, Figura 18c, notou-se que a ODP apresentou coeficientes de correlação fraca com a precipitação sobre a América do Sul. Porém, a região entre os estados de São Paulo e do Mato Grosso, região da ZCAS, foi uma exceção, pois apresentou coeficientes de correlação significativos estatisticamente, entre fraco e moderado.

Na Figura 18d, correlação entre a OMA e a taxa de precipitação para o mesmo período, notaram-se vários núcleos dos coeficientes de correlação separados sobre toda a América do Sul. A região norte do Brasil apresentou uma maior homogeneidade se comparada com o período anterior. O que mais chamou a atenção foram os altos valores dos coeficientes de correlação negativos que ficaram entre -0,4 e -0,8, demonstrando que, nesse período, a OMA teve grande influência no regime de precipitação. Isto é, durante a fase fria da ODP, as anomalias de TSM positivas (negativas) no Atlântico estiveram associadas à redução de precipitação, possivelmente pela razão semelhante à citada anteriormente, ou seja, ZCIT mais ao norte, porém agora deslocada para oeste, e subsidência intensificada sobre o continente.

Núcleos positivos foram encontrados na Região Sudeste.

Na Figura 18e, observou-se que as regiões Sul e Sudeste do Brasil apresentaram coeficientes de correlação significativos, acima de 90%, de fraco e moderado. Os valores foram positivos entre 0,2 e 0,6 indicando uma associação direta entre a precipitação e a ODP. Como o índice foi positivo nesse período, a convecção na ZCAS deve ter se intensificado e produzido mais chuva. Uma possível explicação é que a tropopausa atinge maiores altitudes com o Pacífico quente, a convecção se desenvolve mais profundamente e, conseqüentemente, chove mais. Porém, notou-se que esse núcleo está deslocado para o sul com relação à Figura 18c. Nesse período, registraram-se eventos El Niño fortes e frequentes, que aumentaram a subsidência sobre a Amazônia e bloquearam a AB e a ZCAS mais ao sul. As outras regiões do Brasil não apresentaram coeficientes de correlação satisfatórios. No entanto, um núcleo sobre a Venezuela e parte da Colômbia merece destaque, pois, apresentou elevada correlação (entre 0,4 e 0,8).

Na Figura 18f, observaram-se dois núcleos de correlação distintos. Um sobre a Bolívia, que apresentou coeficientes de correlação de alta significância entre 0,3 e 0,6. Esse núcleo pode estar associado com a Alta da Bolívia. E outro no noroeste de Minas Gerais, que apresentou valores entre 0,2 e 0,6, correlação entre fraca e moderada, porém, com grau de significância superior a 95%. Também foram observadas correlações significativas na costa leste das regiões Sul e Sudeste do Brasil, sugerindo que sistemas frontais tenham sido bloqueados nessas latitudes e a convergência do fluxo de umidade proveniente do oceano tenha se intensificado.

Na Figura 18g, período entre 1995 e 2006, foram vistos núcleos de correlação espalhados sobre todo o continente Sul-americano. No norte da América do Sul, região dos estados do Pará e Amapá e dos países Guiana, Guiana Francesa e Suriname, foi observado um núcleo entre -0,6 e -0,8. Esse núcleo apresentou um enorme grau de associação inversa (de forte a muito forte) entre a ODP e a precipitação na região, mostrando que houve a redução de precipitação, uma vez que a ODP apresentou valores positivos.

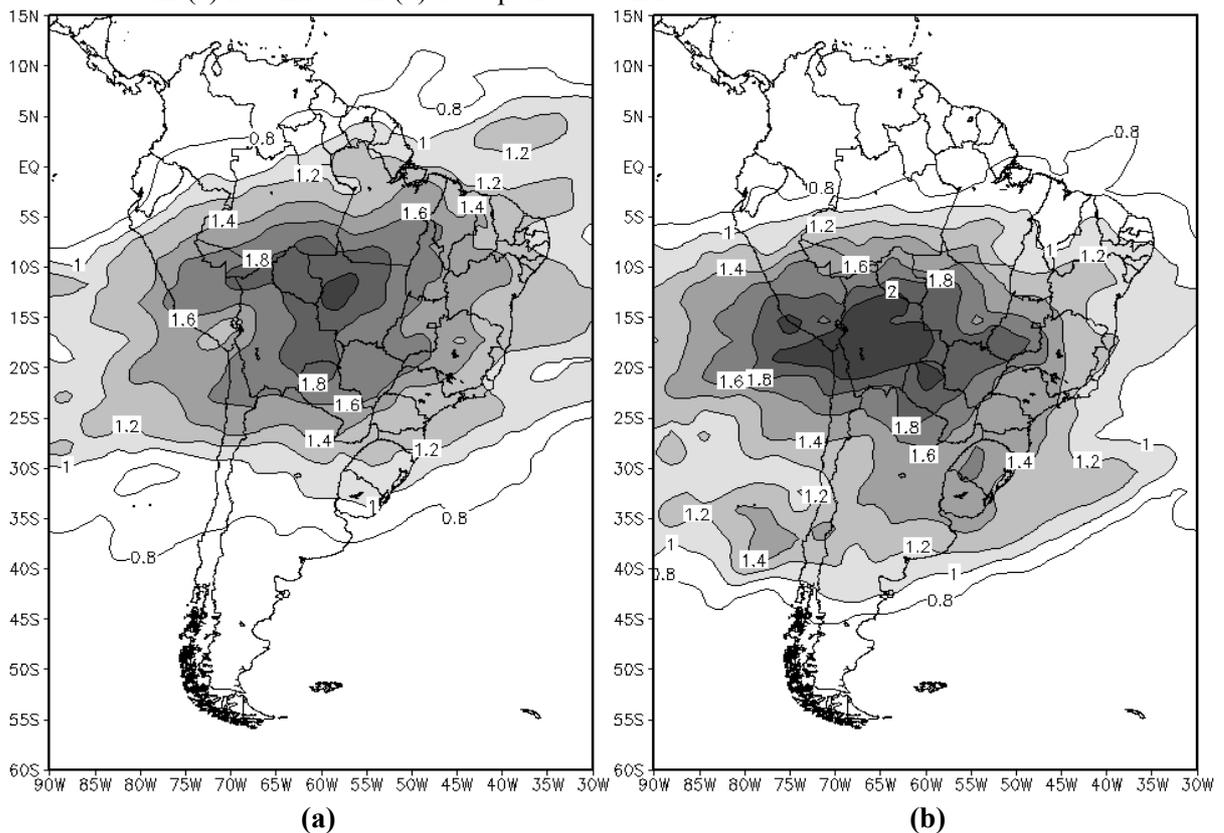
Convém lembrar que, nesse período, ocorreram eventos de El Niño fortes (1997/1998; 2003) e as águas do Pacífico Equatorial permaneceram mais aquecidas, em média. Isso sugere que o ramo subsidente da Célula de Walker tenha se intensificado ao norte da América do Sul, bloqueando a ZCIT no Atlântico Norte que apresentou anomalias

positivas de TSM. Portanto, isso demonstra que nem sempre o Atlântico Norte aquecido reduz os anos chuvosos para essa região. Já, no extremo sul do continente, observou-se um núcleo significativo entre 0,4 e 0,6, associação direta, portanto aumento da precipitação. Entretanto, na Figura 18h, não foram observados núcleos significativos de correlação.

4.7 Análises das Funções Ortogonais Empíricas (Taxa de Precipitação)

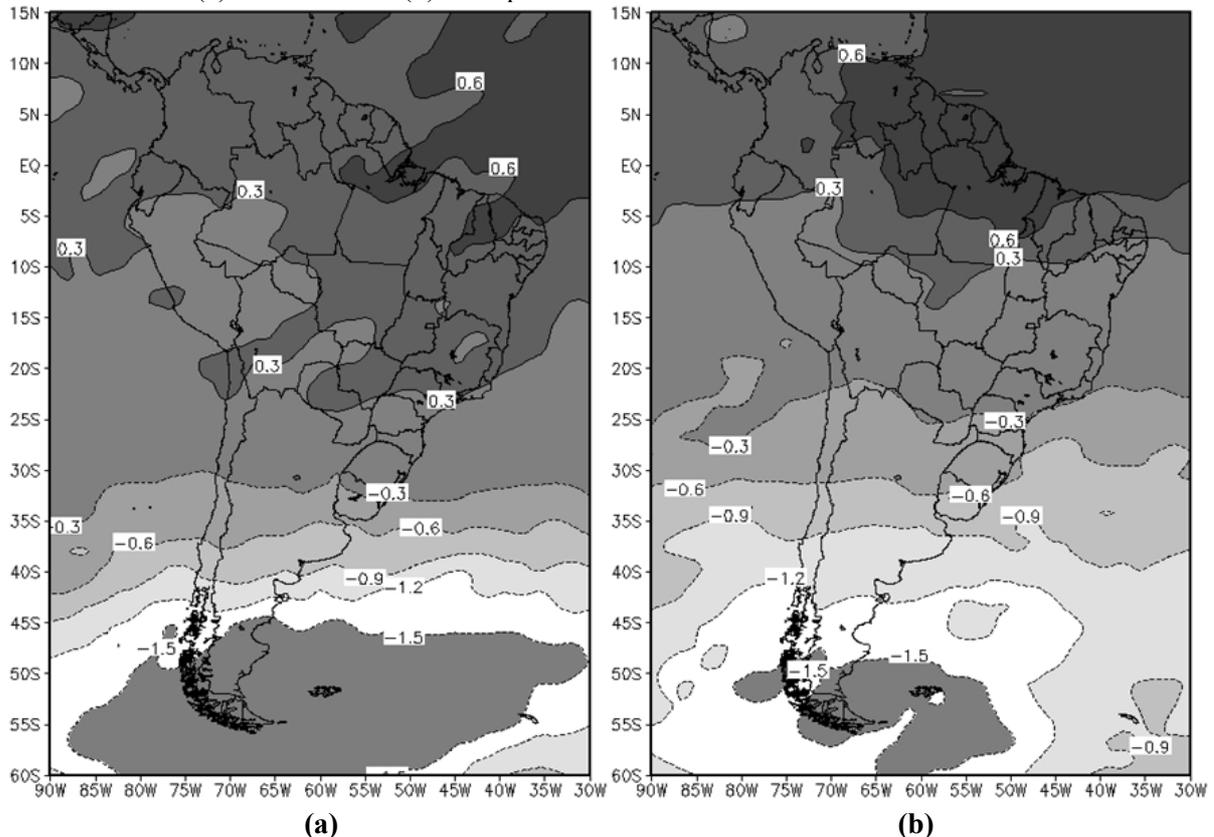
Nas Figuras 19 e 20, foram mostradas os mapas das duas primeiras componentes das funções ortogonais empíricas (FOE) para a taxa de precipitação, respectivamente, primeira e segunda componentes para as fases da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), em (a) fase fria (1948 a 1976) e em (b) fase quente (1976 a 1998) da ODP.

Figura 19- Primeira componente das funções ortogonais empíricas (FOE) para a taxa de precipitação, em (a) fase fria e em (b) fase quente da ODP.



Fonte: Autor, 2012

Figura 20- Segunda componente das funções ortogonais empíricas (FOE) para a taxa de precipitação, em (a) fase fria e em (b) fase quente da ODP.



Fonte: Autor, 2012

Tabela 4- Valores das variâncias para as duas primeiras componentes da taxa de precipitação para as fases da ODP.

Componente	Variância (%) (Fase Fria)	Variância (%) (Fase Quente)
Primeira	16	16
Segunda	12	13

Fonte: Autor, 2012

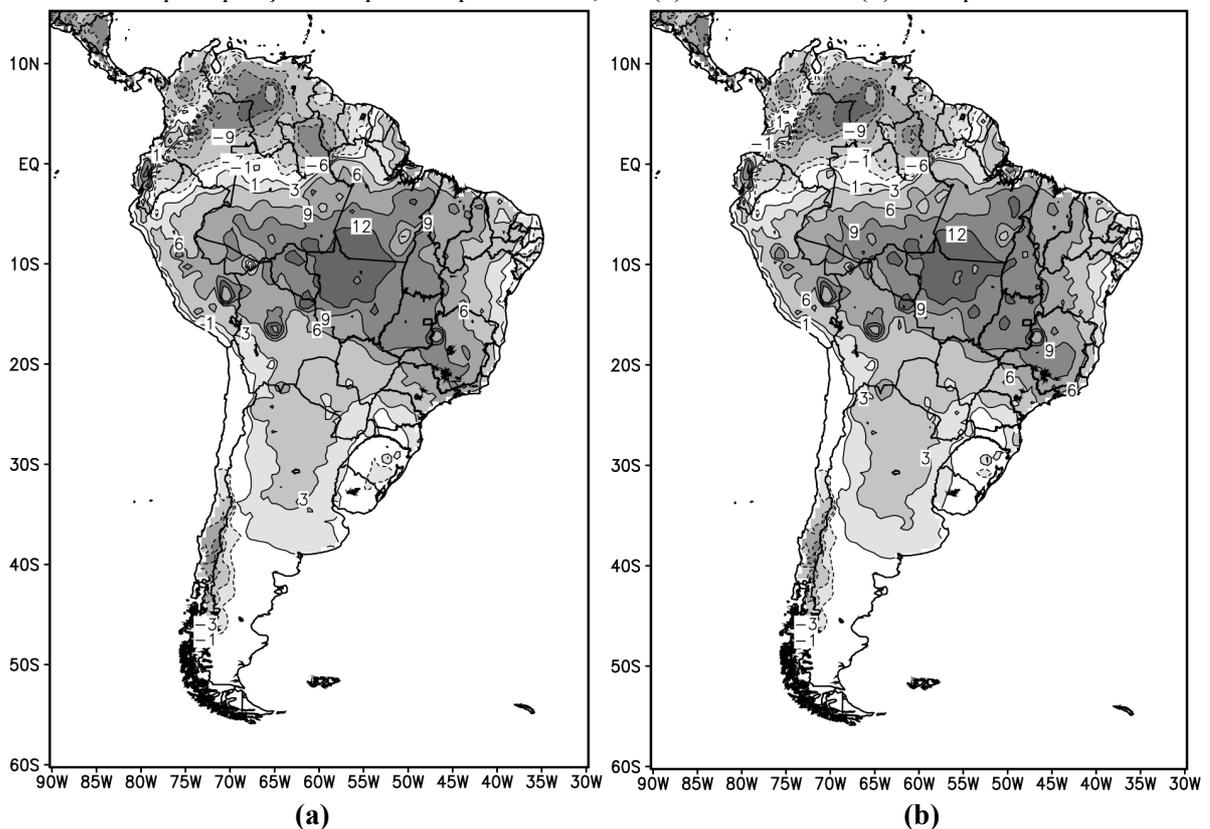
Observou-se, na primeira componente (Figura 19), um núcleo padrão sobre a América do Sul. Notaram-se que os valores dos núcleos foram praticamente os mesmos e que a única diferença entre as fases fria (Figura 19a) e a fase quente (Figura 19b) foi o deslocamento do núcleo para sudoeste. Essa configuração das funções ortogonais empíricas (FOE) mostrou um padrão associado à configuração média da Alta da Bolívia (AB). Ficou evidente que durante a fase fria da ODP, a AB tende a ficar, em média, posicionada sobre o Mato Grosso. Durante a fase quente, entretanto, o núcleo central, com valores superiores a 2, ocupa uma área maior, indicando, possivelmente, um pequeno aumento na precipitação, tanto em área como em seu total. Nessa mesma fase, o núcleo se estendeu para o sudeste, sugerindo que o posicionamento da ZCAS esteve mais ao sul quando comparado com a fase fria.

Na Figura 20, notou-se que o padrão foi estabelecido pelos fenômenos de grande escala. Durante a fase fria (Figura 20a), observou-se que a região norte da América do Sul sofreu menos influência dos fenômenos de grande escala, o que, provavelmente, pode estar relacionado com a posição mais ao norte da ZCIT. Mais ao sul, observou-se que houve uma maior atuação dos sistemas frontais sobre a região. Durante a fase quente da ODP (Figura 20b), observou-se o contrário da fase fria para ambas as regiões.

4.8 Análises das Funções Ortogonais Empíricas (Precipitação UDEL)

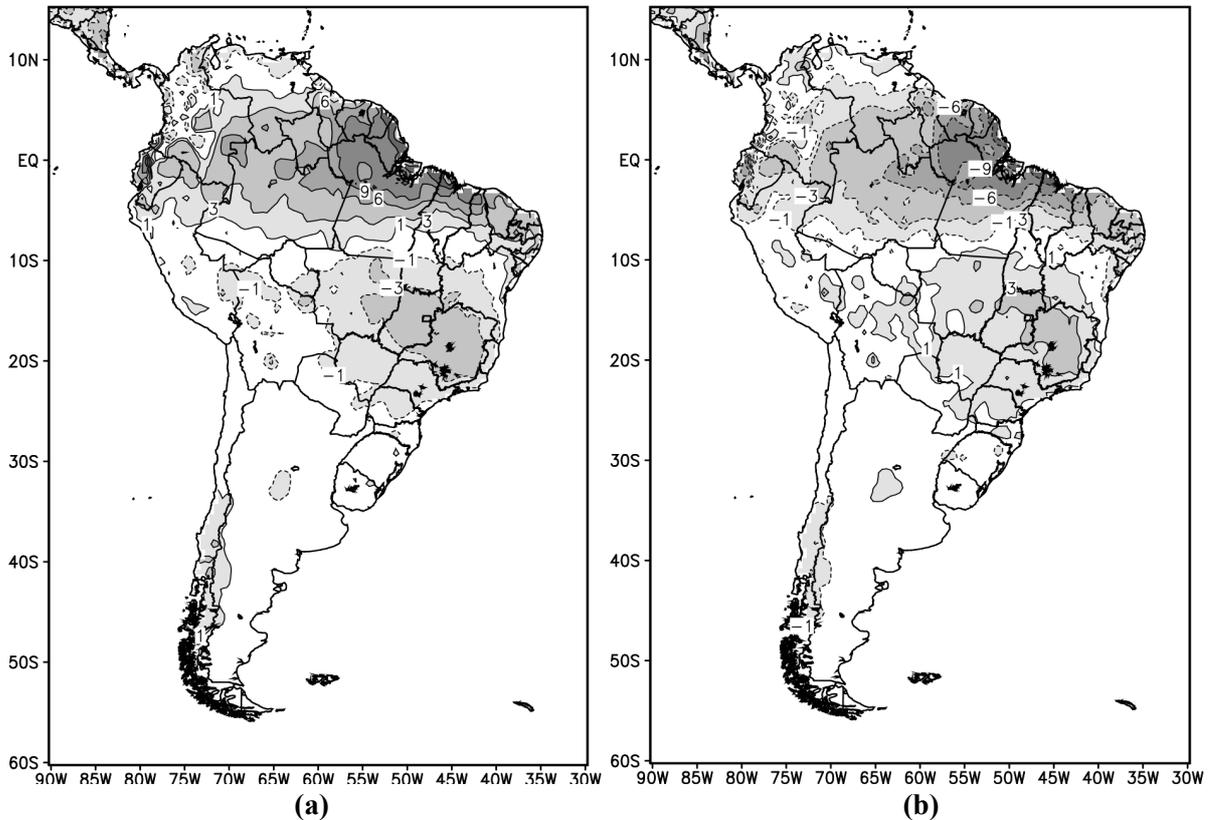
Nas Figuras 21 e 22, foram mostradas os mapas das duas primeiras componentes das funções ortogonais empíricas (FOE) para os dados de precipitação compilados pela UDEL, respectivamente, primeira e segunda componentes para as fases da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), em (a) fase fria (1948 a 1976) e em (b) fase quente (1976 a 1998) da ODP.

Figura 21- Primeira componente das funções ortogonais empíricas (FOE) para os dados de precipitação compilados pela UDEL, em (a) fase fria e em (b) fase quente da ODP.



Fonte: Autor, 2012

Figura 22- Segunda componente das funções ortogonais empíricas (FOE) para os dados de precipitação compilados pela UDEL, em (a) fase fria e em (b) fase quente da ODP.



Fonte: Autor, 2012

Tabela 5- Valores das variâncias para as duas primeiras componentes dos dados de precipitação da UDEL para as fases da ODP.

Componente	Variância (%) (Fase Fria)	Variância (%) (Fase Quente)
Primeira	47	48
Segunda	13	12

Fonte: Autor, 2012

Na Figura 21, primeira componente para os dados de precipitação compilados pela UDEL, notou-se que não houve, praticamente, nenhuma diferença entre as fases da ODP. Observou-se, apenas, um deslocamento dos núcleos para o nordeste do Pará e centro de Minas Gerais na fase quente com relação à fase fria. O núcleo situado no centro da América do Sul apresentou sinal positivo, sugerindo associação direta entre a precipitação e o índice da ODP, ou seja, chove mais (menos) com o Pacífico quente (frio).

Esse núcleo, presente nas duas fases, indica que o mecanismo físico principal promotor de precipitação é o mesmo, a convecção decorrente do aquecimento continental durante o verão (mecanismo termodinâmico), associada à divergência nos níveis superiores

(Alta da Bolívia). Observou-se, ainda, um padrão na direção noroeste-sudeste entre os estados do Amazonas e Rio de Janeiro. Esse padrão é típico do posicionamento de sistemas frontais semi-estacionários (mecanismo dinâmico). Uma vez estabelecida, a Alta da Bolívia “ancora” os sistemas frontais, resultando numa região de convergência do fluxo de umidade temporária, denominada Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS). Mais ao norte, região da Colômbia, Guianas e Venezuela, a associação foi negativa, mostrando uma relação inversa entre a precipitação e o índice da ODP, possivelmente decorrente do posicionamento da ZCIT. A variância explicada pela primeira componente foi 47% na fase fria e 49% na fase quente.

Na Figura 22, segunda componente para os dados de precipitação da UDEL, observou-se um padrão semelhante em domínio geográfico nas duas fases da ODP, porém com sinais invertidos entre a região norte e a região central da América do Sul e entre as duas fases. Na fase fria (quente), de maneira geral, os valores foram positivos (negativos) para a região norte e negativos (positivos) para a região central.

Valores positivos (negativos) da componente indicam associação direta (oposta) com os índices de ODP. Associação direta indica que a precipitação aumentou (diminuiu) quando o índice de ODP foi positivo (negativo), e vice-versa. O padrão observado pode estar relacionado com os posicionamentos da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ao norte e da ZCAS na região central e sudeste do Brasil em anos de eventos extremos de ENOS. Por exemplo, na fase quente da ODP, os eventos El Niño (índice positivo de ODP) reduziram (aumentaram) a precipitação na região norte (centro/sudeste), o oposto ocorrendo com os eventos La Niña (índice negativo de ODP). As variâncias da segunda componente explicaram 13,9% e 12,6% da variância nas fases fria e quente, respectivamente.

4.9 Discussões

Observaram-se dois picos de aproximadamente 10 e 9 anos nas duas análises das ondeletas da série das tendências que foram extraídas dos índices da ODP e da OMA, respectivamente. Na análise da tendência da OS e da OAN, além dos picos de 10 e 9 anos observaram-se picos de 6 e 17 anos. O pico de 6 anos pode está relacionado com os fenômenos ENOS. Os picos de 9, 10 e 17 anos podem estar associados à precessão da órbita lunar ou dos nodos lunares, i.e., à medida que a Lua revolve em torno da Terra, o plano de sua

órbita vai girando no espaço e completa 360° em 18,6 anos.

A Lua tem seu eixo de rotação inclinado em $5,1^\circ$ com relação ao plano da eclíptica e o da Terra é $23,5^\circ$. Quando os dois eixos apontam em direções opostas, eles fazem um ângulo de $28,6^\circ$ ($23,5^\circ + 5,1^\circ$) e a Lua, relativamente à superfície terrestre, se desloca na faixa entre $28,6^\circ$ N e $28,6^\circ$ S de latitude. Quando os eixos estão na mesma direção, a área varrida está entre $18,4^\circ$ N e $18,4^\circ$ S ($23,5^\circ - 5,1^\circ$).

Considerando que 1° de latitude é equivalente a 110 km nas regiões tropicais, vê-se que a distância percorrida no máximo lunar é cerca de 12 mil km ($4 \times 28,6^\circ \times 110$ km), enquanto, no mínimo lunar, é cerca de 8 mil km, ou seja, 4 mil km de diferença nos mesmos 28 dias do ciclo das fases da Lua amplamente conhecido. Ou seja, a velocidade relativa da Lua é muito maior no máximo do ciclo e quando a Lua atinge o máximo desse ciclo nodal, como ocorreu entre 2006-2007, sua atração gravitacional levanta a superfície do mar. Esse desnível (ou gradiente) hidráulico aumenta ligeiramente a velocidade das correntes marinhas que levam mais calor dos trópicos para os polos e aquecem os oceanos fora dos trópicos. No caso do Atlântico Norte, a corrente do Golfo transporta mais calor e aquece. No Pacífico é a corrente de Kuroshio.

Essa influência já tinha sido relatada por Maksimov e Smirnov (1965). Yendstad (2006) confirmou a existência do ciclo nodal lunar no clima do Ártico, incluindo variáveis como TSM, nível do mar e cobertura de gelo. Mas, sugeriu que outro ciclo, de 74 anos ($4 \times 18,6$ anos), possa introduzir mudanças de amplitude, ou de fase, que mascare a influência contínua do ciclo nodal lunar. Cerveny e Shaffer (2001) sugeriram que o ciclo nodal lunar seja uma das forçantes na gênese de eventos EN/LN. Quando o ciclo está no máximo, o giro (correntes marinhas sob o anticiclone) do Pacífico Sul se intensificaria, induzindo advecção de águas frias no Pacífico Equatorial e gerando os LN. Com o ciclo no mínimo, ocorreria o contrário, iniciando os EN.

Convém lembrar que a duração dos ciclos de manchas solares variou entre 10 e 12 anos no século passado, é um ciclo muito próximo ao nodal lunar, e também pode ter sua influência no aquecimento dos oceanos em latitudes temperadas e polares. Outros picos nas análises das tendências foram verificados em 25, 28 e 33 anos, possivelmente, associados a múltiplos do ciclo nodal lunar e/ou ao ciclo de manchas solares duplo (ciclo de Hale = 22

anos) ou a variação natural decadal das oscilações.

Salienta-se, ainda, que os sinais dos dois oceanos não estão em fase, isto é, existe um atraso nas mudanças das fases das duas oscilações. Por exemplo, quando a ODP iniciou sua fase fria (1943/45), a OMA, por sua vez, estava na metade de seu modo positivo. Durante a fase quente da ODP, ocorreu o mesmo processo. Porém, na primeira metade, a OMA se encontrava no modo negativo e depois virou para o positivo em 1995/96. Considerando a inércia dos oceanos, essas configurações podem vir a se repetir nos próximos anos. Entretanto, convém lembrar que fatores externos, como atividades solar e sísmica, podem modificar essas configurações.

Observou-se que a ODP e OMA tendem a agir de forma diferente em seus modos e fases sobre a América do Sul. Notou-se que o regime de precipitação varia muito em relação às fases e/ou modos das oscilações de TSM. Esse resultado ampliou e confirmou o que foi proposto por Siqueira (2010) que, para análise climática, dependendo fases da ODP, os fenômenos ENOS demonstram comportamentos diferentes. Ficou evidente que, dentro de uma fase da ODP, a configuração do modo da OMA influencia bastante na distribuição do regime de precipitação sobre a América do Sul. Por exemplo, na fase quente da ODP, o regime de precipitação apresentou mesma configuração, porém, valores de anomalias opostos. Na primeira metade, o total pluviométrico aumentou e na outra metade diminuiu.

Notou-se que existe quatro configurações de superposição entre as fases da ODP e os modos da OMA. Após a análise da precipitação em cada uma das fases, observou-se que o regime de chuva muda significativamente em parte da região norte da América do Sul. Esse resultado já era esperado, pois a OMA tende a determinar com o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e o fluxo de umidade sobre a região norte da América do Sul, principalmente sobre a costa norte do Nordeste Brasileiro.

O fato mais evidente, mostrado na superposição da ODP com a OMA, foi a variação do regime pluviométrico quando a ODP apresentou-se positiva e a OMA variou de negativa a positiva. No primeiro momento, ODP positiva e OMA negativa (fora de fase), apareceu um núcleo entre a Regiões Norte e NEB que mostrou aumento da chuva sobre a região. Quando a ODP foi positiva e a OMA positiva (em fase), a mesma região apresentou um redução nos totais pluviométricos, mostrando que a OMA é um fator controlador e

importante para o regime de chuva sobre a região.

Os coeficientes de correlações entre os índices da ODP e da OMA e a taxa de precipitação mostraram boa diferenciação entre os períodos de superposição. Observou-se que a correlação simultânea, ou seja, sem adiantamentos ou atrasos, entre os índices e a precipitação, se mostrou diferente em cada período de estudo. O exemplo mais aparente foi o do período de 1948 a 1964, em que se viu que a ODP influenciou mais as regiões costeiras e a OMA interagiu com a precipitação localizada mais ao centro do continente.

As componentes principais para as fases fria e quente da ODP mostraram dois padrões característicos da taxa de precipitação que são observados na América do Sul. A primeira componente mostrou, tanto na fase fria como na fase quente, um núcleo com seu centro localizado na região da Alta da Bolívia, indicando que o aquecimento continental no verão é o processo físico mais importante na produção de precipitação. A única diferença entre as fases foi o posicionamento do núcleo mais sudoeste na fase quente, relativo à fase fria, sugerindo que a AB tenha se posicionado mais ao sul na fase quente.

A segunda componente mostrou o padrão de relação inversa existente entre as regiões norte e sul do continente. Contudo, durante a fase fria, observou-se que a Região Norte apresentou maior interação e influência dos sistemas de grande escala. Porém, a interação menor durante a fase quente. Com relação à Região Sul, ocorreu o oposto, isto é, na fase fria houve uma menor interação, e, na fase quente, uma maior interação com os fenômenos de grande escala.

5 CONCLUSÕES

Aparentemente, o filtro Hodrick-Prescott comprovou ser uma ferramenta adequada para a análise de séries temporais de variáveis meteorológicas, separando as componentes referentes à tendência e a cíclica/aleatória das séries. Essa técnica foi aplicada às séries dos índices oceânicos da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e Oscilação Multidecadal do Atlântico (OMA), ambos baseados nas anomalias de suas TSM, como também, nas séries dos índices da Oscilação do Sul (OS) e Oscilação do Atlântico Norte (OAN) que são baseadas na pressão ao nível médio do mar (PNM). De maneira geral, os resultados confirmaram os já encontrados por outros pesquisadores, como os ciclos longos de 50-60 anos da ODP, da OS e da OAN e de 40-70 anos da OMA. Ciclos de mais alta frequência, como os associados aos eventos El Niño/La Niña de 3 a 7 anos, também foram identificados em todas as análises.

O ciclo mais notável encontrado nessas análises foi o ciclo nodal lunar de 18,6 anos, que foi notado tanto no Atlântico como no Pacífico e aparente na TSM e PNM. Esse ciclo já tinha sido proposto por Maksimov e Smirnov em 1956 e foi confirmado por Yendstad (2006). Notou-se que o Atlântico Norte começou a se aquecer a partir do mínimo nodal (1995/96), culminando com o máximo nodal em 2006/07. As águas mais aquecidas penetram no Ártico e fundem, ou afinam, parte de sua cobertura de gelo, que só se restabelece após a OMA retornar para seu modo negativo. No Pacífico, as análises sugeriram que a fase fria anterior da ODP tenha começado em 1943 e não em 1947, e que a fase quente tenha se estendido até 2006 e não terminado em 1998, como parece ser amplamente aceito.

Partindo da hipótese que as tendências de prazo longo embutidas nas séries sejam decorrentes da ação dos controladores do clima global e, portanto, cíclicas de baixa frequências, pode se utilizar a hipótese da similaridade para prognosticar, qualitativamente, o clima global. O Pacífico ocupa 35% da superfície terrestre. Por sua vez, a atmosfera é aquecida por baixo, o que vale dizer que as TSM do Pacífico tropical são um controlador climático importante. Assim, como cada fase da ODP tem a duração de cerca de 25-30 anos e a nova fase fria começou em 2006, espera-se que as TSM tropicais fiquem negativas em média durante os próximos 25-30 anos.

Na fase fria anterior, 1943-1976, os eventos El Niño foram menos frequentes, mais fracos e com duração mais curta, 6 a 10 meses, quando comparados aos eventos de sua última fase quente. As características dos eventos ENOS da fase fria anterior poderão se repetir nessas próximas décadas. Para o Brasil, espera-se um clima semelhante ao do período 1943-1976, com, por exemplo, invernos mais rigorosos e tempestades severas no sul-sudeste do País, particularmente na primavera austral. A redução dos eventos El Niño reduzirá a frequência de secas severas no Nordeste. Porém, o Centro Oeste e sul da Amazônia terão estação seca (abril-setembro) mais seca que na fase quente, com aumento da frequência de secas no baixo Amazonas entre setembro e novembro.

A OMA entrou no modo positivo partir de 1995. Isso significa que as correntes marinhas estão transportando mais calor para o Atlântico Norte e para o Ártico nos próximos 10-15 anos. O Atlântico Norte é importante controlador do clima da Europa Ocidental e espera-se uma frequência maior de invernos rigorosos, com queda de neve mais acentuada, e verões mais quentes, ou seja, um aumento da amplitude térmica no ciclo anual. No Ártico, as águas quentes deverão manter a cobertura de gelo interanual muito variável e abaixo da média do período do modo negativo, 1963-1995. Espera-se, também, que a OS e a OAN apresentem características parecidas com as da fase fria anterior.

Observou-se que as configurações da ODP e da OMA, a partir de 2006, tornaram-se iguais a do período de 1945 a 1964, ODP negativa e OMA positiva. Por similaridade, pode ser prognosticado que a OMA terá grande influência na precipitação sobre toda a região central da América do Sul Figura e 18b e que a ODP influenciará mais as regiões costeiras e sul do Brasil, como foi observado nas Figuras 18a.

REFERÊNCIAS

- AHUMADA, H., GAREGNANI, M. L. (1999), “Hodrick-Prescott Filter in Practice”, **Economica- (National-University-of-La-Plata)**; n. 45, v. 4, pages 61-76.
- BALCILAR, M. **Miscellaneous time series filters, mFilter package**. R Statistical Software, 26 p., 2009.
- DAUBECHIES, I.: **Ten Lectures on Wavelets**. SIAM, 357p, 1992.
- DIJKSTRA, A.H.; RAA, L.; SCHMEIT, M.; GERRITS, J. On the Physics of the Atlantic Multidecadal Oscillation. **Ocean Dynamics** (2006) n. 56: 36–50 f.
DOI 10.1007/s10236-005-0043-0
- DIMA, M., LOHMANN, G., 2007: A Hemispheric Mechanism for the Atlantic Multidecadal Oscillation. **J. Climate**, n. 11, v. 20, 2706-2719 f.
- DOTY, B.E. **Using the Grid Analysis Display System. Center of Ocean-Land Atmosphere Interactions**, COLA, University of Maryland, Maryland, USA, 1992.
- FOUFOULA-GEORGIU, E.; KUMAR, P.: **Wavelets in Geophysics: Wavelet analysis and its applications**. San Diego, Academic Press, 1994, 372p.
- GABOR, D.: Theory of Communication. **J.Inst.Elect.Eng.**, 93, 429-457, 1946.
- GARCIA, S. R. **Sistema de monção da América do Sul: início e fim da estação chuvosa e sua relação com a Zona de Convergência Intertropical do Atlântico**. 2010. 230 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/36STS88>>. Acesso em: 4 out. 2011. (sid.inpe.br/mtc-m18@80/2010/02.04.20.34-TDI).
- GARCIA, S. R. **Variabilidade do sistema de monção da América do Sul: relações com a oscilação decadal do pacífico**. 2006. 142 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/03.24.12.06>>. Acesso em: 4 out. 2011. (INPE-14093-TDI/1076).
- GENERIC MAPPING TOOLS**: Disponível em:<<http://gmt.soest.hawaii.edu/>>. Acesso em: 4 out. 2011.
- GNU OCTAVE: Disponível em: <<http://www.gnu.org/software/octave/>>. Acesso em: 4 out. 2011.
- GROSSMAN, A; MORLET, J. 1984. Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. **Society for Industrial and Applied Mathematics Journal on Mathematical Analysis**, v. 5, 732-736f.

HARE, S.R. e R.C. FRANCIS. 1995. **Climate Change and Salmon Production in the Northeast Pacific Ocean**. In: R.J. Beamish [ed.] Ocean climate and northern fish populations. Can. spec. Pub. Fish. Aquat. Sci. 121, pp. 357-372.

HODRICK, R. J. AND PRESCOTT, E.C. "**Postwar U.S. Business Cycles: an Empirical Investigation**"; mss. Pittsburgh: Carnegie-Mellon University; *Discussion Papers* 451, Northwestern University, 1980.

JOE D'ALEO, 2008. **Degelo do Ártico é cíclico e acompanha evolução da Oscilação do Atlântico**. Disponível em: <http://www.metsul.com/secoes/visualiza.php?cod_subsecao=66&cod_texto=1013>. Acessado em 26 de março de 2011.

JONES, P.D., JÓNSSON, T.; WHEELER, D. 1997: Extension to the North Atlantic Oscillation Using Early Instrumental Pressure Observations from Gibraltar and South-West Iceland. *Int. J. Climatol.* 17, 1433-1450.

KAYANO, M.T.; KOUSKY, V.E.: Tropical Circulation Variability with Emphasis on Interannual and Intraseasonal Time Scales. *Rev. Bras. Meteor.*, n.11, v. 1/2, 6-17 f., 1996.

KAYANO, M.T.; FERREIRA, N.J.; RAMIREZ, M.C.V.: Summer circulation patterns related to the upper tropospheric vortices over the tropical South Atlantic. *Meteor. Atmos. Phys.*, 64, 203-213, 1997.

KAYANO, M.T.; KOUSKY, V.E.: Intraseasonal (30-60 day) variability in the global tropics: principal modes and their evolution. *Tellus*, 51A, 373-386, 1999.

LIVEZEY, R. E.; CHEN, W. Y. **Statistical Field Significance and its Determination by Monte Carlo Techniques**. Monthly Weather Review, 111, 46-59. 1983.

LORENZ, E. N., 1956: **Empirical orthogonal functions and statistical weather prediction**. Sci. Rep. No. 1, Statistical Forecasting Project, M.I.T., Cambridge, MA, 48 pp.

MAKSIMOV I.V., SMIRNOV N.P., 1965. **A contribution to the study of causes of long-period variations in the activity of the Gulf Stream**. Oceanology 5:15-24 (versão do original russo publicado em 1956).

MANTUA, N.J.; HARE, S.R.; ZHANG Y.; WALLACE, J.M.; FRANCIS R.C. **A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production**. Bull. Amer. Meteor. Soc., v. 78, p. 1069-1079, 1997.

MO, K.C.; W. HIGGINS, 1998. **The Pacific-South American modes and tropical convection during the Southern Hemisphere winter**. M.W.R., 126, 1581-1596.

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

MOLION, L.C.B. **Aquecimento global, El Niños, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico**, Climanalise, agosto, CPTEC/INPE, 2005. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/artigos/molion0805.pdf>>. Acessado em 10 de dezembro de 2010.

MORLET, G. A.; FOURGEAU, I.; GIARD, D. Wave Propagation and Sampling Theory. Part 1: Complex Signal and Scattering in Multilayered Media. **Geophysics**, v. 47, n 2, p. 203-221, 1982 a.

MORLET, G. A.; FOURGEAU, I.; GIARD, D. Wave Propagation and Sampling Theory. Part 2: Sampling Theory and Complex Waves. **Geophysics**, v. 47, n. 2; p. 222-236, 1982b.

MÜNNICH, M. **A tool to compute Empirical Orthogonal Functions (EOFs) within GrADS.**

Disponível em: <<http://www.atmos.ucla.edu/~munnich/Grads/EOF/>>, acessado em 2 de abril de 2011.

NERY, J. T.; VARGAS, W. M.; MARTINS, M. L. O. F. Variabilidade interanual da precipitação do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.12, n.1, 49-62, 1997.

NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B.; **The climatology of droughts and drought prediction.** In: The impact of climatic variations on agriculture, Ed. M. L. Parry, T. R. Carter and N. T. Konijin, IIASA, Kluwer Academic Pub., p. 305-323, 1988.

OLIVEIRA, C. P.; MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O.; **Deslocamento Médio dos Centros das Altas Subtropicais composição: El Niño, La Niña e ZCAS.** In: SIC, 2005, FORTALEZA. SIMPOSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 2005.

OPEN SOURCE SYSTEMS, SCIENCE, SOLUTIONS:

Disponível em: <<http://ossfoundation.us/projects/environment/global-warming/north-atlantic-oscillation-nao>>. Acessado em 20 de junho de 2011.

OSBORN, T. J.; K. R. BRIFFA, S. F. TETT, P. D. JONES & R. M. TRIGO (1999). Evaluation of the North Atlantic Oscillation as simulated by a climate model. **Climate Dyn.**, n. 15, 685-702 f.

PEZZA, A. B. e T. AMBRIZZI, 2005. **Cold waves in South America and Freezing Temperatures in São Paulo: Historical background (1888-2003) and case studies of cyclones and anticyclones tracks**, Rev. Bras. Meteor 20(1), 141-158, SBMET, Rio de Janeiro, Brazil.

Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL)/NOAA:

Disponível em: <http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/nino_normal.html>. Acessado em 20 de junho de 2011.

RASMUSSEN, E. M.; CARPENTER, T. H. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/ El Niño. **Mon. Wea. Rev.**, c. 110, p. 354-384, 1982.

RASMUSSEN, E. M.; WALLACE J. M. Meteorological aspects of the El Niño/Southern Oscillation. **Science**, v. 222, p. 1195-1202, 1983.

RAWSON, H. E. **The anticyclonic belt of the northern hemisphere**. R. Meteorol. Soc. Q.J., 35 (1909), pp. 233–248, 1909.

ROPELEWSKY, C. F. e HALPERT, M. S. (1987) **Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño / Southern Oscillation (ENSO)**. Monthly Weather Review, 115: 1606-1626.

SIQUEIRA, A. H. B.; MOLION, L. C. B.; SOUZA, L. O.; VAZ, J. C. M;. **Impactos da Variabilidade Climática no Cultivo de Soja no Leste da Amazônia**. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007, Aracajú. Anais - XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2007.

SIQUEIRA, A.H.B, et al. **Impactos do ENOS no Norte e Nordeste Brasileiros e sua relação com a Oscilação Decadal Do Pacífico**, XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. Anais - XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006.

SIQUEIRA, A.H.B.; MOLION, L. C. B. **El Niño-Oscilação Sul e a Oscilação Decadal do Pacífico**. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2008, Salvador. Anais – IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2008.

SIQUEIRA, A.H.B.; MOLION, L. C. B. **O Atlântico Norte e os Climas Brasileiros**. Congresso Acadêmico da UFAL, 2008.

SIQUEIRA, Anderlan H. B. **CLIMA DA AMÉRICA DO SUL E SUA RELAÇÃO COM OS OCEANOS ADJACENTES**. Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia. Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas. 101 f. – Janeiro, 2010. Orientador: Luiz Carlos Baldicero Molion, PhD.

THE DOCUMENT FOUNDATION: Disponível em:
<<http://www.documentfoundation.org/>>. Acessado em 20 de junho de 2011.

THE R FOUNDATION FOR STATISTICAL COMPUTING: Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acessado em 20 de junho de 2011.

TRENBERTH, K. E. The Definition of El Niño. **Bull. Amer. Met. Soc.**, v. 78, n. 12, p. 271-277, 1997.

TRENBERTH, K.E. AND D.J. Shea (2006): Atlantic hurricanes and natural variability in 2005. **Geophysical Research Letters**, n. 33, L12704, doi:10.1029/2006GL026894.

VAN LOON, H. AND ROGERS, J. 1978. **The Seesaw in Winter Temperature Between Greenland and Northern Europe. Part I: General description**, Man. Wea. Rev. , 106, 296-310.

WALKER, G. T., 1924. **Correlations in Seasonal Variations of Weather IX**, Mem. Ind. Meteorol. Dept., 24, 275-332.

WALKER, G. T., 1928a: **World Weather III**. Mem. Roy. Meteor. Soc. **2**, 97–106.

WALLACE, J.M.; GUTZLER, D.S. (1981) – **Teleconnections in the Geopotential Height Field during the Northern Hemisphere Winter**. Monthly Weather Review, 109: 784-812

WENG, H.; LAU, K.M.: Wavelet, Period Doubling, and Time-Frequency Localization with Application to Organization of Convection over the Tropical Western Pacific. **J.Atmos.Sci.**, n. 51, 2523-2541 f., 1994.

WHITTAKER, E. T. 1923. **On a new method of graduation**. Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society 41: 63–75

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. Second Edition. Academic Press. 2006. 627 pp.

YNDESTAD, H., 2006. The influence of the nodal cycle on Arctic climate. **ICES Journal of Marine Science**, n. 63, 401-420 f.

APÊNDICES

APÊNDICE A - A TABELA ABAIXO MOSTRA OS VALORES DO GRAU DE SIGNIFICÂNCIA DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO COM RELAÇÃO AOS GRAUS DE LIBERDADE (ANOS).

Tabela 6- Graus de significância versus coeficientes de correlação.

Graus de Liberdade	Nível de Significância				
	0,900	0,950	0,980	0,990	1,000
2	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
3	0,904	0,920	0,950	0,980	0,990
4	0,801	0,830	0,890	0,940	0,960
5	0,713	0,760	0,830	0,890	0,920
6	0,644	0,700	0,770	0,840	0,880
7	0,588	0,650	0,730	0,800	0,840
8	0,544	0,610	0,690	0,760	0,810
9	0,508	0,570	0,650	0,730	0,780
10	0,477	0,540	0,620	0,700	0,750
11	0,451	0,514	0,592	0,671	0,719
12	0,427	0,491	0,567	0,647	0,695
13	0,408	0,471	0,546	0,604	0,652
14	0,390	0,453	0,526	0,604	0,650
15	0,375	0,437	0,509	0,585	0,630
16	0,362	0,423	0,493	0,568	0,620
17	0,350	0,410	0,478	0,552	0,599
18	0,339	0,398	0,465	0,538	0,584
19	0,329	0,387	0,453	0,524	0,570
20	0,319	0,377	0,441	0,512	0,557
21	0,310	0,367	0,431	0,500	0,545
22	0,302	0,358	0,421	0,489	0,533
23	0,295	0,350	0,411	0,479	0,522
24	0,289	0,343	0,403	0,469	0,512
25	0,282	0,336	0,395	0,460	0,503
26	0,276	0,329	0,387	0,451	0,493
27	0,270	0,322	0,380	0,443	0,485
28	0,265	0,316	0,373	0,436	0,476
29	0,260	0,311	0,366	0,428	0,469
30	0,255	0,305	0,360	0,421	0,461
31	0,250	0,300	0,354	0,415	0,454
32	0,246	0,295	0,349	0,408	0,447
33	0,242	0,291	0,343	0,402	0,441
34	0,238	0,286	0,338	0,369	0,434
35	0,235	0,282	0,333	0,391	0,440

Fonte: Autor, 2012.