

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS
ATMOSFÉRICAS**

ALEXANDRE TOMO TIQUE

**Análise da Climatologia Dinâmica da Variabilidade da
Precipitação na Região Sudeste da África**

**São Paulo
2015**

ALEXANDRE TOMO TIQUE

**Análise da Climatologia Dinâmica da Variabilidade da
Precipitação na Região Sudeste da África**

Dissertação apresentada ao Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Meteorologia

Orientador: Prof. Dr. Tércio Ambrizzi

Versão corrigida. A original encontra-se disponível na Unidade

São Paulo

2015

À minha família:

Cláudia, Hamilton, Gustavo e Ercília Mitresse

AGRADECIMENTOS

Endereço e deixo registrado o meu sincero agradecimento pelo apoio prestado de forma direta ou indireta por algumas pessoas e instituições/organizações, são ele(a)s:

- Prof. Dr. Tércio Ambrizzi pela orientação científica, confiança depositada em mim, ensinamentos, paciência e bom ambiente de convívio por ele criado em todas as etapas da pesquisa. Não só, mas também como Docente e pelas recomendações valiosas por ele deixadas;
- Aos meus Pais Tomo Tique, Mitresse Chiria e Alberto Bombe; meus irmãos Fungai Tique e Rosa Tique e meu sobrinho Bito da Silva Manuel Sixpence, pela força e apoio prestado durante a minha vida social e acadêmica;
- Prof. Dr. Adilson Gandu, pelo apoio prestado durante a viagem ao Brasil e como Docente.
- Aos Profs. Drs. Ricardo de Camargo, Maria Assunção, Rita Yuri, Carlos Raupp e Rosmeri da Rocha, que ministraram as disciplinas que serviram de suporte para realização da pesquisa:
- À equipe do Grupo de estudos Climáticos da USP (Grec-USP) e colegas da USP pelo apoio e assistência prestados durante todas as fases do trabalho, valiosas discussões científicas, particularmente ao Cristiano Prestrelo, Lívia Dutra, Luana Pampuch, Gláuber Camponogara, Carol Nóbile, Francisco Júnior;
- À equipe do Laboratório Master-IAG, especialmente ao Jean Peres e Bruno Biazeto, pelo apoio técnico prestado;
- Ao meu grande amigo e irmão Mario Gavidia, pela amizade, convívio e apoio por ele prestado durante os passos iniciais em linguagens de programação;
- Aos colegas e amigos: Ana Maria Nunes, Franciane Rodrigues, Marcos Leitão, Natália Crespo, José Neto Filho, Carolina Gramcianinov, Caio Ruman, Atenágoras Silva, Elisa Glitzenhim, Kátia Mendes, Sergio Mendez, Cristina Davila, Eleazar Chuchon, Juan Bazo, Sergio Espinosa pela amizade e colaboração diversificada durante a realização do presente trabalho ;

- Aos amigos Moçambicanos, estudantes e ex-estudantes na USP: Anibal Michimbane, Cristos Madeira, Milton Correia, Temóteo Daca, Joaquim Maloa, Tomé Bambo, Carlos Alfândega, Sara Tajú , Salvador Manjate, Aniceto Macie, Lúcia Nhambe, Aida Binze, Laura Mahanjane, Emanuel Meque, Manuel Talacuece, Manuela Floriana, Alberto Macamo, Izidine Pinto, Emília Sandrinho, Odete Macie, Bionídio Banze e Alberto Afonso, pela amizade e encorajamento;
- Aos amigos Jothiganesh Shanmugasundaram e Govindarajan Srinivasan, mesmo distante, sempre mostraram disponibilidade para fazer sugestões em torno do trabalho;
- Ao Pessoal da secretaria do IAG-USP e Pós-graduação em Meteorologia, assim como setor de Informática pelo apoio e bom atendimento que sempre mantiveram;
- À Diretoria do Instituto Nacional de Meteorologia-INAM (Moçambique), especificamente ao Ex-Diretor Nacional Moisés Benessene, o Ex-Director Nacional Adjunto João Manhique, Delegado Provincial do INAM-Manica Achado Paiva, pela liberação da minha licença, assim como ao Ex-Inspector do INAM Domingos Mosquito pela recomendação por ele feita para o ingresso ao mestrado;
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq, pelo suporte financeiro durante a pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	XIV
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XV
LISTA DE SÍMBOLOS	XVII
RESUMO	XVIII
ABSTRACT	XX
1. INTRODUÇÃO	22
1.1. Descrição da área de estudo	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1. Sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Tropical	27
2.2. Padrões de TSM nos oceanos Índico, Atlântico Sul e Pacífico Tropical 29	
2.2.1. Dipolo do oceano Índico Tropical	30
2.2.2. Dipolo do oceano Índico Subtropical	32
2.2.3. El Niño-Oscilação Sul (ENOS)	34
2.2.4. Oceano Atlântico Sul	37
3. DADOS E METODOLOGIA	39
3.1. Dados de precipitação	39
3.2. Dados de TSM	39
3.3. Dados de circulação e umidade	40
3.4. Filtragem	40
3.5. Componentes Principais (CP)	42
3.6. Correlação	46

3.7. Composições.....	47
3.7.1. Fluxo de umidade integrado verticalmente	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1. Climatologia da precipitação no período de outubro a março.....	49
4.1. Análise de Componentes Principais	52
4.2. Análise de Correlação	65
4.2.1. Região Sudoeste do oceano Índico (SWOI).....	65
4.2.2. Região oeste do oceano Índico Tropical (WOIT).....	68
4.2.3. Região do oceano Atlântico Tropical Sul (ATS).....	70
4.2.4. Região do oceano Pacífico Tropical (Região Niño 3.4)	72
4.3. Análise de Composições.....	75
4.3.1. La Niña.....	76
4.3.2. Fase positiva do Dipolo do oceano Índico Subtropical.....	85
4.3.3. El Niño	91
4.3.4. Fase negativa do dipolo do oceano Índico subtropical	98
5. SUMÁRIO E CONCLUSÕES	104
5.1. Sugestões para trabalhos futuros	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
APÊNDICES	116
ANEXO	118

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Área de estudo: (a) Região SEA e limites de Moçambique, sendo a norte: Tanzania; Noroeste: Malawi e Zâmbia; Oeste: Zimbábue, África do Sul e Suazilândia e Leste: oceano Índico (Canal de Moçambique); (b) Mapa de Moçambique dividido por Províncias.25
- Figura 2:** Fluxos predominantes próximos em superfície e zonas de convergência sobre a região SA/SEA; A letra “L” (**LOW em Inglês**) representa o centro de baixa pressão, neste caso, sobre a região da Angola e Congo que se forma no período úmido (Fonte: Torrance, 1972).....28
- Figura 3:** Ilustração esquemática da fase positiva do DOIT; a cor vermelha indica regiões com anomalias positivas de TSM e cor azul, regiões com anomalias negativas e de branco para região de aumento de atividade convectiva.31
- Figura 4:** Ilustração das regiões WOIT e SEOIT usadas para determinação do índice DMI segundo Saji et al.(1999).32
- Figura 5:** Padrão espacial de anomalias de TSM na fase positiva do DOIS, anomalias positivas a sul e sudeste de Madagascar e negativas na região noroeste da Austrália sobre o oceano Índico (Fonte: Behera e Yamagata, 2001)33
- Figura 6:** Ilustração das regiões SWOI (55°-65°E e 37°-27°S) e LEOI (90°-100°E e 28°-18°S) usadas para determinação do índice SDI segundo Behera e Yamagata (2001).34
- Figura 7:** Representação esquemática da circulação de Walker sobre o equador na fase positiva do ENOS-La Niña (superior) e fase negativa, El Niño (inferior), segundo Webster e Chang (1988).35
- Figura 8:** Representação esquemática de regiões do continente Africano (LEA e SEA), onde o ENSO apresenta influência sobre a precipitação. (Adaptado de: Ropelewski e Halpert,1987).36
- Figura 9:** Ilustração esquemática de quatro (4) regiões oceânicas sobre as quais é feita a correlação entre anomalias de TSM e precipitação: duas regiões sobre o

oceano Índico (WOIT e SWOI); uma sobre o oceano Atlântico Tropical Sul (ATS) e uma sobre o oceano Pacífico Tropical (Niño 3.4).....46

Figura 10: Climatologia da precipitação (mm) no período de outubro a março (1981-2010), a partir de dados de cidades capitais-região norte de Moçambique, com exceção de Panda e Montepuez; (a) Lichinga (Niassa); (b) Pemba (Cabo Delgado); (c) Montepuez (Cabo Delgado); (d) Nampula (Nampula); O nome entre parênteses indica o nome da Província.50

Figura 11: Idem a Figura 10, mas para a região centro; (a) Tete (Tete); (b) Quelimane (Zambézia); (c) Chimoio (Manica); (d) Beira (Sofala). O nome entre parênteses indica nome da Província.51

Figura 12: Idem a Figura 10, mas para a região sul; (a) Maputo (Maputo); (b) Xai-Xai (Gaza); (c) Inhambane (Inhambane); (d) Panda (Inhamabane). O nome entre parênteses indica nome da Província.51

Figura 13: (a) Padrão espacial do primeiro modo rotacionado; (b) primeiro modo não rotacionado; (c) série temporal do primeiro modo rotacionado, período ONDJFM e (d) Série temporal de ONI (Oceanic Niño Index) para o período de 1996-2012 (mensais).....55

Figura 14: Idem a Figura 13, mas para o período DJF.....56

Figura 15: (a) Modo PC1 obtido por Jonowiak (1987), no estudo da variação interanual da precipitação em África, nos meses de dezembro a março (DJFM) de 1927 a 1973 e (b) Modo PC1 obtido por Rocha e Simmonds (1997I), no estudo da variabilidade interanual da precipitação na região SEA, usando dados mensais de precipitação de novembro a março (NDJFM), entre 1951 e 1989.....57

Figura 16: (a) Padrão espacial do segundo modo rotacionado (ONDJFM); (a) Padrão espacial do segundo modo não rotacionado (ONDJFM) e (c) série temporal do segundo modo rotacionado (ONDJFM).....59

Figura 17: Idem a Figura 16, mas para o período DJF.....60

Figura 18: (a) Modo PC1 para o mês de novembro, obtido por Washington e Todd (1999), usando dados de precipitação diária de estimativa por satélite no período de verão nas regiões SA e SWOI, no período de novembro a março. (b) Cluster 3 obtido

por Manhique et al. (2011), no estudo sobre análise da frequência interanual de sistemas sinóticos de verão, responsáveis pela ocorrência e variação da precipitação no período de janeiro a março na região SEA.61

Figura 19: (a) Zona de Convergência do Índico Sul (ZCIS), através da simulação realizada por Ninomiya (2008), por meio do modelo de circulação geral da Atmosfera, usando dados de TSM e distribuição de gelo entre 1979-2002; (b) Imagem de satélite METEOSAT - 12 de janeiro de 2013-12UTC, mostrando a banda de nebulosidade sobre a região SA.62

Figura 20: (a) Padrão espacial do terceiro modo rotacionado (ONDJFM); (a) Padrão espacial do terceiro modo não rotacionado (ONDJFM) e (c) série temporal do terceiro modo rotacionado (ONDJFM).63

Figura 21: Idem a Figura 20, mas para o período DJF.....64

Figura 22: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região SWIO no período ONDJFM e precipitação no período ONDJFM. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região SWIO no período ONDJF e precipitação no período NDJFM. Em marrom correlação positiva e rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.66

Figura 23: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região SWIO no período DJF e precipitação no período DJF. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região SWIO no período NDJ e precipitação no período DJF. Em marrom correlação positiva e em rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.67

Figura 24: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região WTIO no período ONDJFM e precipitação no período ONDJFM. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região WTIO no período ONDJF e precipitação no período NDJFM. Em marrom correlação positiva e em rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.68

Figura 25: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região WTIO no período DJF e precipitação no período DJF. (b) Padrão de correlação defasada entre

anomalias de TSM na região WTIO no período NDJ e precipitação no período DJF. Em marrom correlação positiva e em rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.69

Figura 26: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região TAS no período ONDJFM e precipitação no período ONDJFM. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região TAS no período ONDJF e precipitação no período NDJFM. Em marrom correlação positiva e em rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.70

Figura 27: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região TAS no período DJF e precipitação no período DJF. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região TAS no período NDJ e precipitação no período DJF. Em marrom correlação positiva e em rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.71

Figura 28: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região Niño 3.4 no período ONDJFM e precipitação no período ONDJFM. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região Niño 3.4 no período ONDJF e precipitação no período NDJFM. Em marrom correlação positiva e em rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.72

Figura 29: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região Niño 3.4 no período DJF e precipitação no período DJF. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região Niño 3.4 no período NDJ e precipitação no período DJF. Em marrom correlação positiva e em rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.73

Figura 30: Composição de anomalias de TSM (°C) em anos de La Niña no período NDJF para os anos (a) 1998/99; (b) 1999/00; (c) 2000/01; (d) 2005/06; (e) 2007/08.77

Figura 31: Composição de anomalias de pressão (hPa) em anos de La Niña no período NDJF para os anos. (a) 1998/99; (b) 1999/00; (c) 2000/01; (d) 2005/06; (e) 2007/08.79

- Figura 32:** Composição de anomalia do vetor fluxo de umidade ($\text{Kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) e divergência de umidade (mm.dia^{-1}), integrado verticalmente na camada 1000-500hPa, em anos de La Niña no período NDJF para os anos. (a) 1998/99; (b) 1999/00; (c) 2000/01; (d) 2005/06; (e) 2007/08.....81
- Figura 33.** Composição de anomalias de precipitação (mm) em anos de La Niña no período NDJF para os anos. (a) 1998/99; (b) 1999/00; (c) 2000/01; (d) 2005/06; (e) 2007/08.84
- Figura 34:** Composição de anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) em anos de ocorrência do DOIS no período DJF para os anos (a) 1996/97; (b) 1998/99; (c) 2004/05.86
- Figura 35:** Composição de anomalias de pressão (hPa) em anos da fase positiva do DOIS no período DJF para os anos. (a) 1996/97; (b) 1998/99; (c) 2004/05.....87
- Figura 36:** Composição de anomalias do vetor fluxo de umidade ($\text{Kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) e divergência de umidade (mm.dia^{-1}), integrado verticalmente na camada de 1000-500hPa em anos da fase positiva do DOIS no período DJF para os anos. (a) 1996/97; (b) 1998/99; (c) 2004/05.....88
- Figura 37:** Composição de anomalias de precipitação (mm) em anos da fase positiva do DOIS no período DJF para os anos. (a) 1996/97; (b) 1998/99; (c) 2004/05.....90
- Figura 38:** Composição de anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) em anos de El Niño no período (NDJF) para os anos (a) 1997/98; (b) 2002/03; (c) 2004/05; (d) 2006/07; (e) 2009/10.92
- Figura 39:** Composição de anomalias de pressão (hPa) em anos de El Niño no período NDJF para os anos (a) 1997/98; (b) 2002/03; (c) 2004/05; (d) 2006/07; (e) 2009/10.93
- Figura 40:** Composição de anomalia do vetor fluxo de umidade ($\text{Kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) e divergência de umidade (mm.dia^{-1}), integrado verticalmente na camada de 1000-500hPa em anos de El Niño no período NDJF para os anos: (a) 1997/98; (b) 2002/03; (c) 2004/05; (d) 2006/07; (e) 2009/10.....95
- Figura 41:** Composição de anomalias de precipitação (mm) em anos de El Niño no período NDJF para os anos: (a) 1997/98; (b) 2002/03; (c) 2004/05; (d) 2006/07; (e) 2009/10.97

- Figura 42:** Composição de anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) em anos de DOIS (fase negativa) para os anos: (a) 1997/98; (b) 1999/00; (c) 2002/03.99
- Figura 43:** Composição de anomalias de pressão (hPa) em anos de DOIS (fase negativa) no período DJF para os anos: (a) 1997/98; (b) 1999/00; (c) 2002/03. 100
- Figura 44:** Composição de anomalia do vetor fluxo de umidade ($\text{Kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) e divergência de umidade (mm.dia^{-1}), integrado verticalmente na camada de 1000-500hPa em anos de DOIS (fase negativa) no período DJF para os anos: (a) 1997/98; (b) 1999/00; (c) 2002/03. 101
- Figura 45:** Composição de anomalias de precipitação (mm) em anos de DOIS (fase negativa) no período DJF para os anos: (a) 1997/98; (b) 1999/00; (c) 2002/03. 102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Decomposição S-mode PCA (Adaptada de Richman, 1986).....	44
Tabela 2: Variância explicada por cada modo para os períodos ONDJFM e DJF, rotacionado e não rotacionado, dada em porcentagem (%), para os 19 primeiros modos.	53
Tabela 3: Eventos de ENOS segundo CPC/NOAA	75
Tabela 4: Eventos de DOIS (fases positiva e negativa) segundo Behera e Yamagata (2001) e Marioka et al.(2010)	75

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACP	-	Análise de Componentes Principais
ATS	-	Atlântico Tropical Sul
ASI	-	Anticiclone Subtropical do Índico
CP	-	Componente Principal
CPC	-	Climate Prediction Center
CDO	-	Climate Data Operators
DOIS	-	Dipolo do oceano Índico Subtropical
DOIT	-	Dipolo do oceano Índico Tropical
DJF	-	Dezembro, janeiro e fevereiro
DMI	-	Dipole Mode Index
ECMWF	-	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ENOS	-	El Niño-Oscilação Sul
EOF	-	Empirical Orthogonal Function
EOI	-	Leste do oceano Índico
FIG.	-	Figura
GPCC	-	Global Precipitation Climatology Centre
GPCP	-	Global Precipitation Climatology Project
INAM	-	Instituto Nacional de Meteorologia
IOS	-	Índice de Oscilação Sul
LEA	-	Leste Equatorial da África
NDJ	-	Novembro, dezembro e janeiro
NDJFM	-	Novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março

NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
ONI	- Oceanic Niño Index
ONDJF	- Outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro
ONDJFM	- Outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março
SA	- Sul da África
SDI	- Subtropical Dipole Index
SEA	- Sudeste da África
SEOIT	- Sudeste do oceano Índico Tropical
SWOI/SWIO	- Sudoeste do oceano Índico
TSM	- Temperatura da superfície do mar
TTTs	- Tropical Temperate Troughs
WOIT/WTIO	- Oeste do oceano Índico Tropical
WCRP	- World Climate Research Programme
ZCIS	- Zona de Convergência do Índico Sul
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical
MAE	- Ministério da Administração Estatal

LISTA DE SÍMBOLOS

°	-	Grau
°C	-	Grau Celsius
N	-	Norte
S	-	Sul
E	-	Leste
W	-	Oeste
mm	-	Milímetro
m	-	Metro
Kg	-	Kilograma
%	-	Porcentagem
s	-	Segundo

RESUMO

TIQUE, A. T. **Análise da Climatologia Dinâmica da Variabilidade da Precipitação na Região Sudeste da África**. 2015. 119 p., Dissertação - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Com o objetivo de analisar a variabilidade da precipitação interanual na região Sudeste da África (SEA), especificamente em Moçambique durante a estação chuvosa (outubro a março), assim como os sistemas meteorológicos dinâmicos associados, foram usadas técnicas estatísticas de análise de dados: Análise de Componentes Principais (ACP), com rotação e sem rotação, filtragem (filtro passa baixa) sobre dados de precipitação diária do Global Precipitation Climatology Project (GPCP) no período de 1996 a 2012. Foram identificados três modos de variabilidade interanual, sendo que o primeiro apresenta-se com padrões de sinais diferentes entre as regiões centro/sul e norte de Moçambique e o segundo com sinal positivo (negativo) na região central (norte), com uma orientação noroeste-sudeste. Para explicar os modos obtidos, recorreu-se a análise de correlação entre anomalias de precipitação e Temperatura da Superfície do Mar (TSM) em quatro regiões oceânicas, uma sobre o Pacífico Tropical Equatorial (Niño 3.4), duas sobre oceano Índico (Tropical e Subtropical) e uma sobre o oceano Atlântico Tropical Sul. É mostrado que a precipitação correlaciona-se com as diferentes regiões analisadas, sendo que os primeiros modos obtidos na ACP estão associados à variação das anomalias de TSM na região tropical e subtropical do oceano Índico e Pacífico Tropical Equatorial (Niño 3.4). Através da análise das composições de anomalias de TSM, pressão e fluxo de umidade integrado verticalmente até ao nível de 500 hPa, notou-se que o padrão de TSM sobre a região do oceano Índico Tropical e Subtropical é observado em anos de ENOS, no qual sua fase positiva do Dipolo do oceano Índico Subtropical (DOIS) tende a ocorrer em anos de La Niña e fase negativa em anos de El Niño. As variações da TSM na região tropical e subtropical do oceano Índico, são acompanhadas de variação de pressão na região tropical e subtropical do oceano Índico, variando a intensidade do Anticiclone Subtropical do Índico (ASI), caracterizado pela variação de anomalias de TSM. Observou-se que sobre a região continental da região SEA (Moçambique), ocorrem fluxos anômalos

convergentes (divergentes) que são responsáveis por anomalias positivas (negativas) de precipitação.

Palavras Chave: Variabilidade da precipitação, Sudeste da África, ENOS, Anticiclone Subtropical do Índico.

ABSTRACT

TIQUE, A. T. **Analysis of Dynamic Climatology of Precipitation Variability in Southeastern Africa**. 2015. 119 p, Dissertation - Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences, University of São Paulo, São Paulo, 2015.

In order to analyze the interannual precipitation variability in the Southeast region of Africa (SEA), specifically in Mozambique during the rainy season (October to March), statistical analysis techniques were used to analyze the associated dynamic weather systems. Principal Components Analysis (PCA), rotated and unrotated, filtering (low pass filter) were used on daily precipitation data from the Global Precipitation Climatology Project (GPCP) in the period 1996 - 2012. Were identified three modes of interannual variability, the first mode show different signal patterns between central/south and north regions of Mozambique and the second with positive (negative) sign in the central and northern region, with a northwest-southeast orientation. To explain the obtained patterns of modes, we used correlation analysis between precipitation anomalies and sea surface temperature (SST) in four ocean regions, one on the Pacific Equatorial (Niño 3.4), two on the Indian Ocean (Tropical and Subtropical) and one on the South Atlantic ocean Tropical. It is shown that precipitation correlates with the different analyzed regions, and the first modes of PCA associated with SST anomalies variations in the Indian tropical and subtropical and Pacific Equatorial regions (Niño 3.4). Through Composite analysis of SST anomalies and moisture flow vertically integrated from surface to 500 hPa level, show that SST patterns over the Indian Ocean Tropical and Subtropical regions is observed during El Niño Southern Oscillation (ENSO) years and the positive phase of subtropical Indian Ocean Dipole (SIOD) tends to occur in La Niña years and negative phase in El Niño years. SST variations in the tropical and subtropical regions of Indian ocean are accompanied by pressure variation in the same regions, varying the intensity of Indian Subtropical Anticyclone (ISA), characterized by SST anomalies variations. As a result, on the continental region of SEA (Mozambique), anomalous flows occur convergent (divergent), responsible for positive (negative) precipitation anomalies.

Key words: Precipitation variability, Southeastern Africa, ENSO, Indian Subtropical Anticyclone.

1. INTRODUÇÃO

A influência da convecção tropical é considerada como um dos fatores importantes pela ocorrência de precipitação na região sul da África (SA), sendo acompanhada pelo deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), onde a maior parte da precipitação ocorre entre o período de dezembro a março (Tyson e Preston-White, 2000). A migração da região convectiva tropical se estende até próximo à latitude de 20°S, o que origina a ocorrência de maiores valores de precipitação nessa região e suas proximidades (Washington e Tood, 1999).

A variação no padrão da circulação tem influência sobre a variação sazonal da precipitação associada às condições circundantes (p. ex.: condições termodinâmicas dos Oceanos). Sobre o padrão da circulação há que considerar a monção da Ásia, sua interação com a ZCIT e o anticiclone subtropical do oceano Índico (ASI), com influências sobre as regiões sul e sudeste da África (SEA).

A monção da Ásia é responsável pelo transporte de massas de ar equatoriais para o continente enquanto que o ASI, através do fluxo de leste predominante, transporta ar com alto teor de umidade para o continente. Por sua vez, o anticiclone do Atlântico Sul apresenta um fluxo de oeste em baixos níveis sobre o continente (Nicholson, 2000; Tyson e Preston-White, 2000). Além dessas condições são observadas bandas de nebulosidade-“*tropical temperate trough*” (TTTs), associadas ao cavado equatorial, como é o caso da baixa semipermanente da Angola, assim como a baixa do Congo, que representam sistemas sinóticos importantes para a ocorrência de precipitação. Segundo Cook (2000), provavelmente há uma relação com a zona de convergência do Índico Sul (ZCIS), que se encontra na borda sudoeste do ASI, com uma orientação noroeste-sudeste.

Durante muitos anos, os estudos sobre a variabilidade da precipitação na região da África se concentraram na escala interanual, como por exemplo, o trabalho de Ropelewski e Halpert (1987), que relacionam El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e a precipitação à escala global, onde, condições secas e quentes eram observadas na região SEA na presença de El Niño e condições frias e úmidas na presença de La Niña.

Embora o ENOS seja a oscilação interanual mais importante, as condições de anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) sobre o oceano Pacífico Tropical não são condições determinantes para condições úmidas sobre a África, portanto, os oceanos Índico e Pacífico apresentam uma “competitividade” na contribuição da precipitação na região SA/SEA, relacionando-se diretamente à circulação (Goddard e Graham, 1999; Reason e Mulenga, 1999). O El Niño ocorrido no ano de 1997 e seus impactos sobre a precipitação na região SEA (precipitação acima do normal), assim como o La Niña do ano de 2000, são alguns dos exemplos que levaram certos pesquisadores como Rocha e Simmonds (1997), Behera e Yamagata (2001), Lyon e Mason (2007) a realizarem pesquisas a fim de identificar forçantes locais que pudessem explicar tais variações de precipitação além do ENOS baseado nos resultados de Ropelewski e Halpert (1987).

Sobre o oceano Índico, são observadas anomalias negativas de TSM na região leste, próximo à Austrália e anomalias positivas na região sudoeste e sul de Madagascar. Este fenômeno tem como consequência na redução ou aumento da precipitação no sul da África. A fase fria da TSM a leste é geralmente causada pelo aumento de evaporação, estando provavelmente associado com os ventos ao longo das regiões leste do ASI (Behera e Yamagata, 2001), designado de Dipolo do oceano Índico Subtropical (DOIS). Anomalias de TSM sobre a região sudoeste do oceano Índico na ordem de 1-2 °C, resultam numa mudança no regime sazonal da precipitação nas regiões adjacentes. O aumento ou diminuição no aquecimento por processos convectivos em latitudes baixas sobre a região oeste do Índico induz a formação de anomalias na circulação (Washington e Todd, 1999).

Moçambique por localizar-se nessa região do continente Africano (SEA) apresenta variações no seu regime de precipitação e que algumas vezes resultam em eventos com impactos negativos sobre a vida da população, meio ambiente e economia do país, portanto ocorrem cheias, secas, alguns ciclones tropicais (MAE¹-Moçambique, 1999). Desta forma o conhecimento de processos dinâmicos que controlam a precipitação é essencial para o desenvolvimento de sistemas de previsão sazonal da precipitação (Mason, 1995; Black, 2005). Com isso, o objetivo principal (geral) do presente estudo é analisar a variabilidade da precipitação na

¹<http://www.portaldogoverno.gov.mz/docs_gov/fold_politicas/outrasPol/politica_gesto_calamidade.pdf>: Acesso em: 20 Mai. 2013.

região SEA, com maior ênfase para Moçambique, assim como os sistemas meteorológicos dinâmicos associados, especificamente para a analisar o seguinte:

- A variabilidade interanual da precipitação durante a estação chuvosa;
- Os principais sistemas meteorológicos responsáveis pela variação da precipitação;
- A relação entre padrões de anomalias de TSM dos oceanos adjacentes: Índico, Atlântico e possíveis forçantes remotas (oceano Pacífico).

O presente trabalho apresenta a seguinte estrutura: o capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica que foi utilizada durante a realização da pesquisa; O capítulo 3 apresenta e descreve os dados e metodologias utilizados (Técnicas estatísticas de análise de dados); O capítulo 4 apresenta a discussão dos resultados obtidos e finalmente, o capítulo 5 apresenta o sumário, conclusões e sugestões para trabalhos futuros. A seguir é descrita a área de estudo.

1.1. Descrição da área de estudo

A região SEA onde localiza-se Moçambique constitui a área de estudo para o presente trabalho (Fig. 1). Moçambique fica situado entre as latitudes 10° 27'S e 26° 52'S e longitudes 30° 12'E- 42° 51'E, com uma superfície de 799.380 km² e população de 20.366.795 habitantes (CENSO, 2007).

Além de Moçambique, outros países da mesma região são Tanzania, Malawi Zâmbia, Zimbábue, África do Sul, Suazilândia e Madagascar que é separado pelo Canal de Moçambique (Fig. 1a). De acordo com a Constituição da República de Moçambique (2004), o país apresenta onze (11) províncias, incluindo a cidade capital - Maputo, distribuídas por três regiões: norte (Niassa, Cabo Delgado e Nampula); centro (Manica, Tete, Sofala e Zambézia) e sul (Inhambane, Gaza e Maputo), como pode ser observado através da figura 1b.

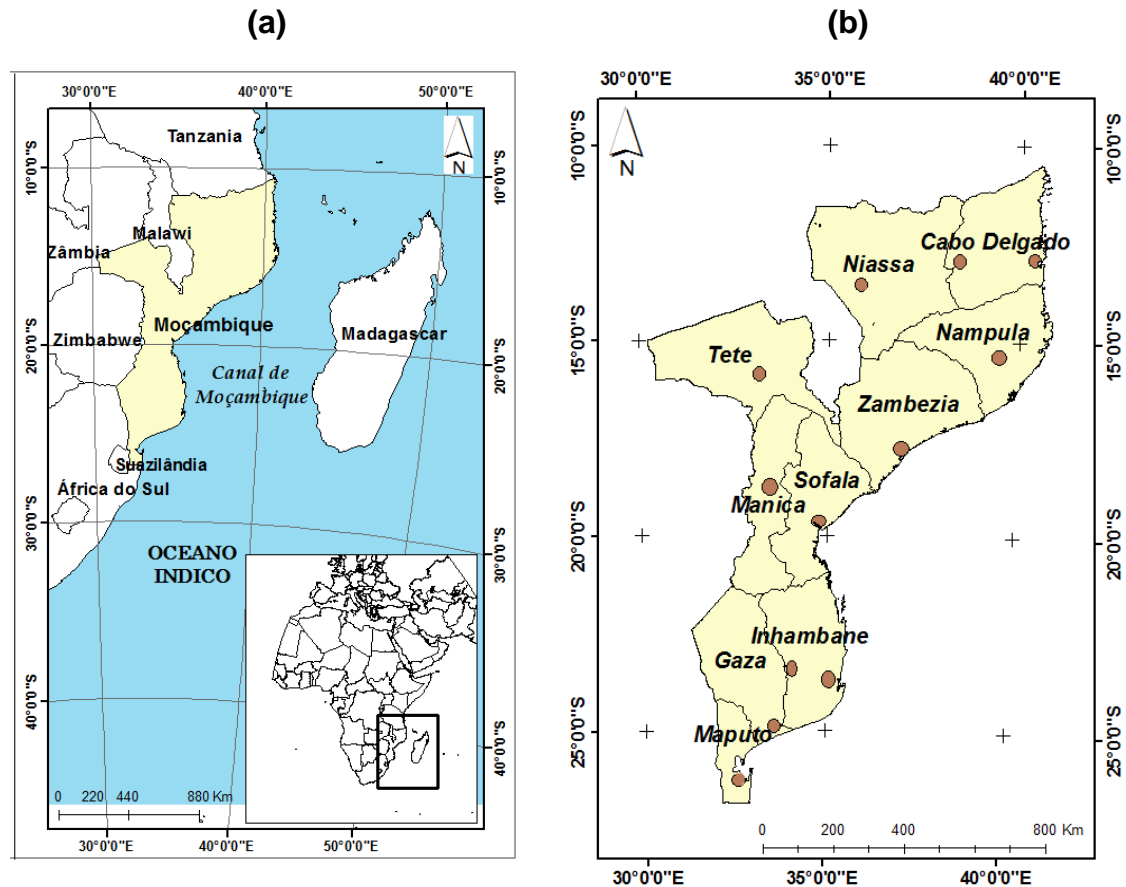


Figura 1: Área de estudo: (a) Região SEA e limites de Moçambique, sendo a norte: Tanzania; Noroeste: Malawi e Zâmbia; Oeste: Zimbábue, África do Sul e Suazilândia e Leste: oceano Índico (Canal de Moçambique); (b) Mapa de Moçambique dividido por Províncias².

Segundo O'Brien e Vogel (2003), Moçambique apresenta no geral clima tropical, com duas estações sendo uma fria e seca que ocorre nos meses de abril a setembro, com temperaturas médias entre 20 e 25°C e outra estação quente e úmida no período de outubro a março com temperaturas médias entre 25 e 27°C. A precipitação varia entre 800 a 1200 mm durante o ano, nas regiões Centro e Norte do País, sendo que a região sul registra os menores valores, entre 300 a 800 mm durante o ano.

O estudo da variabilidade da precipitação no período de outubro a março (ONDJFM) é importante para os vários setores das atividades humanas em Moçambique, pois, é nesse período que se desenvolve a maior parte da atividade

² Primeira divisão Administrativa de Moçambique segundo a constituição da República de Moçambique <http://www.portaldogoverno.gov.mz/Legisla/constituicao_republica/constituicao.pdf>; Acesso em: 10 Jan. 2015.

agrícola (principal atividade) dependente da ocorrência de precipitação para a produção de cultivos que garantem a sobrevivência da grande maioria da população moçambicana. Portanto, a escassez de precipitação conduz a fenômenos de seca enquanto que o excesso conduz a fenômenos como cheias (MAE-Moçambique, 1999). Portanto, estas são as motivações da presente pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir apresenta-se a revisão bibliográfica sobre os aspectos fundamentais associados aos sistemas meteorológicos atuantes nas regiões SA/SEA. No entanto, somente serão apresentados àqueles que servirão de base para a discussão do presente estudo, especificamente no período úmido (chuvoso) que são eles: Zonas de convergência e padrões de TSM nos três oceanos (Índico Tropical e Subtropical, Pacífico Tropical e Atlântico Sul).

2.1. Sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Tropical

Os principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Tropical e de maior interesse para a região SEA são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Zona de Convergência do Índico Sul (ZCIS). A ZCIT é um dos sistemas meteorológicos mais importantes para a região tropical pelo fato de estar associada à atividade convectiva, correntes ascendentes de ar e, por sua vez resultam na formação de nebulosidade e ocorrência de precipitação na maior parte dos casos (Hastenrath e Haller, 1977).

Na região SA, no período de dezembro a fevereiro a influência da convecção tropical é considerada como um dos fatores importantes pela ocorrência de precipitação (Tyson e Preston-White, 2000), pelo fato de a ZCIT se posicionar mais a sul. Segundo Washington e Tood (1999), a região convectiva nessa faixa do continente Africano se estende até próximo à latitude 20°S. Para o mesmo período (DJF), Torrance (1972) e Nicholson (1986), afirmam que três principais fluxos em níveis baixos são observados, sendo eles responsáveis pelas condições de tempo e clima naquela região. Na figura 2 podemos observar estes três fluxos: (1) fluxo de sudeste, (2) fluxo de nordeste e (3) fluxo de Oeste.

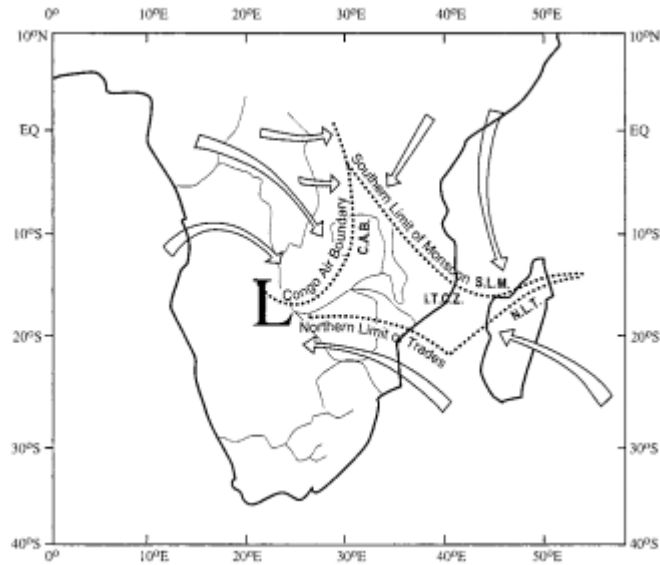


Figura 2: Fluxos predominantes próximos em superfície e zonas de convergência sobre a região SA/SEA; A letra “L” (**LOW em Inglês**) representa o centro de baixa pressão, neste caso, sobre a região da Angola e Congo que se forma no período úmido (Fonte: Torrance, 1972).

O fluxo de leste no geral, é proveniente do oceano Índico, fluindo para o continente, sendo originado pela divergência em superfície causada pelo ASI. Porém, por vezes varia de leste para sudeste, de acordo com a posição do ASI (Behera e Yamagata, 2001; Ohishi et al., 2014). Behera e Yamagata, (2001) explicam que o fluxo de sudeste sobre o continente ocorre quando a ASI se posiciona mais a sul, em torno da latitude de 35°S, e tem relação com variações de TSM na região subtropical do Índico, o que explica o surgimento do padrão de dipolo de TSM na região subtropical do oceano Índico. Segundo Ohishi et al. (2014), variações do ASI, quer no posicionamento ou na sua intensidade, implicam em variações do fluxo de leste sobre o continente, com implicações sobre as condições atmosféricas.

O fluxo de nordeste está associado à monção da Ásia, porém, somente ocorre no período úmido sendo responsável pelo transporte de umidade para a região SEA (Nicholson, 1986). A convergência que ocorre na região continental entre os fluxos de nordeste e leste/sudeste gera condições favoráveis a formação de sistema de baixas pressões com implicações sobre o estado de tempo (Tyson e Preston-White, 2000), onde ocorrem nuvens de grande extensão vertical “cumuliformes”.

Finalmente, o fluxo de oeste ou corrente de oeste, que estende-se até a República da Angola e República Democrática do Congo, tem a sua origem na convergência entre o fluxo equatorial e a borda sudeste da alta subtropical do oceano Atlântico Sul (Torrance, 1972; Nicholson, 2000).

Como pode se ver, as trajetórias dos três fluxos em níveis baixos sobre a região SA/SEA, o fluxo de leste/sudeste (oceano Índico Tropical e Subtropical), o fluxo de nordeste (oceano Índico tropical) e o fluxo de oeste (oceano Atlântico Tropical) estão associados a algumas regiões oceânicas. Segundo Hirst e Hastenrath (1983) e Torrance (1972), estes fluxos são responsáveis pelo transporte de umidade para a região continental. Por sua vez, variações na intensidade e direção dos fluxos podem ter implicações sobre o tempo e clima na mesma região.

Além da ZCIT, sobre a região continental, são formados sistemas de baixas pressões associadas ao cavado equatorial. Entretanto, bandas de nebulosidade são observadas nesta região, associadas aos *TTTs* constituindo sistemas sinóticos importantes para a ocorrência de precipitação (Washington e Todd, 1999; Macron et al., 2014). Segundo Cook (1999), observa-se uma região de convergência sobre o Índico, acompanhada com aumento de precipitação que se estende desde a costa sudeste da região SA no período de verão. O vento zonal é o principal fator responsável pela convergência nesta região. Algumans vezes a ZCIS apresenta-se deslocada para nordeste devido a um enfraquecimento da parte ocidental do ASI. Por sua vez, resulta no padrão de precipitação de dipolo.

2.2. Padrões de TSM nos oceanos Índico, Atlântico Sul e Pacífico Tropical

A influência da TSM das regiões tropicais e/ou subtropicais dos três oceanos (Índico, Atlântico e Pacífico) e do padrão de circulação atmosférica na região SA e sua influência sobre a precipitação vêm sendo discutida em alguns estudos. Especificamente Camberlin et al.(2001), Reason e Mulenga (1999), Behera e Yamagata (2001) estudaram a influência da TSM do oceano Índico; Nicholson e Entekhabi (1987), Reason (1998) estudaram a relação da TSM do oceano Atlântico e a precipitação; e por fim Rocha e Simmonds (1997I, II), Mason e Jury (1997),

Nicholson e Kim (1997), analisaram a Influência da variação da TSM na região Tropical do oceano Pacífico e sua influência sobre a precipitação na região SA/SEA.

Estudos como Rocha e Simmonds (1997I, II) e Behera e Yamagata (2001) são unânimes em afirmar que anomalias de TSM, sendo quentes (positivas) ou frias (negativas), atuam como forçantes e têm sua influência sobre o padrão de circulação atmosférica na região SA. O transporte de umidade das regiões com elevadas/reduzidas taxas de evaporação para o continente constitui o maior foco das pesquisas por eles conduzidas.

Sobre o oceano Índico são observados padrões de TSM na forma de dipolo, um localizado na região do oceano Índico Tropical (Saji et al.,1999) e outro na região do oceano subtropical (Behera e Yamagata, 2001). Além desses padrões, tem-se o ENOS que tem influência sobre o padrão de circulação sobre a África e conseqüente no regime da precipitação (Nicholson e Kim,1997). Embora estudos como os de Rocha e Simmonds (1997I, II) e Ropelewski e Halpert (1987) tenham apresentado relação entre o ENOS e a precipitação na região SA e o continente em geral, ainda prevalecem algumas dúvidas da influência do ENOS na precipitação da região SA/SEA (Nicholson e Kim,1997). Outro ponto em debate é sobre o padrão de TSM do oceano Índico, discutindo-se até que ponto existe uma relação com o padrão de TSM do oceano Pacífico (Goddard e Graham,1999), pois nota-se que na maior parte dos casos (anos) há coincidência entre anos de anomalias negativas e positivas nas regiões tropicais dos dois oceanos (Índico e Pacífico).

2.2.1. Dipolo do oceano Índico Tropical

O padrão do Dipolo do oceano Índico Tropical (DOIT) é caracterizado principalmente por apresentar anomalias positivas de TSM no oeste do oceano Índico junto a costa leste do continente Africano e anomalias negativas na costa oeste da Indonésia e vice-versa (Saji et al.,1999; Webster et al., 1999). Observam-se também variações zonais dos gradientes de TSM e desta forma, segundo Saji et al. (1999) são conhecidas duas fases do DOIT, sendo uma positiva (Fig. 3) quando as anomalias positivas de TSM encontram-se próximo à costa leste da África e fase negativa quando estas anomalias positivas ocorrem próximo à costa oeste da Ilha de Sumatra, Indonésia.

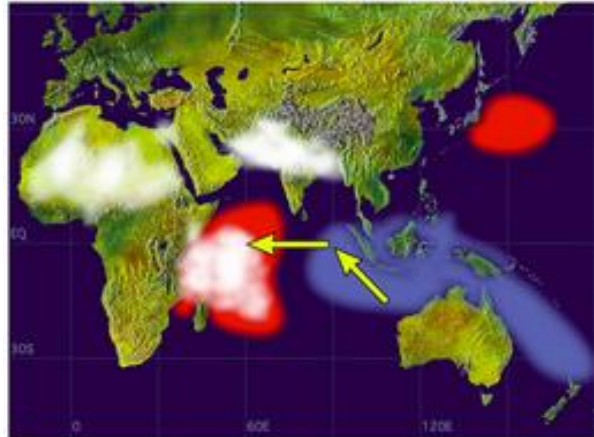


Figura 3: Ilustração esquemática da fase positiva do DOIT³; a cor vermelha indica regiões com anomalias positivas de TSM e cor azul, regiões com anomalias negativas e de branco para região de aumento de atividade convectiva.

Para o monitoramento do DOIT, Saji et al.(1999) desenvolveram um índice, chamado de Índice de Modo Dipolo, em inglês *“Dipole Mode Index-DMI”*, que é um indicador de gradientes de temperatura entre as duas regiões tropicais do oceano Índico. O DMI é determinado pela diferença entre anomalias de TSM na região Oeste e Sudeste do oceano Índico Tropical (WOIT e SEOIT). A região WOIT corresponde a longitudes 50°E e 70°E e latitudes 10°S e 10°N, enquanto que SEOIT para a região 90°E e 110°E e latitudes 10°S e equador, como é apresentado na figura 4.

³ <<http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/IOD1.html>>. Acesso em: 01 Mar. 2015.

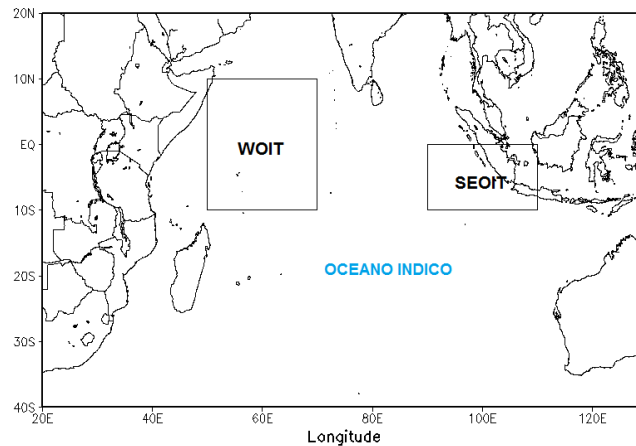


Figura 4: Ilustração das regiões WOIT e SEOIT usadas para determinação do índice DMI segundo Saji et al.(1999).

Uma das consequências da ocorrência do padrão de DOIT na região tropical são seu impacto nas anomalias do vento e precipitação (Vinayachandran e Yamagata, 2002; Iizuka et al., 2000, Ashok et al., 2001), sendo que, durante a fase positiva registra-se aumento da precipitação sobre a região leste da África e déficit sobre a Indonésia e anomalias de vento de leste. A fase negativa mostra impactos contrários aos observados na fase positiva, isto é, déficit de precipitação na região Africana e excesso sobre a região da Ásia.

2.2.2. Dipolo do oceano Índico Subtropical

O padrão da TSM observado na região subtropical do oceano Índico na escala interanual, apresenta-se em duas regiões com padrões diferentes e opostos (Fig. 5). Este dipolo é conhecido como o dipolo do oceano Índico subtropical (DOIS), com duas fases, uma positiva e a outra negativa (Behera e Yamagata, 2001; Reason, 2001; Suzuki et al., 2004). A fase positiva apresenta anomalias positivas a sudoeste do oceano Índico (sul de Madagascar) e anomalias negativas próximo à costa oeste da Austrália, com uma evolução no período entre dezembro e janeiro (Behera e Yamagata, 2001).

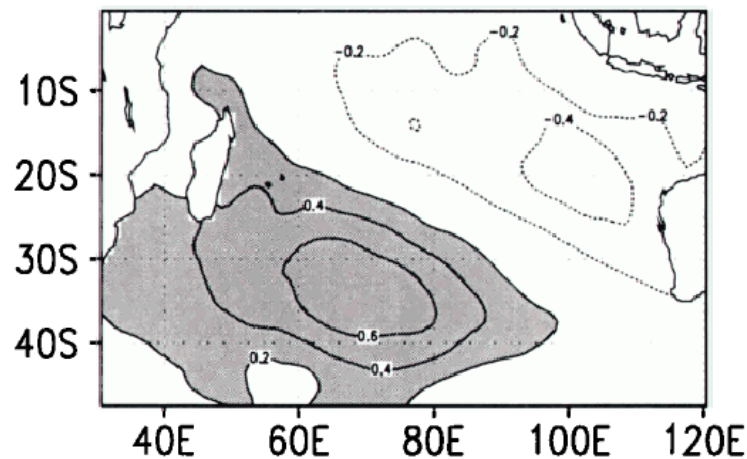


Figura 5: Padrão espacial de anomalias de TSM na fase positiva do DOIS, anomalias positivas a sul e sudeste de Madagascar e negativas na região noroeste da Austrália sobre o oceano Índico (Fonte: Behera e Yamagata, 2001)

O processo de evolução do evento na fase positiva, segundo Behera e Yamagata (2001) ocorre com o ASI na posição mais a sul, próximo à latitude 35°S onde ocorre o seu fortalecimento. Nesta mesma região, anomalias positivas de pressão são observadas, resultando em gradientes de pressão na borda leste do ASI. Fluxos divergentes em níveis baixos originados pelo ASI atuam como forçantes para a variação de TSM. Reason e Mulenga (1999) e Washington e Preston (2006) afirmaram que ocorre o aumento da evaporação e consequente diminuição da temperatura das águas oceânicas (polo negativo). Dois fluxos anômalos em baixos níveis são observados, sendo um de leste na região a norte da latitude 35°S e outro fluxo de oeste a sul da mesma latitude.

As interações Oceano-Atmosfera verificadas nesta região são acompanhadas por redução sazonal de fluxos de calor latente (Behera e Yamagata, 2001), resultando no aquecimento de TSM da região oeste e resfriamento na região nordeste; desta forma, ocorre divergência de umidade sobre a região oceânica e convergência sobre a região continental, levando ao aumento da precipitação em algumas regiões da região SA. Condições opostas são observadas na fase negativa do DOIS.

O DOIS é calculado através do Índice do dipolo subtropical, em inglês “*Subtropical Dipole Index-SDI*”, Behera e Yamagata (2001), que é a diferença entre anomalias de TSM entre a região sudoeste do oceano Índico-SWOI, (55°-65°E e 37°-

27°S) e a região leste do oceano Índico- LEOI, (90°-100°E e 28°-18°S), como é apresentado na figura 6.

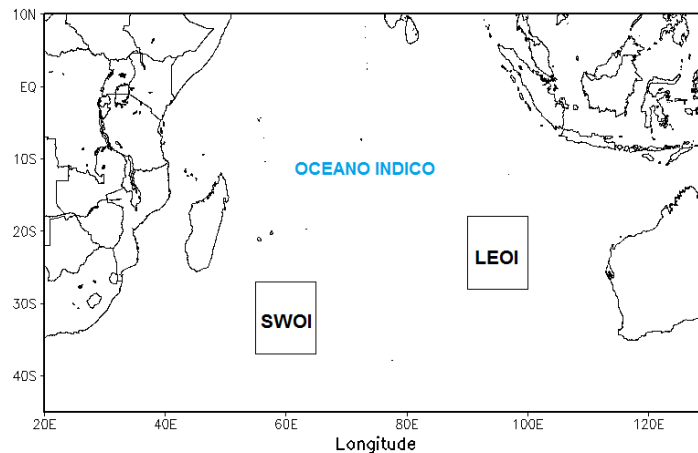


Figura 6: Ilustração das regiões SWOI (55°-65°E e 37°-27°S) e LEOI (90°-100°E e 28°-18°S) usadas para determinação do índice SDI segundo Behera e Yamagata (2001).

Estudos por métodos estatísticos e de modelagem têm apresentado resultados similares sobre o período de evolução do DOIS (dezembro a janeiro) e suas influências sobre a precipitação na região SA/SEA (Washington e Preston, 2006; Reason, 2001). Segundo esses autores, condições quentes de TSM a sul de Madagascar, isto é, fase positiva do Dipolo, resulta no aumento de convergência de umidade na região continental, que leva a ocorrência de precipitação excessiva em algumas regiões do SA.

A influência de anomalias de TSM nesta região do oceano Índico sobre a precipitação na região SA, particularmente sobre a região SEA, já havia sido apresentada em estudos anteriores aos de Behera e Yamagata (2001) por outros autores como Rocha e Simmonds (1997I, II) que por meio do Índice atmosférico chamado de *Brandron-Marion Index (BMI)* fizeram estudos estatísticos e posteriores modelagem, para verificar até que ponto as anomalias de TSM influenciavam a variabilidade da precipitação na região SEA no período de verão.

2.2.3. El Niño-Oscilação Sul (ENOS)

O fenômeno de interação Oceano-Atmosfera conhecido como ENOS é caracterizado pela oscilação da pressão, temperatura e vento, com modificações no

padrão de circulação geral das células de Hadley e Walker, alterando o padrão de precipitação em torno do globo. No geral o ENOS é determinado através do Índice de Oscilação Sul (IOS), que é a diferença normalizada entre pressão ao nível do mar na região de Tahiti, no Pacífico Central (18°S-150°W) e Darwin, Pacífico Oeste (12°S-130°E), próximo à Austrália (Rasmusson e Carpenter, 1982; Ropelewski e Jones, 1987). Além do Índice IOS baseado em diferenças de pressão entre Tahiti e Darwin, foram introduzidos outros Índices para o monitoramento do ENOS baseados em anomalias de TSM em regiões do oceano Pacífico Tropical: Niño 1 (80°W-90°W e 5°S-10°S), Niño 2 (80°W-90°W e 0°S-5°S), Niño 3 (90°W-150°W e 5°N-5°S) e Niño 4 (150°E-160°W e 5°N-5°S). Uma parte região de Niño 3 (Lado Oeste) e outra parte da região Niño 4 (Lado Leste) em conjunto formam a região Niño 3.4 (120°W-170°W e 5°N-5°S). Anomalias de TSM na região 3.4 são largamente usadas pelo CPC/NOAA para o monitoramento do ENOS (Trenberth, 1997), assim, foi introduzido o Índice Oceânico de Niño, em inglês Oceanic Niño Index- ONI, definido como média móvel de anomalias de TSM em três meses na região 3.4, por sua vez, o ONI é negativamente correlacionado com o IOS. A figura 7 apresenta duas fases distintas do IOS uma negativa e outra positiva:

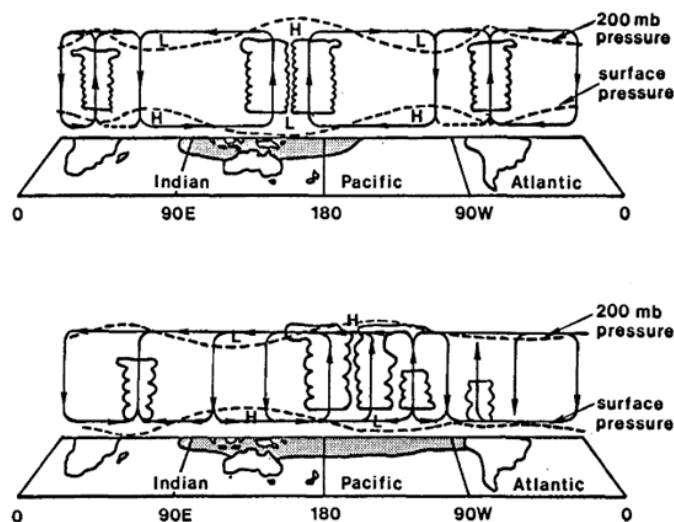


Figura 7: Representação esquemática da circulação de Walker sobre o equador na fase positiva do ENOS-La Niña (superior) e fase negativa, El Niño (inferior), segundo Webster e Chang (1988).

Valores negativos de IOS correspondem a El Niño, em resultado, anomalias positivas de TSM ocorrem na região do oceano Pacífico Tropical, enfraquecimento

dos ventos alísios, deslocamento da célula de Walker para leste e a intensificação do jato subtropical (Webster e Chang, 1988). Sobre a região SEA predomina um ramo descendente de ar. Enquanto que na fase oposta, La Niña é acompanhada por anomalias negativas de TSM na região do oceano Pacífico Tropical, ocorre enfraquecimento do jato subtropical; e alongamento e intensificação da célula de Walker. Um ramo ascendente é predominante na região SEA, resultando em forte convergência. Esta seria a razão pela qual, em anos de La Niña, haveria ocorrência de precipitação acima do normal (Ropelewski e Halpert, 1987).

Efeitos do ENOS sobre a precipitação na região SA podem ser vistos a partir do padrão idealizado em estudos de escala global de Ropelewski e Halpert (1987), como pode ser visto na figura 8, onde dois padrões significativos foram encontrados sobre duas áreas, sendo uma sobre a região leste equatorial da África (LEA) e outra sobre a região SEA. A região LEA em anos de El Niño tende a apresentar condições de precipitação acima do normal no período de outubro do ano de início do evento [Oct(0)] a abril do ano seguinte [Apr(+)]. Por outro lado, a região SEA tende a apresentar condições secas com diminuição de precipitação durante o período de novembro de um ano [Nov(0)] a maio do ano seguinte [May(+)] em anos de El Niño.

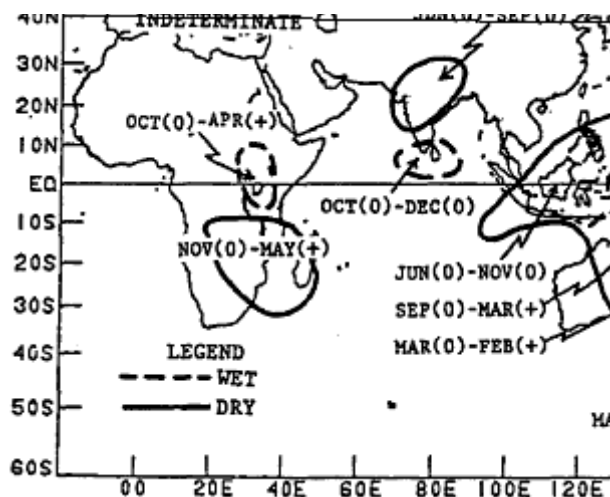


Figura 8: Representação esquemática de regiões do continente Africano (LEA e SEA), onde o ENSO apresenta influência sobre a precipitação. (Adaptado de: Ropelewski e Halpert, 1987).

Na presença de El Niño, sobre a região SEA ocorrem condições secas, resultando em déficits de precipitação, enquanto que na presença de La Niña, ocorrem e condições úmidas resultando em excesso de precipitação (Nicholson e

Kim, 1997). Esta relação, segundo Rocha e Simmonds (1997), não se mostra perfeita, pois, nem todos os anos de El Niño correspondiam à escassez de precipitação, há anos de El Niño com precipitação abundante, como é o caso do ano de 1997/98. Segundo os mesmos autores, a correlação entre a precipitação e o ENOS é significativa no verão, sendo fraca e menos significativa para o restante período.

2.2.4. Oceano Atlântico Sul

A influência das anomalias de TSM do oceano Atlântico Sul sobre a precipitação na região sul do continente Africano não é suficientemente estudada tanto quanto a influência dos outros oceanos, Índico e Pacífico (Reason et al., 2006). Segundo Reason et al. (2006), nos estudos existentes, existe um maior foco sobre a região sudoeste da África. Camberlin et al. (2001) fazem uma relação entre a região tropical do oceano Atlântico Sul e possíveis teleconexões com o ENOS e sua influência sobre a precipitação no continente Africano, e menos atenção tem sido dada sobre a região SEA. Nos últimos anos, a discussão da influência das anomalias de TSM particularmente da região do golfo da Guiné tem aumentado, tendo como fundamento a presença do fluxo de oeste em baixos níveis, que seria responsável pelo fluxo de calor latente associado aos gradientes de temperatura e pressão que resultam em mudanças regionais do fluxo de umidade (Hirst e Hastenrath, 1983; Reason, 1998).

Variações de TSM na região do oceano Atlântico Sul tem influência no padrão de circulação regional e local (Williams et al., 2008), sendo que no período de dezembro a fevereiro pode influenciar na formação de sistemas de baixa pressão e bandas de nebulosidade na região associados aos TTTs. Os TTTs constituem sistemas sinóticos importantes para a ocorrência de precipitação na região SA/SEA (Washington e Todd, 1999). Além disso, também pela sua interação com a zona de convergência do Índico Sul (Cook, 2000).

Índices oceânicos têm sido determinados por meio de técnicas similares aos procedimentos usados para o cálculo de índices de ENOS e Dipolos no oceano Índico Tropical e Subtropical, neste caso, para a região entre longitudes 30°W e 10°E e latitudes 20°S e 0° (Enfield et al., 1999). Estudos como de Kayano et al. (2009) e Oliveira (2008) usaram esta região do oceano Atlântico em seus trabalhos

sobre a influência do Pacífico e Atlântico na Variabilidade Interanual da precipitação sobre a América do Sul.

3. DADOS E METODOLOGIA

No presente capítulo é feita a descrição dos dados utilizadas e das técnicas estatísticas para a análise dos mesmos: remoção do ciclo anual, filtragem (Filtro passa baixa), Análise de Componentes Principais (com rotação e sem rotação) e Análise de Correlação e Composições.

3.1. Dados de precipitação

Dados de precipitação diária de reanálise do *Global Precipitation Climatology Project (GPCP)*, versão 1.2, com resolução de $1^\circ \times 1^\circ$ de latitude e longitude respectivamente, para o período compreendido entre 1 de outubro de 1996 até 31 de março de 2013. São dados que cobrem continentes e oceanos resultam da junção de fontes diferentes de informação (Huffman et al., 2001). São dados distribuídos pelo World Data Center da “*National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA*”. Esses dados foram utilizados durante a primeira análise do presente trabalho. Mais adiante, durante a análise de composições se recorreu aos dados de precipitação mensal do *Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)*, versão 6 (Becker et al., 2013), com a resolução de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ de latitude e longitude. São dados disponíveis desde 1901 até 2010. São dados que cobrem apenas os continentes e disponibilizados pelo “*World Climate Research Programme (WCRP)*”.

Para a descrição da climatologia da precipitação de Moçambique, foram utilizados dados de doze estações meteorológicas distribuídas por todo o País. Tratam-se de dados mensais entre os anos 1981 e 2010 (30 anos), disponibilizados pelo INAM, instituição responsável pela coleta, processamento e gestão de dados meteorológicos no país e membro da Organização Mundial da Meteorologia-OMM (INAM, 2012).

3.2. Dados de TSM

Os dados de TSM utilizados, foram disponibilizados pela NOAA; trata-se de dados reconstruídos por Reynolds e Smith (2007), em uma grade horizontal de

resolução $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ de latitude e longitude e um dia de escala temporal, disponíveis desde 1981 até 2010.

3.3. Dados de circulação e umidade

Dados mensais de vento, componentes zonal (u) e meridional (v) desde a superfície até 500 hPa, pressão atmosférica em superfície, umidade específica (1000-500 hPa) do Era-Interim, versão 2, do “*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts- ECMWF*”, (Berrisford et al., 2011), de resolução de $1,5^\circ \times 1,5^\circ$ de latitude e longitude. São dados disponíveis desde 1979 até ao presente.

O presente trabalho considerou como período de estudo, 1996 a 2012 de acordo com os dados do GPCP, os dados restantes foram analisados a partir do ano de 1996 para efeitos de uniformização.

3.4. Filtragem

Tendo em conta que qualquer série temporal pode ser representada sob a forma de uma série de Fourier (funções seno e cosseno), o processo de filtragem é baseado na transformada de Fourier, fazendo alteração de certas amplitudes em uma dada série (Duchon, 1979). A filtragem facilita a interpretação dos resultados. No presente caso, aplica-se para dados de precipitação, no domínio do tempo.

O processo de filtragem consiste basicamente a partir de uma dada série X_t , gerar uma outra série Y_t , através de uma relação linear:

$$Y_t = \sum_{k=-n}^n W_k X_{t-k} \quad (1)$$

Onde W_k , $k = -n, 0, \dots, n$ é função filtro ou o peso.

Por meio das frequências das ondas geradas pelas séries Y_t e X_t é possível através da sua relação, determinar a função resposta.

$$R(\omega_k) = \frac{C'(\omega_k)}{C(\omega_k)} \quad (2)$$

$R(\omega_k)$ é função resposta; $C'(\omega_k)$ é a amplitude de onda de frequência ω_k da série Y_t e $C(\omega_k)$ é a amplitude de onda de frequência ω_k da série X_t (série original dos dados). Geralmente, a resposta da frequência é dada pela transformada de Fourier (TF) em inglês, *Fast Fourier Transform (FFT)*:

$$R(\omega_k) = \sum_{k=-n}^n W_k \cos(2\pi f k) + i \sum_{k=-n}^n W_k \sin(2\pi f k) \quad (3)$$

Onde, f é a frequência, dada por ciclos/unidade de dados.

Para o filtro passa baixa a função peso é dada por:

$$R(f) = W_0 + 2 \sum_{k=1}^n W_k \cos(2\pi f k \Delta) \quad (4)$$

$$W_k = \frac{\sin(2\pi f_c k)}{(\pi k)} \frac{\sin(\pi k / n)}{(\pi k) / n} \quad (5)$$

$K = -n, \dots, 0, \dots, n$, f é a frequência, f_c é a frequência de corte e Δ é intervalo de amostragem.

No presente caso, para cada ponto da grade, depois da remoção do ciclo anual na base diária de dados de precipitação, foi aplicado filtro passa baixa a fim de atenuar/eliminar componentes de alta frequência, permitindo que variações na escala de tempo maior que um ano sejam retidas e representadas. Porém, no presente estudo, embora a análise se restrinja para um determinado período (sazonal), de outubro a março, pretende-se analisar variações de precipitação na escala interanual.

O programa "*Climate Data Operators-CDO*", apresenta um algoritmo para o efeito, devendo se levar em conta algumas precauções, como por exemplo, o incremento do tempo deve ser diferente de zero para uma série de dados maior que um ano e remover o dia 29 de fevereiro de cada ano de modo que o ano tenha 365 dias.

3.5. Componentes Principais (CP)

A Análise de Componentes Principais (ACP) ou simplesmente Funções Ortogonais Empíricas (EOF) referem-se a procedimentos iguais (Wilks, 2006), sendo uma técnica estatística multivariada. É geralmente usada para grande um volume de dados, resumindo-os através de alguns parâmetros que são determinados após a aplicação da técnica. Consiste basicamente em transformar variáveis correlacionadas em grupos correlacionados, designados por componentes principais (CP_s), sem, no entanto, alterar as características dos dados iniciais (originais). A primeira componente principal ($CP_{(1)}$) é a combinação linear normalizada das variáveis originais, que representa a máxima fração ou porcentagem da variância; a segunda componente principal ($CP_{(2)}$) é aquela combinação linear que não está correlacionada com o $CP_{(1)}$ e representa a maior parte da variância restante e assim por diante. Os trabalhos realizados por Lorenz em 1956 sobre os dados atmosféricos serviram de base para que a ACP seja uma técnica usada até nos tempos atuais (Wilks, 2006), permitindo assim, estudar a variação espacial e temporal de variáveis, matematicamente pode-se escrever:

$$CP_{(m)} = W_{(1)}X_{(1)} + W_{(2)}X_{(2)} + \dots + W_{(p)}X_{(p)} \quad (6)$$

Onde:

$CP_{(m)}$: m-ésima componente principal

$X_{(j)}$: Variáveis observadas e

$W_{(j)}$: peso das variáveis observadas.

No presente caso, a análise foi realizada em decomposição S-Mode, conforme Richman (1986), onde as CPs são campos espaciais e outro campo (temporal), através dos coeficientes de expansão.

Para a área selecionada e em função da resolução dos dados de precipitação do GPCP ($1^\circ \times 1^\circ$), resulta em 18 pontos em X, longitudes ($29^\circ\text{E}-46^\circ\text{E}$) e 27 pontos em Y latitude ($31^\circ\text{S}-5^\circ\text{S}$), formando deste modo, uma grade de 486 pontos (estações).

Antes de efetuar a análise dos dados foi feita a remoção do ciclo anual na base diária dos dados de precipitação e posteriormente padronizados de forma que a

média seja igual a zero e o desvio padrão igual a 1, dada por:

$$X_{ij} = \frac{a_{ij} - \bar{a}_j}{s(a_j)}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p \quad (7)$$

Onde, \bar{a}_j é a média da série temporal e $S(a_j)$ o desvio padrão. A padronização

dos dados no presente caso permite que valores extremos, com alta variância, não influenciem as componentes principais.

Para o período de outubro a março (com 2912 tempos) é formada a matriz (M) de anomalias padronizadas do tipo $M_{486 \times 2912}$, sendo 486 pontos (estações) dados por linhas e 2912 tempos (colunas) e, determina-se a covariância da matriz M:

$$R = \text{Covariância}(M) = M * M^t \quad (8)$$

onde R é matriz covariância e, M^t a transposta de M

Para o período de dezembro a fevereiro (DJF), o tempo é de 1440 dias, sendo assim, a matriz M, torna-se do tipo $M_{486 \times 1440}$. Assim, por meio da matriz R, determinamos os autovalores e correspondentes autovetores através da sua matriz característica, dada por:

$$\det[R - \lambda I] = 0 \quad (9)$$

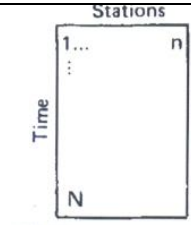
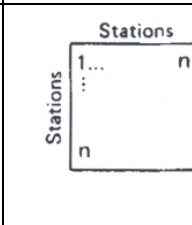
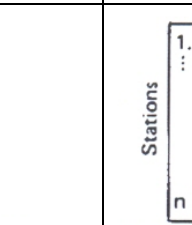
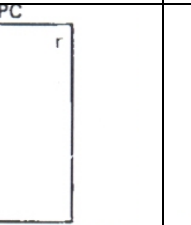
Onde I é a matriz identidade e λ representa as raízes ou valores próprios (*eigenvalues*) da matriz R . Assim, determinam se os vetores próprios (*eigenvectors*), V_j :

$$RV_j = \lambda V_j (j = 1, \dots, m) \quad (10)$$

Com recurso da função *eigen* do pacote estatístico **R**, sobre a matriz R , são resolvidas as equações 9 e 10, determinando assim, os autovetores (*EOFs*) e autovalores. Além da função *eigen* para determinar valores próprios assim como os autovetores, o pacote **R** apresenta outras funções para o mesmo propósito tais como: *prcomp*, *princomp*, *ACP*. A matriz M das variáveis padronizadas é igual a matriz de correlação da matriz de dados X .

Neste caso, a ACP será pelo S-Mode (tabela 1), resultando em uma matriz quadrada de autovetores do tipo $\mathbf{EOF}_{n \times n}$, onde $n = 486$. É por esse motivo, que se afirma que a ACP tende a diminuir o número de variáveis, na realidade não é diminuição, mas sim, analisar aos dados tendo como base o espaço (486) em vez de 2912 tempos para o período ONDJFM ou 1440 no período DJF.

Tabela 1: Decomposição S-mode PCA (Adaptada de Richman, 1986)

Modo	Matriz dos dados	Matriz de covariância ou correlação	Matriz dos autovetores	Matriz de CPs
S				

Além do modo S, onde a matriz de autovalores ou ainda a projecção de cada modo (*loading*), aparece em função do espaço (estações ou ponto de grade), tabela 1, existem outros modos: O, P, Q, R e T, onde os modos O e T em função do tempo, seus *loadings*, Q em função do espaço, como o modo S e finalmente os modos P e R, aparecem em função da variável ou parâmetro.

O uso da função *eigen* sobre a matriz R resulta em dois objetos, sendo um de autovalores e outro contendo os autovetores.

Neste caso $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_p$ são as raízes da equação característica da matriz R ou então autovalores, onde : $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 \dots > \lambda_p$. Para cada p autovalor λ_i corresponde a autovetor ou seja:

$$A_j = (a_{1j}, a_{2j}, a_{pj}); j = 1, 2, \dots \quad (11)$$

A contribuição de cada p componente possui e variância total que é proporcional ao seu autovalor:

$$e_j = \frac{\lambda_i}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p} * 100\% \quad (12)$$

A importância de cada componente principal geralmente tem sido avaliada com base na contribuição e proporção da variância total explicada pelo componente.

A projeção espacial dos autovetores, neste caso os “*loadings*”, caracterizam cada modo no espaço (variação espacial), contendo a informação mais importante para o entendimento dos autovalores. A variação temporal (*scores*) é feita através do coeficiente de expansão temporal, que se obtém através da projecção da matriz de dados sobre a matriz de EOFs (autovetores).

Para decidir quantas componentes devem ser retidas, tem-se recorrido a vários critérios, sendo que o mais simples o de eliminar aqueles autovalores inferiores a unidade (1). Segundo North et al. (1982), deve se ter o devido cuidado ao analisar dois ou mais autovalores com menor espaçamento, pois pode ocorrer sobreposição de informação e que conduzam a certos erros. Problemas desse gênero podem ser resolvidos recorrendo a técnicas que permitam maximizar a variância de cada modo, chamada rotação (Richman, 1986). Nesse caso, faz se a rotação ortogonal para cada CP na direção do seu grupo.

Em ciências atmosféricas é comum o uso da rotação varimax (APÊNDICE A), por meio desta, cada componente principal possui grupos com pesos significativos e os restantes são próximos de zero.

3.6. Correlação

A correlação foi aplicada entre anomalias de precipitação já descritas (GPCP) sobre a região SEA e anomalias de TSM nos três oceanos: Índico, Atlântico Sul e Pacífico Tropical, com o objectivo fundamental de identificar quais regiões oceânicas apresentam maior correlação com a precipitação na região SEA. A figura 9 apresenta as quatro (4) regiões oceânicas, sendo duas sobre o oceano Índico (WOIT e SWOI), uma sobre o oceano Atlântico Tropical Sul (ATS) e uma sobre o oceano Pacífico Tropical (Niño 3.4).

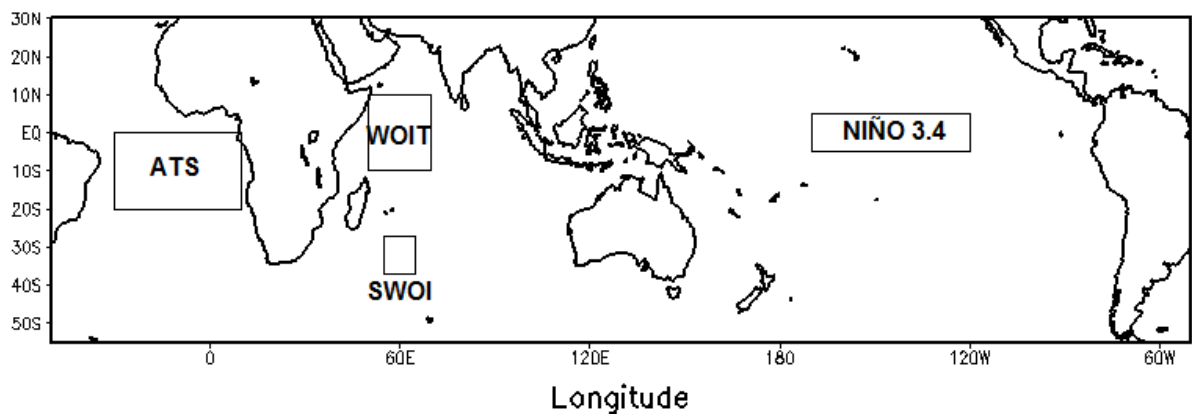


Figura 9: Ilustração esquemática de quatro (4) regiões oceânicas sobre as quais é feita a correlação entre anomalias de TSM e precipitação: duas regiões sobre o oceano Índico (WOIT e SWOI); uma sobre o oceano Atlântico Tropical Sul (ATS) e uma sobre o oceano Pacífico Tropical (Niño 3.4).

As quatro regiões em análise estão relacionadas com certos índices oceânicos, sendo que no presente estudo, foram consideradas anomalias para o período chuvoso na região SEA que vai desde outubro a março.

- a- Região sudoeste do oceano Índico (SWOI) na sua abreviatura em inglês SWIO, calculados a partir das anomalias de TSM entre as longitudes 55°E e 65°E e latitudes 37°S e 27°S;
- b- Região oeste do oceano Índico Tropical (WOIT) na sua abreviatura em inglês WTIO, calculados a partir das anomalias de TSM entre as longitudes 50°E e 70°E e latitudes 10°S e 10°N;

- c- Região do oceano Atlântico Tropical Sul (ATS) na sua abreviatura em inglês TAS, calculados a partir das anomalias de TSM entre as longitudes 30°W e 10°E e latitudes 20°S e 0°.
- d- Região do oceano Pacífico Tropical (Niño3.4), calculadas a partir das anomalias de TSM entre as longitudes 170°W e 120°W e latitudes 5°S e 5°N.

Após a remoção do ciclo anual dos dados mensais de TSM foram determinados Índices oceânicos, usando técnicas similares às de Oliveira (2008), calculando médias espaciais de anomalias de TSM nas respectivas áreas ou regiões para todo o período. Deste modo, para cada índice oceânico é determinada a correlação (r) com cada ponto da grade contendo a série temporal de anomalias de precipitação, recorrendo a equação de correlação de Person (13):

$$r = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2}} \quad (13)$$

Onde X e Y são as variáveis.

Apresenta-se a correlação em fase entre anomalias de TSM e precipitação nos períodos ONDJFM e DJF e correlação defasada entre anomalias de TSM no período ONDJF e precipitação no período NDJFM e TSM no período NDJ e precipitação DJF.

Por fim, os resultados são apresentados na forma de mapas contendo a correlação em fase e defasada para o nível de significância estatística usando o teste t-Student a 95% (APÊNDICE B).

3.7. Composições

A técnica de composições no presente trabalho é aplicada para investigar os padrões de circulação atmosférica na região SEA associada à TSM nos Oceanos adjacentes à região Sul da África e oceano Pacífico Tropical. Foram montadas por meio de campos médios anômalos (mensais) de TSM, fluxo de umidade integrado verticalmente, pressão e precipitação para cada ano.

3.7.1. Fluxo de umidade integrado verticalmente

Considerando que a maior parte da água na atmosfera encontra-se na baixa troposfera, o transporte de umidade está associado aos ventos em níveis baixos, assim, padrões de fluxos de umidade fornecem uma ideia sobre as fontes de origem de umidade que influencia posições regiões úmidas/secas. Sendo assim, no presente trabalho composições de fluxo de umidade específica e divergência de umidade integrado na vertical são determinados segundo Peixoto e Oort (1992), desde a superfície (P_{sup}) até ao nível dos 500 hPa (P_{500}), dada pelas equações 14 e 15.

$$\bar{Q} = \frac{1}{g} \int_{P_{sup}}^{P_{500}} q \bar{V} dp \quad (14)$$

$$div \bar{Q} = \frac{\partial Q_u}{\partial x} + \frac{\partial Q_v}{\partial y} \quad (15)$$

Onde: \mathbf{Q} vetor fluxo de umidade, componente zonal e meridional (Q_u e Q_v), \mathbf{g} é aceleração da gravidade, \mathbf{q} é a umidade específica, \mathbf{P} é a pressão, \mathbf{V} são componente zonal e meridional do vento (u, v).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo são apresentados os resultados obtidos e a discussão, considerando as técnicas utilizadas: **ACP, Análise de Correlação e Composições, assim como a climatologia da precipitação no período de outubro a março referente a algumas cidades de Moçambique.**

4.1. Climatologia da precipitação no período de outubro a março

Através de dados de precipitação médias mensais nas cidades capitais das províncias de Moçambique e algumas cidades, entre os anos 1981 e 2010, são apresentados os gráficos para o período úmido e chuvoso em três regiões, Norte (Fig. 10), Centro (Fig. 11) e Sul (Fig. 12). Trata-se de um período em que Moçambique registra os maiores valores de precipitação ao longo do ano. Esses gráficos estão de acordo com as descrições feitas por Nicholson (2000), Tyson e Preston-White (2000), sobre a precipitação na região SA, ocorrendo entre dezembro a março.

Observa-se que os maiores valores de precipitação mensal ocorrem geralmente no trimestre dezembro a fevereiro (DJF) quase em todas as três regiões de Moçambique, sendo que os maiores picos são observados nos meses de janeiro ou fevereiro. Algumas localidades do Centro e Norte, apresentam valores de precipitação mais altos no trimestre janeiro a março (JFM), como é o caso das cidades da Beira (Fig. 11d) e Quelimane (Fig. 11c), na região central, e as cidades de Pemba (Fig. 10c) e Nampula (Fig. 10d) na região norte, onde a precipitação em março supera o mês de dezembro. Isto é devido ao fato das regiões Centro e Norte, no mês de março estarem sob maior influência da convergência entre os fluxos de leste e nordeste como foi apresentado por Torrance (1972) e sujeitas à advecção de umidade proveniente da região oceânica tropical, dada a sua localização junto à costa oceânica no canal de Moçambique, o que não é observado no interior do país nem na região sul.

A precipitação média no mês de janeiro excede os 250 mm, particularmente nas cidades de Nampula (Fig. 10d), Lichinga (Fig. 10a), Quelimane (Fig. 11c) e Beira (Fig. 11d). Na região sul ocorre menores valores de precipitação relativamente às duas primeiras regiões (Norte e Centro), sendo que a precipitação não atinge os 200 mm no trimestre mais chuvoso (DJF), no geral (Figs. 12a-d).

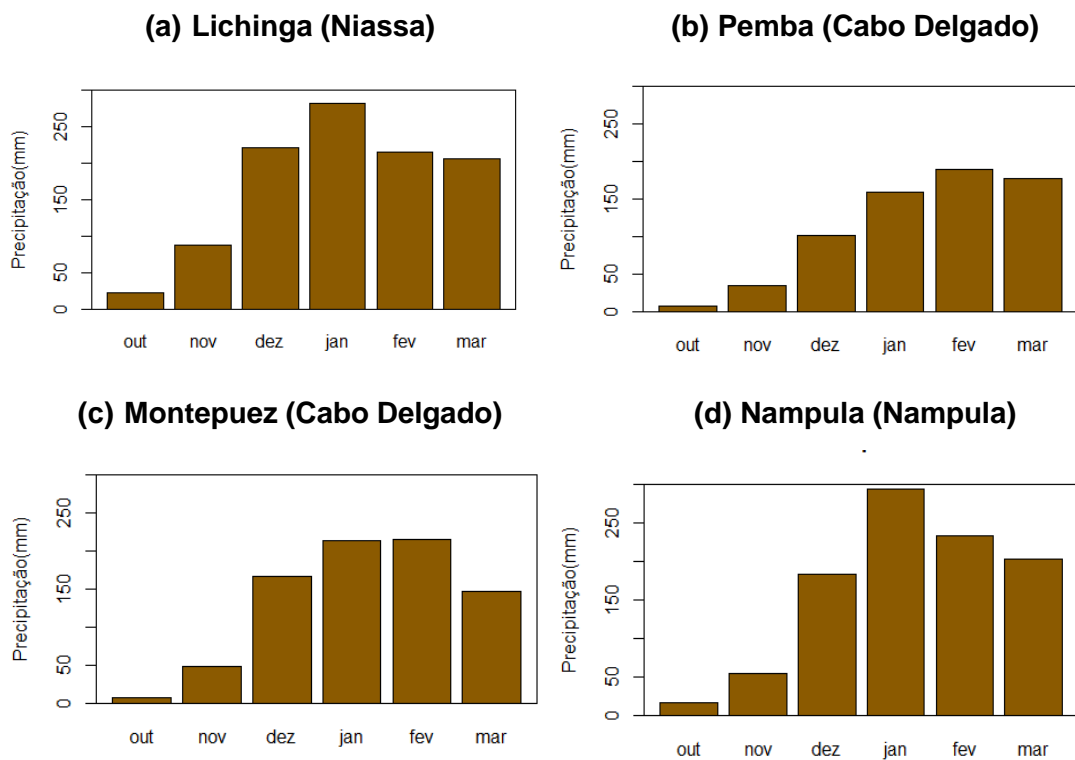


Figura 10: Climatologia da precipitação (mm) no período de outubro a março (1981-2010), a partir de dados de cidades capitais-região norte de Moçambique, com exceção de Panda e Montepuez; (a) Lichinga (Niassa); (b) Pemba (Cabo Delgado); (c) Montepuez (Cabo Delgado); (d) Nampula (Nampula); O nome entre parênteses indica o nome da Província.

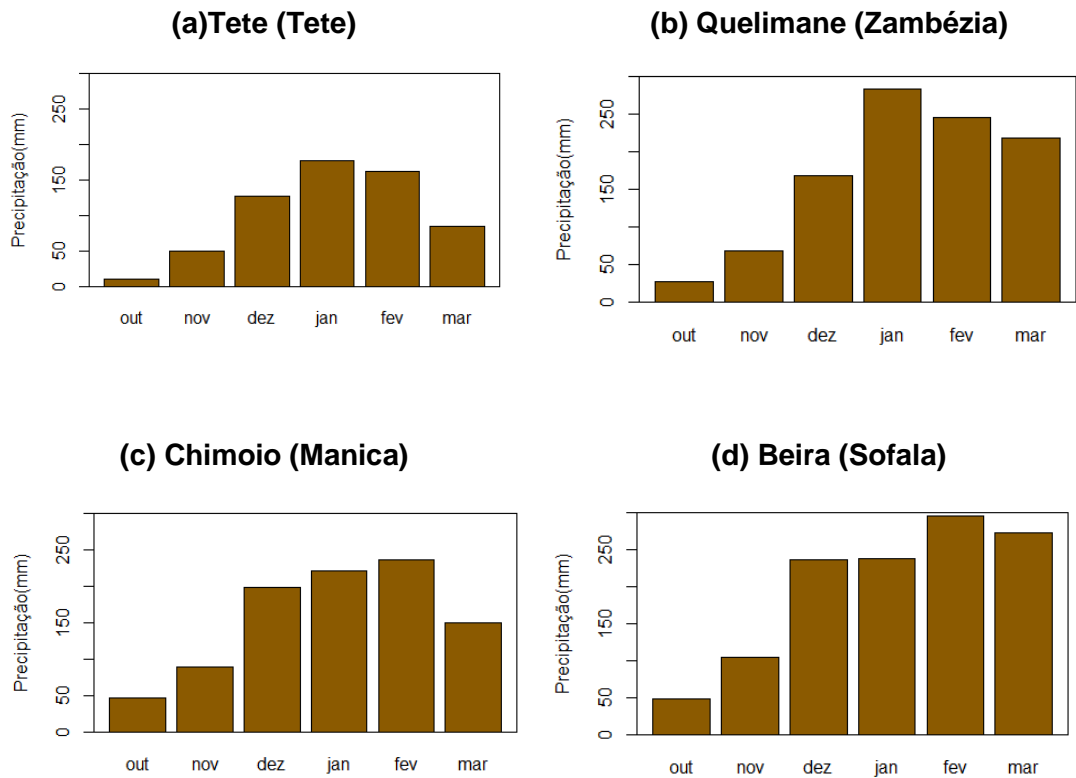


Figura 11: Idem a Figura 10, mas para a região centro; (a) Tete (Tete); (b) Quelimane (Zambézia); (c) Chimoio (Manica); (d) Beira (Sofala). O nome entre parênteses indica nome da Província.

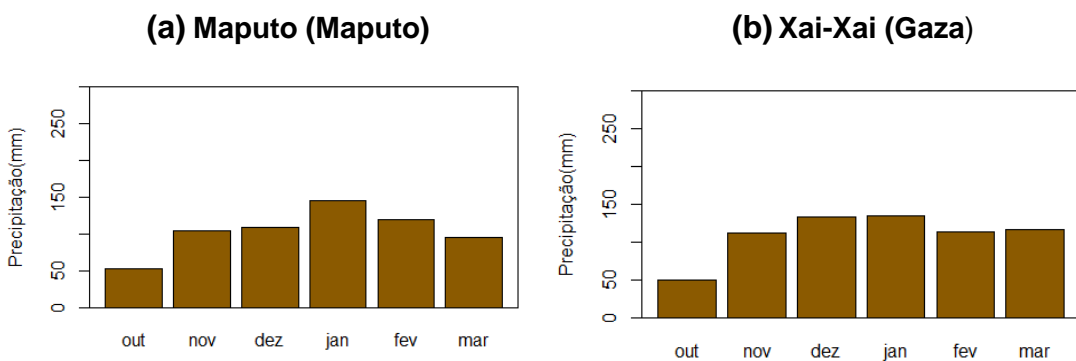
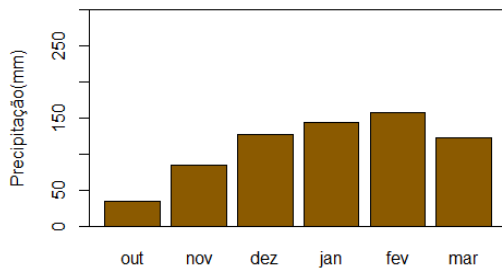
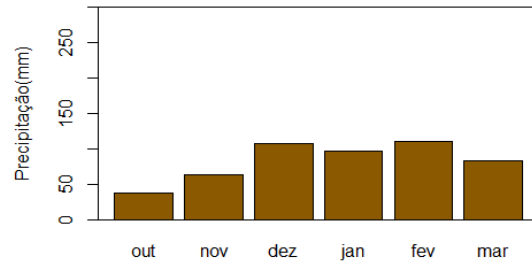


Figura 12: Idem a Figura 10, mas para a região sul; (a) Maputo (Maputo); (b) Xai-Xai (Gaza); (c) Inhambane (Inhambane); (d) Panda (Inhamabane). O nome entre parênteses indica nome da Província.

(Cont.)

(c) Inhambane (Inhambane)**(d) Panda (Inhambane)**

Embora o mês de outubro apresente valores de precipitação relativamente menores, é a partir desse mês que se verifica o aumento da precipitação, para todos os locais do País.

As regiões centro e norte de Moçambique apresentam uma distribuição mensal de precipitação similar, maiores valores de precipitação que aumentam de outubro até janeiro e reduzindo até março e com maiores variações de um mês para o outro. Na região sul, além de apresentar valores menores de precipitação entre novembro e março, as variações de precipitação são menores de um mês para o outro. As diferenças na distribuição da precipitação por regiões assim como na variação por períodos (meses ou trimestres), deve-se provavelmente a razões como: condições dinâmicas atuantes na distribuição da precipitação na região de Moçambique variam de região para região ou então atuam de forma diferente, segundo as condições de cada região ou a interação entre os vários sistemas meteorológicos. Esse fato pode ser verificado através dos fluxos predominantes na região de Moçambique idealizados por Torrance (1972), assim como o deslocamento da região convectiva tropical, que estende-se desde a região norte até a região central de Moçambique (Washington e Tood, 1999).

4.1. Análise de Componentes Principais

Na presente seção são apresentados os resultados da análise de componentes principais para dados de precipitação para o período de outubro a março (ONDJFM) e dezembro a fevereiro (DJF).

A tabela 2 apresenta a variância explicada em cada modo para os períodos ONDJFM e DJF, rotacionado e não rotacionado dos primeiros 19 modos. Observa-se que para o período ONDJFM, os três primeiros modos rotacionados têm variância explicada de 43,7%, sendo que 21,5% para o primeiro modo, 12,3% no segundo modo e 9,9% para o terceiro modo. Para os modos não rotacionados, eles distribuídos em 22,7%, 13,3% e 10,5% do primeiro ao terceiro respectivamente. Para o período DJF, os três primeiros modos rotacionados têm variância explicada de 45,3%, sendo 22,2% para o primeiro modo, 12,9% segundo modo e 10,2% para o terceiro modo e para os modos não rotacionados tem-se 48,8%, com 23,4% no primeiro modo, 13,8% no segundo e 11,6% para o terceiro modo.

Tabela 2: Variância explicada por cada modo para os períodos ONDJFM e DJF, rotacionado e não rotacionado, dada em porcentagem (%), para os 19 primeiros modos.

CP	Período: ONDJFM		Período: DJF	
	Não Rotacionado (%)	Rotacionado (%)	Não Rotacionado (%)	Rotacionado (%)
1	22,7	21,5	23,4	22,2
2	13,3	12,3	13,8	12,9
3	10,5	9,9	11,6	10,2
4	7,2	8,8	7,6	8,6
5	7,1	6,1	7,0	6,2
6	4,2	4,8	4,2	4,9
7	4,0	4,5	4,0	4,6
8	3,2	3,5	3,1	3,3
9	2,4	2,7	2,4	2,7
10	2,1	2,3	2,0	2,3
11	1,9	2,0	1,9	2,1
12	1,9	1,9	1,7	1,8
13	1,8	1,8	1,7	1,7
14	1,6	1,6	1,5	1,4
15	1,5	1,5	1,4	1,4
16	1,4	1,2	1,1	1,2
17	1,2	1,1	1,0	1,1
18	1,1	1,1	0,9	1,0
19	0,9	0,9	0,9	0,9

Para os modos rotacionados, nota-se que tanto para o período de outubro a março como para dezembro a fevereiro, os primeiros três modos apresentam uma variância explicada entre 43 a 46%; no entanto, as variâncias explicadas em cada modo são próximas, havendo diferenças apenas nos padrões espaciais (*loadings*), como será visto a seguir.

Para o período de outubro a março o primeiro modo (CP1) rotacionado, com 21,5% de variância explicada, apresenta-se em forma de dipolo com sinal negativo sobre uma parte da região centro e sul de Moçambique, centrado sobre as províncias da região sul do País (Maputo, Gaza e Inhambane), entre as latitudes 20°-25°S e longitudes 31°- 38°S (Fig.13a). O polo negativo deste modo abrange países como o Zimbábue e África do sul, toda costa centro e sul e sobre o canal de Moçambique. O sinal positivo abrange uma parte da região norte de Moçambique, províncias de Niassa e Cabo Delgado e nordeste de Nampula, norte e nordeste de Moçambique (sobre o canal de Moçambique), países como o Malawi, Tanzania e Zâmbia (Fig.13a).

A série temporal do primeiro modo rotacionado (Fig. 13c) apresenta oscilações com amplitudes positivas nos anos de 1997, 2002, 2004, 2006, 2008, 2009, 2011 e amplitudes negativas nos anos de 1998, 1999, 2000, 2005, 2007, 2012. Fazendo uma comparação com eventos de ENOS através da série temporal (mensal) do ONI⁴ (*Oceanic Niño Index-ANEXO A*), observa-se que maior parte das amplitudes positivas ocorre em anos de El Niño e as negativas em anos de La Niña (Fig. 13d).

⁴ < http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/detrend.nino34.ascii.txt >; Acesso em: 4 Out. 2014.

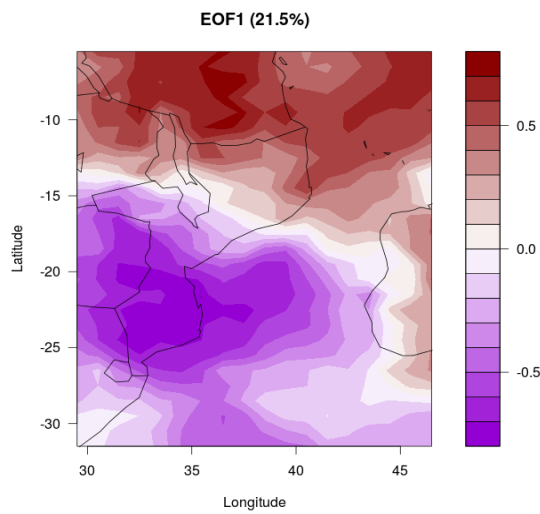
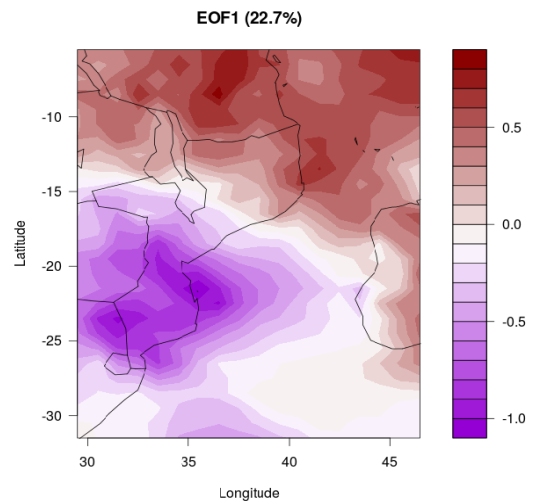
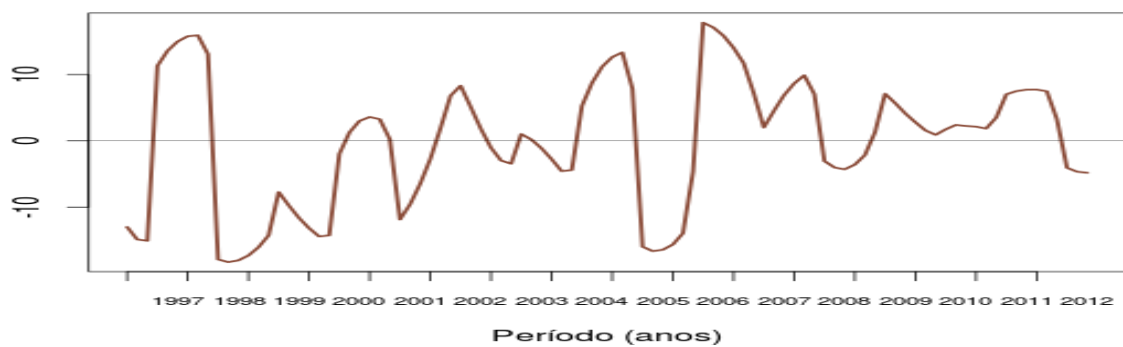
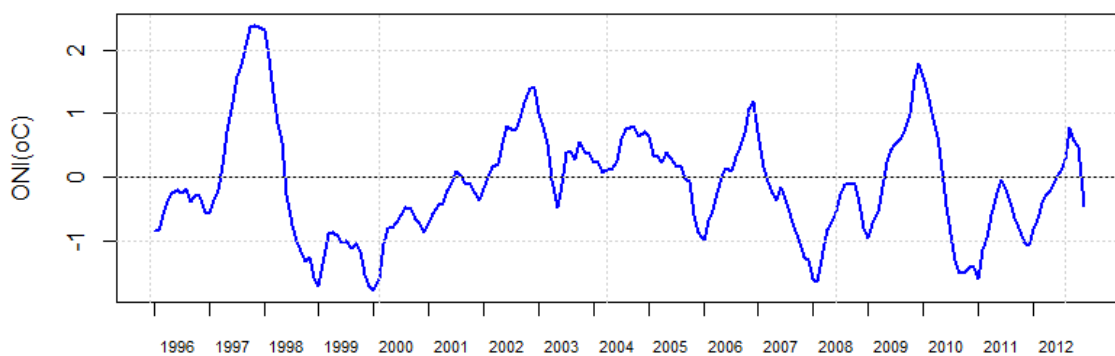
(a) Rotacionado (OND_JFM)**(b) Não rotacionado (OND_JFM)****(c) série temporal (OND_JFM)****(d) Índice ONI-Niño 3.4**

Figura 13: (a) Padrão espacial do primeiro modo rotacionado; (b) primeiro modo não rotacionado; (c) série temporal do primeiro modo rotacionado, período ONDJFM e (d) Série temporal de ONI (Oceanic Niño Index) para o período de 1996-2012 (mensais).

Para o período de dezembro a fevereiro, o padrão espacial do primeiro modo rotacionado assim como o não rotacionado (Fig.14a, b) é similar primeiro modo

referente ao período ONDJFM, mas com sinais trocados com o polo positivo na região sul e centro de Moçambique e negativo na região norte de Moçambique (Fig.14), embora o fenômeno que está associado a este modo é o mesmo (ENOS). A série temporal deste modo (Fig. 14b) apresenta amplitudes negativas nos anos de 1997, 2000, 2004, 2006, 2008, 2009, 2011 e amplitudes positivas nos anos de 1998, 1999, 2001, 2003, 2012. Essas oscilações são similares ao gráfico da série temporal do primeiro modo (ONDJFM), apresentado pela figura 13c. Por sua vez, apresenta se na maior parte dos anos com ocorrência de eventos de ENOS.

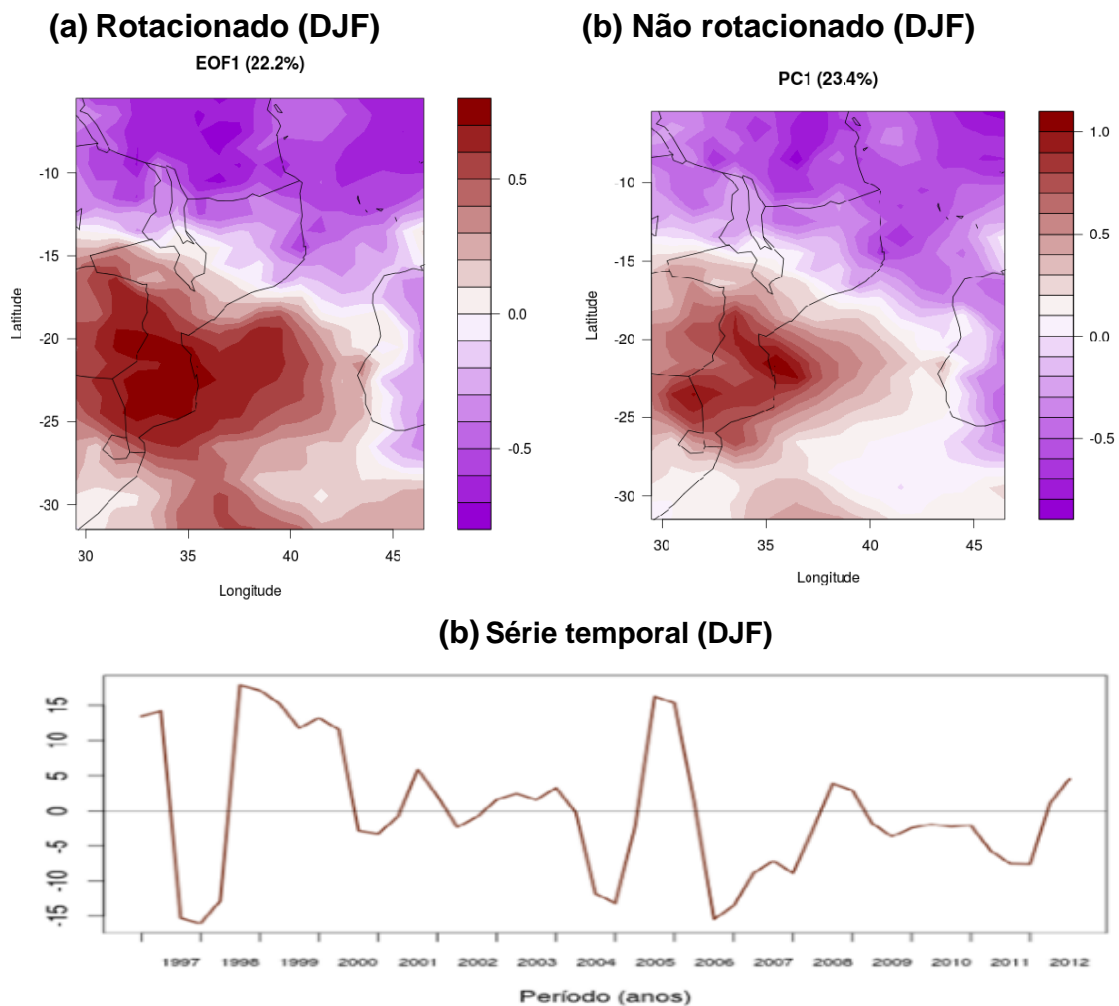


Figura 14: Idem a Figura 13, mas para o período DJF.

Este modo que se apresenta na forma dipolar tanto para período ONDJFM como em DJF, representa a principal variação da precipitação na região SEA. Resultados similares foram observados em estudos anteriores realizados sobre

regiões relativamente mais extensas, como o caso de Rocha e Simmonds (1997), usando dados de precipitação mensal nos meses de novembro a março de 1951 a 1989 (Fig. 15b), Janowiak (1988), usando dados de precipitação mensal entre dezembro a março de 1927 a 1973 (Fig. 15a) e Goddard e Graham (1999), usando dados de precipitação mensal entre novembro a janeiro de 1950 a 1995, onde todos apresentaram um modo de dois sinais contrários sobre região SEA.

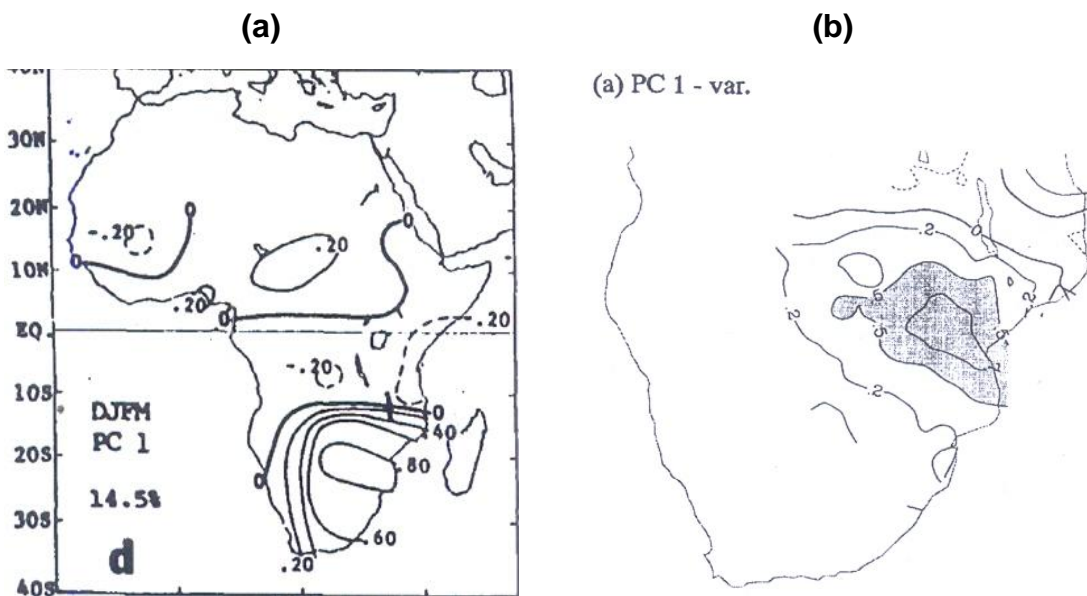


Figura 15: (a) Modo PC1 obtido por Jonowiak (1987), no estudo da variação interanual da precipitação em África, nos meses de dezembro a março (DJFM) de 1927 a 1973 e (b) Modo PC1 obtido por Rocha e Simmonds (1997), no estudo da variabilidade interanual da precipitação na região SEA, usando dados mensais de precipitação de novembro a março (NDJFM), entre 1951 e 1989.

Segundo Goddard e Graham (1999) o modo dipolar se apresenta como resposta da variação da TSM do oceano Pacífico Tropical, sendo que no caso de El Niño teria um determinado padrão e contrário na presença de La Niña, de acordo com os estudos anteriores de Ropelewski e Halpert (1987), sobre o padrão global e regional da precipitação associada ao ENOS. Além disso, os mesmos autores afirmaram que o padrão espacial de forma dipolar também poderia estar associado à variações de TSM no oceano Índico tropical e subtropical.

No presente estudo o mesmo padrão é observado, pois a correlação entre anomalias de precipitação e TSM em duas regiões do oceano Índico (uma tropical e

a outra subtropical) apresenta-se na forma de dipolo sobre a região de Moçambique, como será apresentado mais adiante.

Além de relacionar este modo dipolar com variações de TSM nos oceanos Pacífico e Índico, Goddard e Graham (1999) e Rocha e Simmonds (1997) afirmaram que o polo positivo de mesmo, na região sudeste ocorria na região da ZCIT que influencia o regime de precipitação no período compreendido entre setembro e fevereiro, para toda a região SA e SEA, cuja posição a sul ocorre entre os meses de dezembro a fevereiro com sua posição extrema em janeiro (Tyson e Preston-White, 2000). Trata-se de um sistema onde se verifica a convergência dos ventos alísios, elevada temperatura superficial, ocorrendo a banda de máxima cobertura das nuvens de origem convectiva que é um dos principais mecanismos responsáveis pelo aquecimento da atmosfera, causado pela liberação de calor latente. Nessa região são observadas condições de fluxos convergente e divergente, causados pelo aquecimento e resfriamento de TSM do oceano Índico ou ainda anomalias no movimento vertical associado a variações de TSM no oceano Pacífico.

O padrão espacial apresentado por este modo para dois períodos (ONDJFM e DJF) na forma dipolar revela que até certo ponto, na região de Moçambique o impacto de alguns fenômenos apresenta influências diferentes nas regiões norte, centro e sul do País, podendo até influenciar no padrão da climatologia da precipitação.

As figuras 16 e 17 apresentam o segundo modo (CP2) para o período outubro a março (ONDJFM) e dezembro a fevereiro (DJF), respectivamente. Para o período ONDJFM, com 12,3% de variância explicada, observa-se com sinal negativo sobre a maior parte do território moçambicano, com exceção de uma parte da região sul e nordeste. As regiões centro e norte de Moçambique, incluindo países como Zimbábue (leste) e Zâmbia são abrangidos pelo mesmo sinal, com uma orientação no sentido noroeste-sudeste estendendo-se até a costa oeste de Madagascar (Fig.16a). O modo não rotacionado com 13.3% de variância explicada, apresenta um padrão similar, mas com sinal trocado, sendo positivo sobre a região centro e norte de Moçambique (Fig.16b).

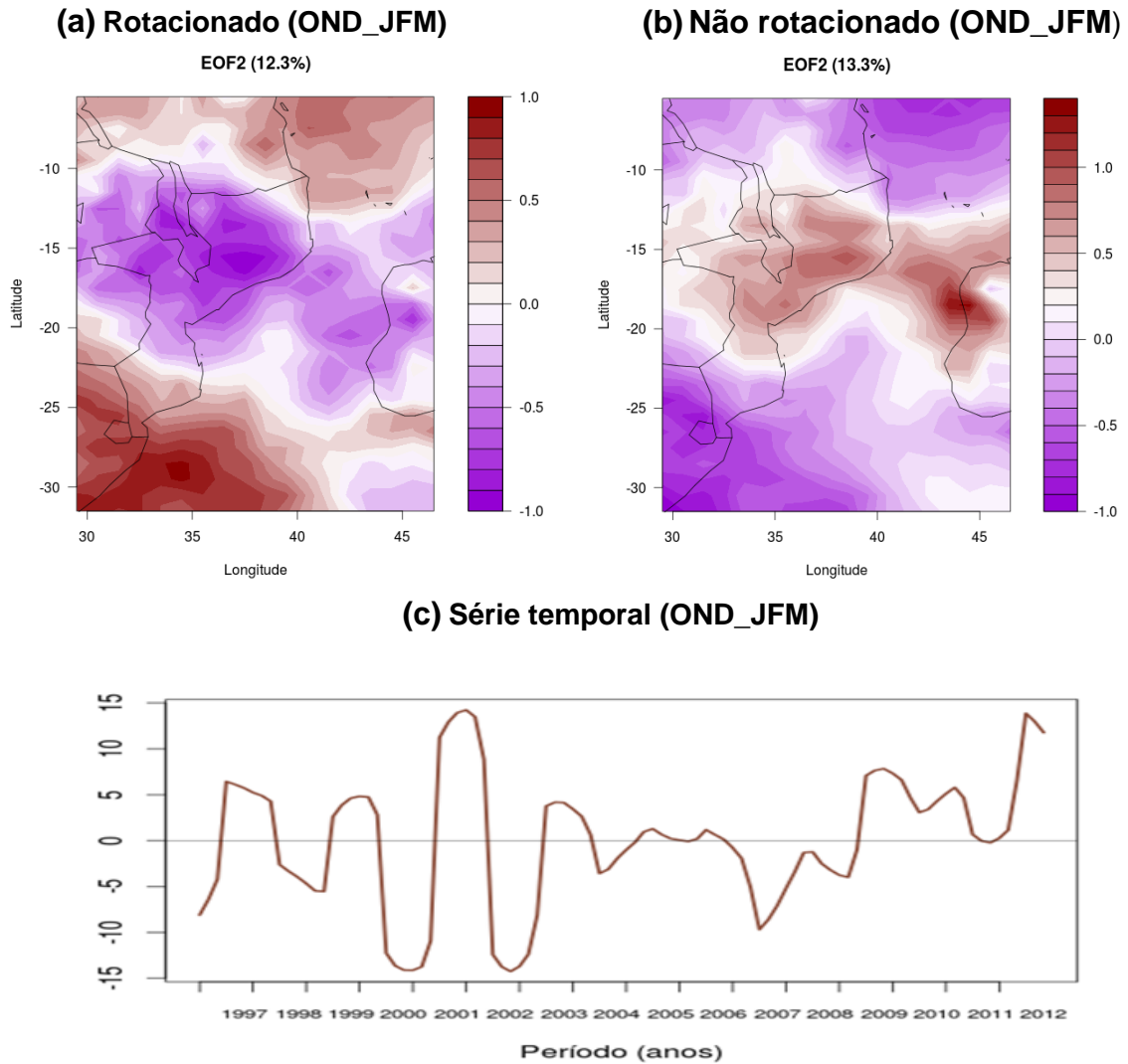


Figura 16: (a) Padrão espacial do segundo modo rotacionado (ONDJFM); (a) Padrão espacial do segundo modo não rotacionado (ONDJFM) e (c) série temporal do segundo modo rotacionado (ONDJFM).

Para o período DJF, tanto o modo rotacionado assim como o não rotacionado (Fig.17a, b), onde as regiões centro e norte de Moçambique apresentam sinal positivo, com a mesma orientação noroeste-sudeste, com exceção de uma parte da região sul e nordeste de Moçambique, incluindo países como Zimbábue (nordeste), Zâmbia e Malawi.

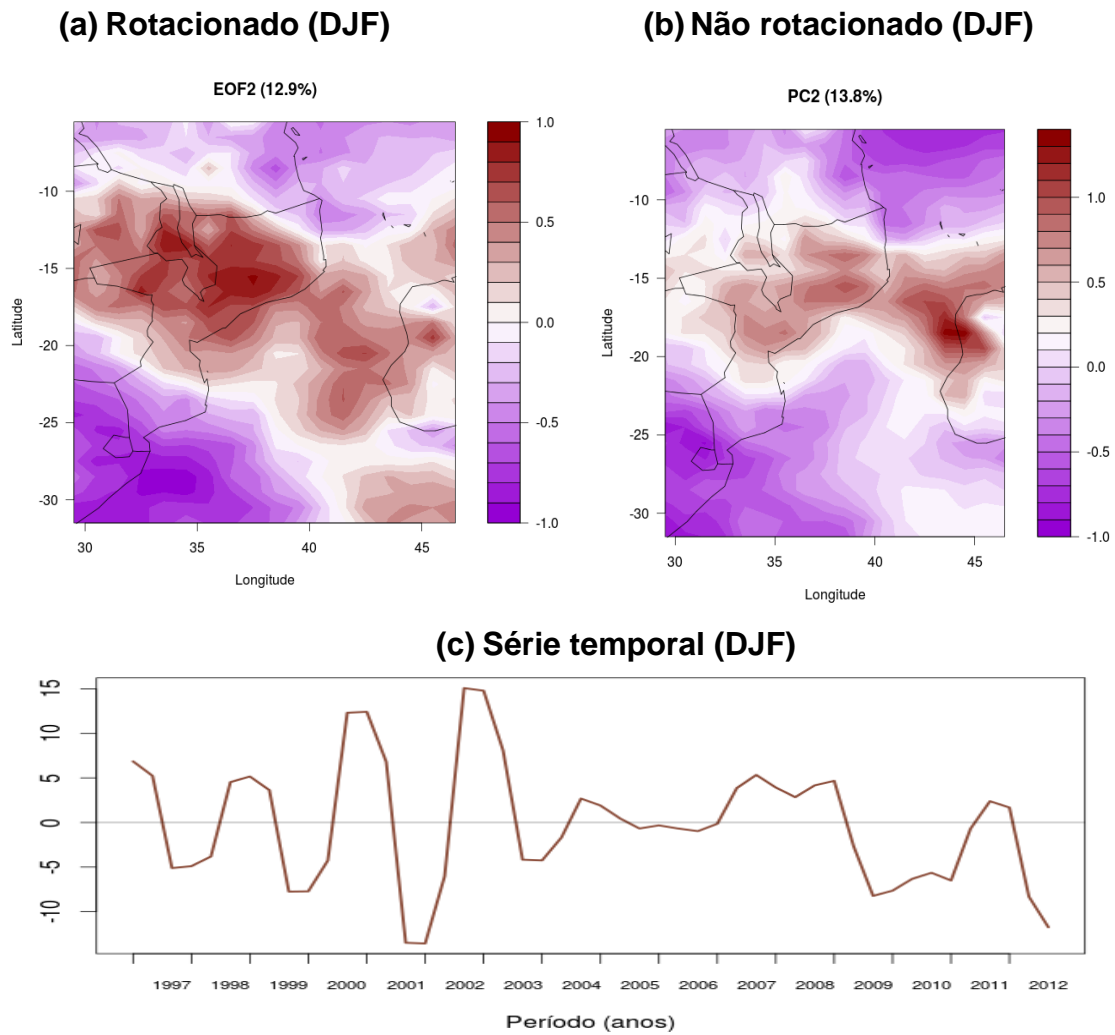


Figura 17: Idem a Figura 16, mas para o período DJF.

Este modo é similar aos resultados de estudos realizados por Washington e Todd (1999) e Manhique et al. (2011). Washington e Todd (1999) usando dados de precipitação diária de estimativa por satélite no período de verão nas regiões SA e SWOI, de novembro a março, fazendo EOF para cada mês, obteve o modo com o mesmo padrão, para quase todos os meses, com exceção do mês de fevereiro (Fig. 18a), enquanto que Manhique et al. (2011), no estudo sobre análise da frequência interanual de sistemas sinóticos de verão, responsáveis pela ocorrência e variação da precipitação no período de janeiro a março e usando análise multivariada por Cluster, obteve um padrão similar (Fig.18b).

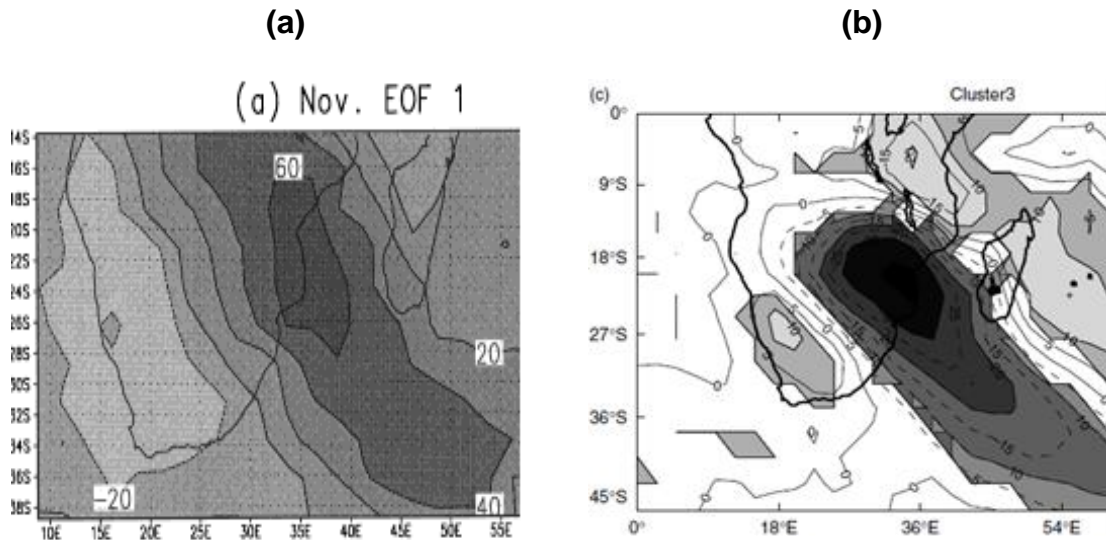


Figura 18: (a) Modo PC1 para o mês de novembro, obtido por Washington e Todd (1999), usando dados de precipitação diária de estimativa por satélite no período de verão nas regiões SA e SWOI, no período de novembro a março. (b) Cluster 3 obtido por Manhique et al. (2011), no estudo sobre análise da frequência interanual de sistemas sinóticos de verão, responsáveis pela ocorrência e variação da precipitação no período de janeiro a março na região SEA.

Segundo estes autores este modo se apresenta numa região com atividade convectiva associada às variações de TSM no oceano Índico, designado por “*Tropical Temperate Troughs*”. Os resultados obtidos por Cook (1999), que associa a banda de nebulosidade com a mesma orientação noroeste-sudeste, cuja intensidade da atividade convectiva é determinada pelas condições superficiais na região sul da África, sugere que a sua posição depende do ASI. Ninomiya (2008), por meio do modelo de circulação geral da Atmosfera, usando dados da TSM e distribuição de gelo, mostra a ZCIS sobre a região de Moçambique com a orientação noroeste-sudeste, similar a este modo (fig 19b). Na escala sinótica, esta região apresenta uma nebulosidade com a mesma orientação noroeste-sudeste, que é responsável pela ocorrência de precipitação sobre o continente e Oceano (Fig.19b).

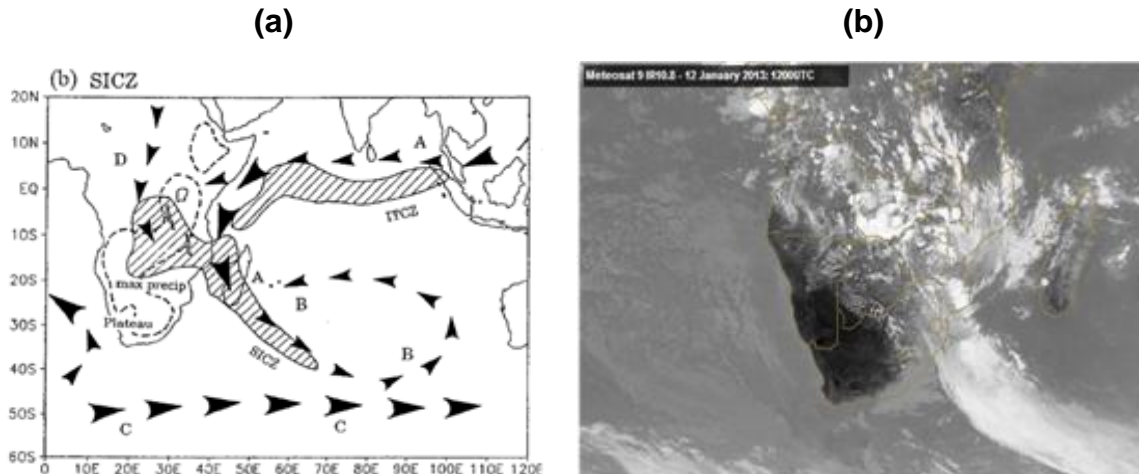


Figura 19: (a) Zona de Convergência do Índico Sul (ZCIS), através da simulação realizada por Ninomiya (2008), por meio do modelo de circulação geral da Atmosfera, usando dados de TSM e distribuição de gelo entre 1979-2002; (b) Imagem de satélite METEOSAT⁵ - 12 de janeiro de 2013-12UTC, mostrando a banda de nebulosidade sobre a região SA.

De forma geral, pode-se afirmar que este modo está associado a Zona de Convergência do Índico Sul (ZCIS) ou ainda a sistemas de bandas de nebulosidade que se formam na região desde o continente até o oceano Índico, com a orientação noroeste-sudeste.

Finalmente, as figuras 20 e 21 apresentam o terceiro modo rotacionado e não rotacionado para os dois períodos ONDJFM e DJF respectivamente. Na figura 20a, o modo com 9,9% de variância explicada apresenta sinal positivo sobre uma parte da região norte de Moçambique (Províncias de Nampula e Cabo Delgado), até a costa noroeste de Madagascar e uma parte da região centro e sul de Moçambique e países como Zimbábue e África do Sul. O sinal negativo ocorre sobre a região do canal de Moçambique a sul da latitude 18°S e o outro polo negativo a norte da latitude 9°S, sobre o oceano Índico e parte da Zâmbia e Malawi. No geral, este modo apresenta sinal positivo sobre maior parte do território moçambicano. O modo não rotacionado, com 10,5% de variância explicada, apresenta um padrão com sinal negativo sobre uma parte da região centro e norte de Moçambique.

⁵ <http://www.eumetrain.org/eport/archive_saws.html?width=1600&height=900t>. Acesso em: 20 Set. 2013.

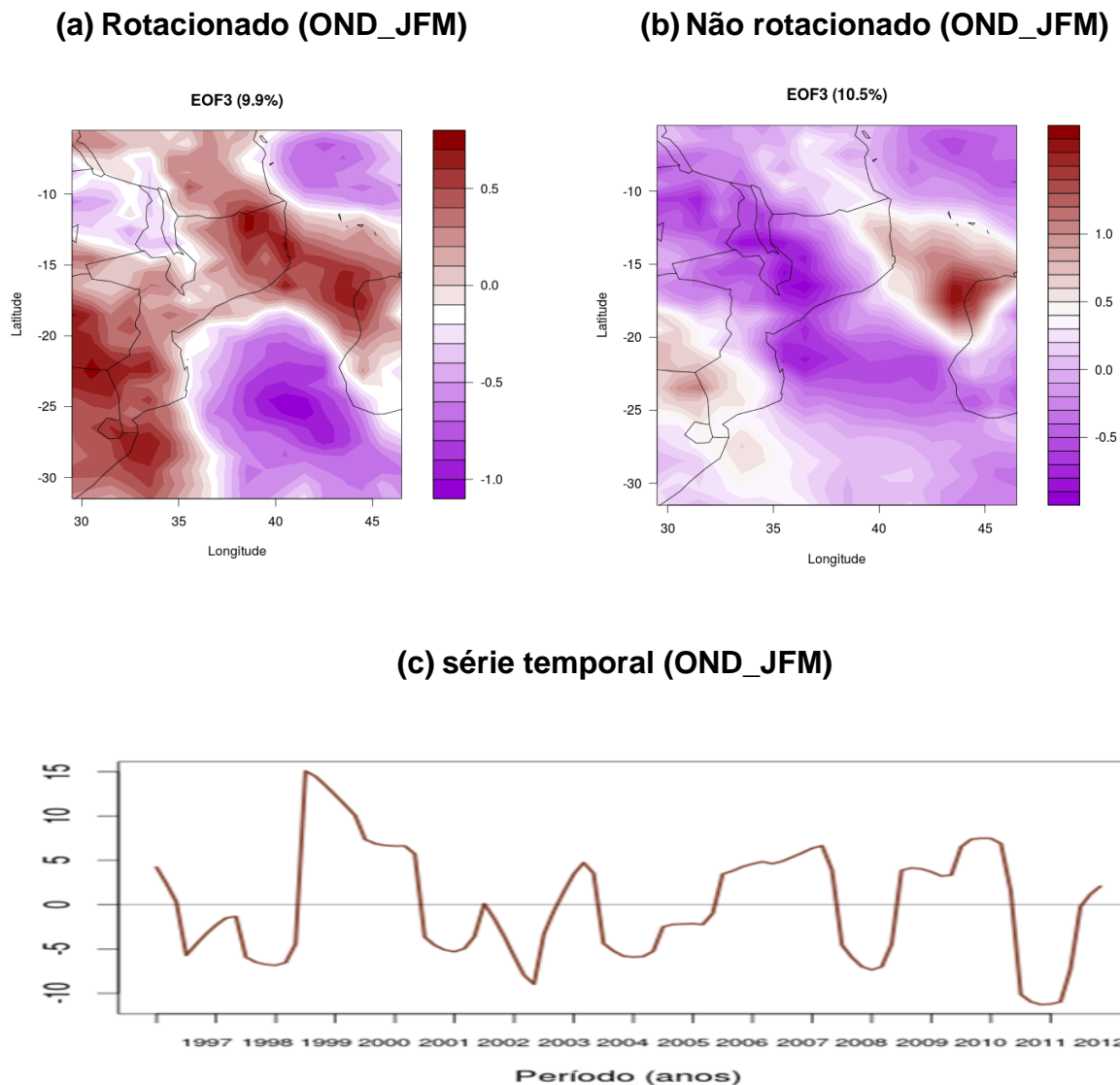


Figura 20: (a) Padrão espacial do terceiro modo rotacionado (ONDJFM); (a) Padrão espacial do terceiro modo não rotacionado (ONDJFM) e (c) série temporal do terceiro modo rotacionado (ONDJFM).

Para o período DJF, o terceiro modo rotacionado, com 10,2% de variância explicada (Fig.21a), apresenta sinal negativo sobre uma parte da região norte de Moçambique (Províncias de Nampula e Cabo Delgado), até a costa noroeste de Madagascar e uma parte da região centro e sul de Moçambique e países como Zimbábue e África do Sul. O sinal positivo é observado sobre a região do canal de Moçambique a sul da latitude 17°S e o outro polo negativo ocorre a norte da latitude 10°S sobre o oceano Índico e uma parte da Zâmbia. Este padrão é similar ao observado no período ONDJFM, sendo similar para o modo não rotacionado com 11,6% de variância explicada (Fig.21b).

Este modo (terceiro) para os dois períodos (ONDJFM e DJF) representa um padrão similar, pois, para o território moçambicano, há redução ou aumento de precipitação nas regiões norte, especificamente nas províncias de Cabo Delgado e Nampula e na região centro, província de Manica e junto com a República do Zimbábue e a província de Gaza, região sul de Moçambique, assim como a sudeste da província de Maputo, sobre o oceano Índico (Fig. 20a e 21a).

Estudos anteriores realizados sobre a África como em Washington e Todd (1999), Manhique et al. (2011), Jonowiak (1987) e Rocha e Simmonds (1997), não encontraram um padrão similar a este. Isso se deve ao fato que a grande maioria desses estudos usarem em suas análises dados de precipitação sobre superfícies continentais, deixando de lado a informação sobre o canal de Moçambique (superfície oceânica) que é importante para a análise.

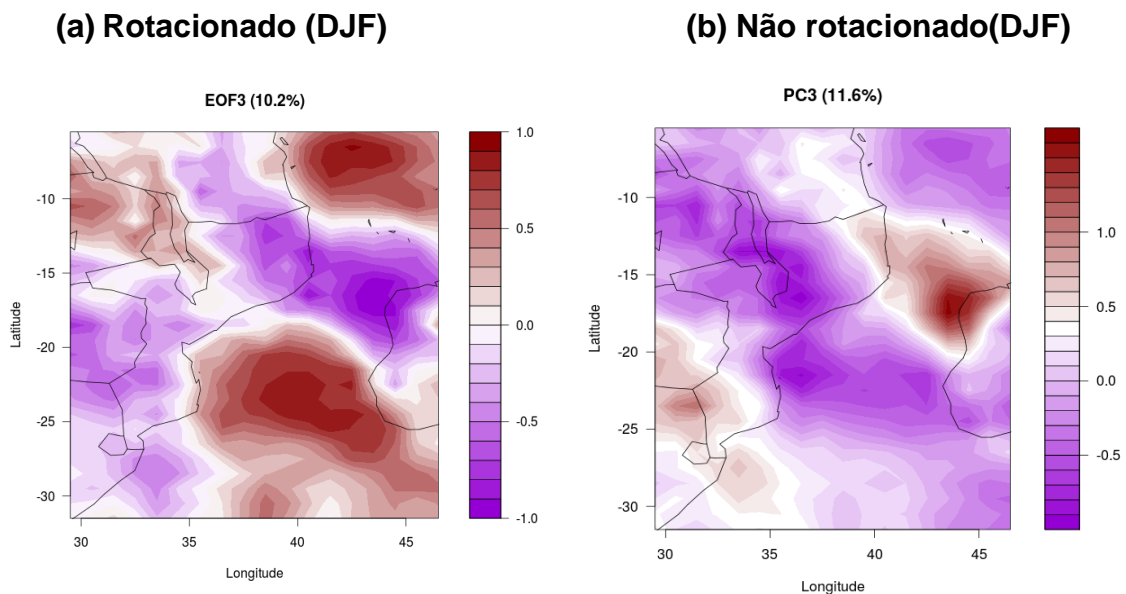
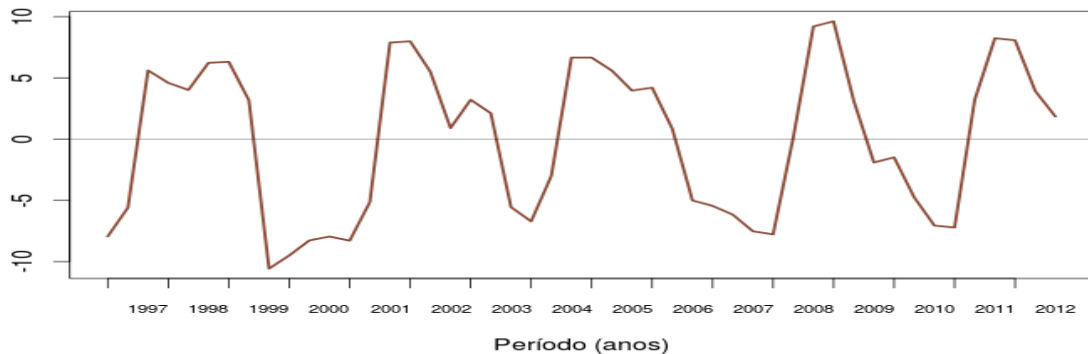


Figura 21: Idem a Figura 20, mas para o período DJF.

(Cont.)

(c) série temporal (DJF)



4.2. Análise de Correlação

A seguir são apresentados os resultados da Análise de correlação entre anomalias de TSM entre as quatro regiões oceânicas: SWOI, WOIT, ATS E NIÑO 3.4 e a precipitação na região SEA.

4.2.1. Região Sudoeste do oceano Índico (SWOI)

A figura 22a apresenta a correlação em fase entre anomalias de TSM na região Sudoeste do oceano Índico (SWIO) e precipitação, onde se observa que a maior parte do território moçambicano apresenta correlação positiva incluindo países como Zimbábue, Zâmbia, Malawi, Tanzânia, assim como o canal de Moçambique e a ilha de Madagascar. Em Moçambique ocorre sobre a região centro e norte nas províncias de Manica, Tete, Zambézia, Niassa, Cabo Delgado e Nampula. Correlação negativa é observada a sul de Madagascar, entre as latitudes 26°S a 30°S, ocorrendo numa área relativamente menos extensa, na costa leste da Tanzania sobre o oceano Índico a partir da latitude 6°S para o norte e a sul da Ilha de Madagascar (sul da latitude 26°S).

Na correlação defasada (Fig. 22b) entre anomalias de TSM no período de outubro a fevereiro (ONDJF) e precipitação no período de novembro a março (NDJFM), nota-se uma mudança no padrão espacial de correlação em relação a correlação em fase (Fig. 22a), sendo que a região com maiores valores de

correlação positiva encontra-se mais a sul, abrangendo o território do Zimbábue, e Moçambique nas províncias de Tete, Manica e Zambézia. No geral, sobre Moçambique, há correlação positiva. Nota-se ainda que a região das correlações negativas a nordeste de Moçambique é mais pronunciada na correlação defasada, sendo que a região com correlação negativa a sul de Madagascar também é observada e mais extensa em comparação ao caso anterior (em fase).

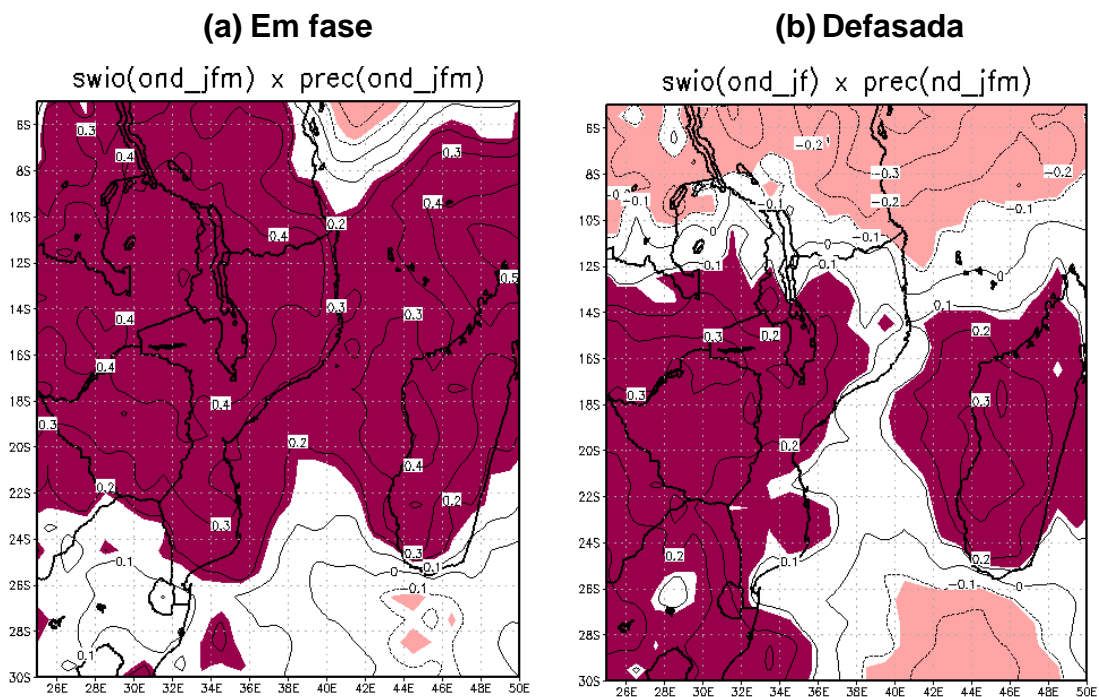


Figura 22: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região SWIO no período ONDJFM e precipitação no período ONDJFM. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região SWIO no período ONDJF e precipitação no período NDJFM. Em marrom correlação positiva e rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.

Para o período DJF (Fig.23), a correlação entre anomalias de TSM e precipitação apresentam correlações positivas sobre a região centro e sul de Moçambique e países como Zimbábue, África do Sul (nordeste), Zâmbia, Madagascar, uma parte do canal de Moçambique, a sul da latitude 5°S e longitudes 38°E- 44°E e sobre o oceano Índico na sua maior parte. E correlações negativas são observadas nas regiões acima da latitude 12°S, incluindo uma região de Moçambique, sendo de extensão menor relativamente a região com correlação positiva.

Para a correlação defasada entre anomalias de TSM no período NDJ e precipitação em DJF (Fig. 23b) nota-se que as áreas com correlação negativa são mais extensas em relação a correlação em fase entre os meses DJF, sendo que a região norte de Moçambique, a partir de 15°S e incluindo as províncias do norte, assim como sobre a costa oceânica apresentam correlação negativa não significativa.

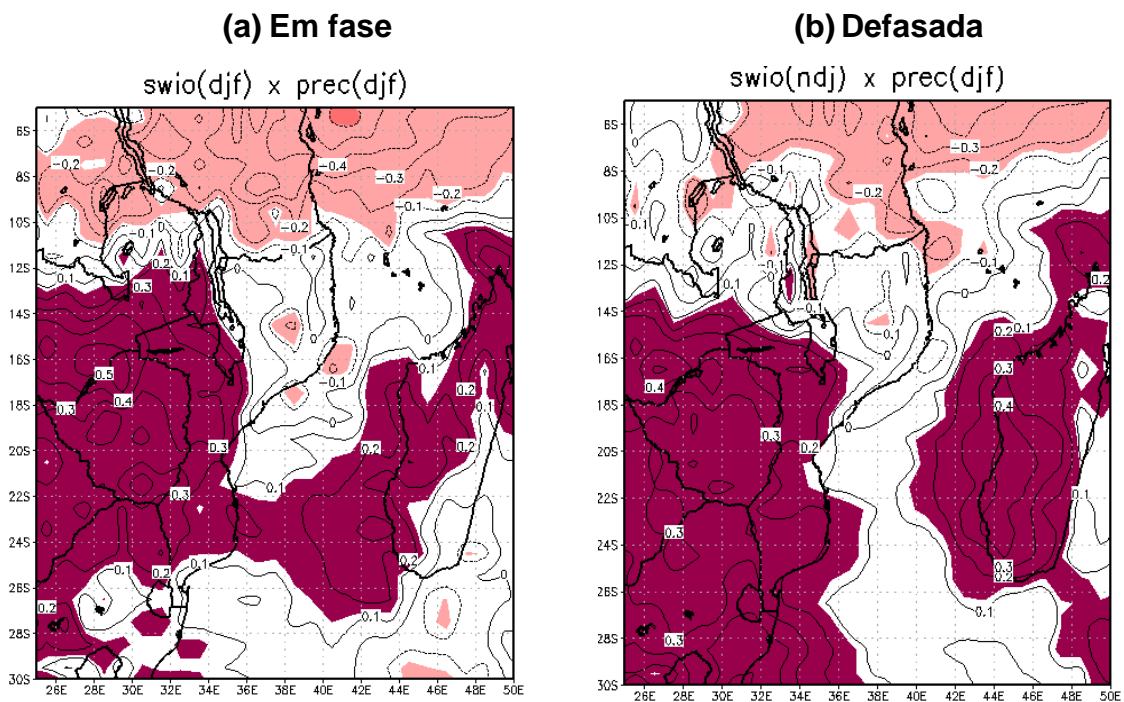


Figura 23: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região SWIO no período DJF e precipitação no período DJF. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região SWIO no período NDJ e precipitação no período DJF. Em marrom correlação positiva e em rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.

No geral, a correlação entre anomalias de TSM na região SWIO e a precipitação apresenta padrão de correlação positiva na maior parte de Moçambique. Este resultado é semelhante aos resultados obtidos por Manhique et al. (2011), em seus estudos sobre análise interanual de principais sistemas sinóticos no período de verão na região SA, onde mostraram que a precipitação na região centro e sul de Moçambique apresentava correlação positiva com anomalias de TSM na região SWIO e correlação negativa com a região LEOI. Outros estudos também

obtiveram resultados semelhantes como em Mason (1995) e Reason e Mulenga (1999).

4.2.2. Região oeste do oceano Índico Tropical (WOIT)

A figura 24 apresenta o mapa de correlação temporal entre anomalias de TSM na região WTIO e a precipitação. Para o período de outubro a março sobre grande parte do território moçambicano são observadas correlações não significativas. As correlações positivas podem ser observadas ao norte da latitude 12°S, que inclui países como a Tanzânia, norte de Malawi e sobre o Canal de Moçambique (Fig. 24a). Na correlação defasada, ocorrem correlações negativas sobre parte da região centro e sul do País correlações positivas são observadas em fase (Fig. 24b).

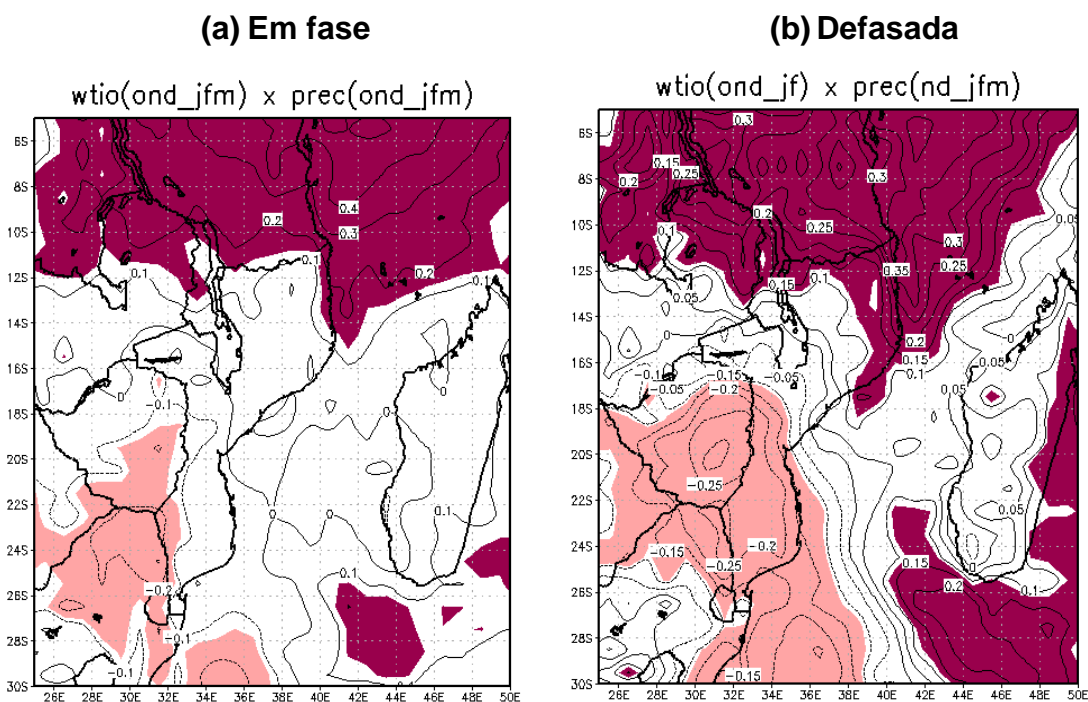


Figura 24: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região WTIO no período ONDJFM e precipitação no período ONDJFM. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região WTIO no período ONDJF e precipitação no período NDJFM. Em marrom correlação positiva e em rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.

No período de DJF (em fase), as correlações positivas ocorrem sobre a região norte de Moçambique até a República da Tanzânia, incluindo a costa oceânica.

Correlação negativa sobre o centro e sul de Moçambique incluindo países como Zimbábue, África do Sul e sobre o Canal de Moçambique a sul da latitude 16°S (Fig. 25a). Para a correlação defasada, a região com correlação negativa é relativamente mais extensa, abrangendo a maior parte de Madagascar e o Canal de Moçambique (Fig. 25b).

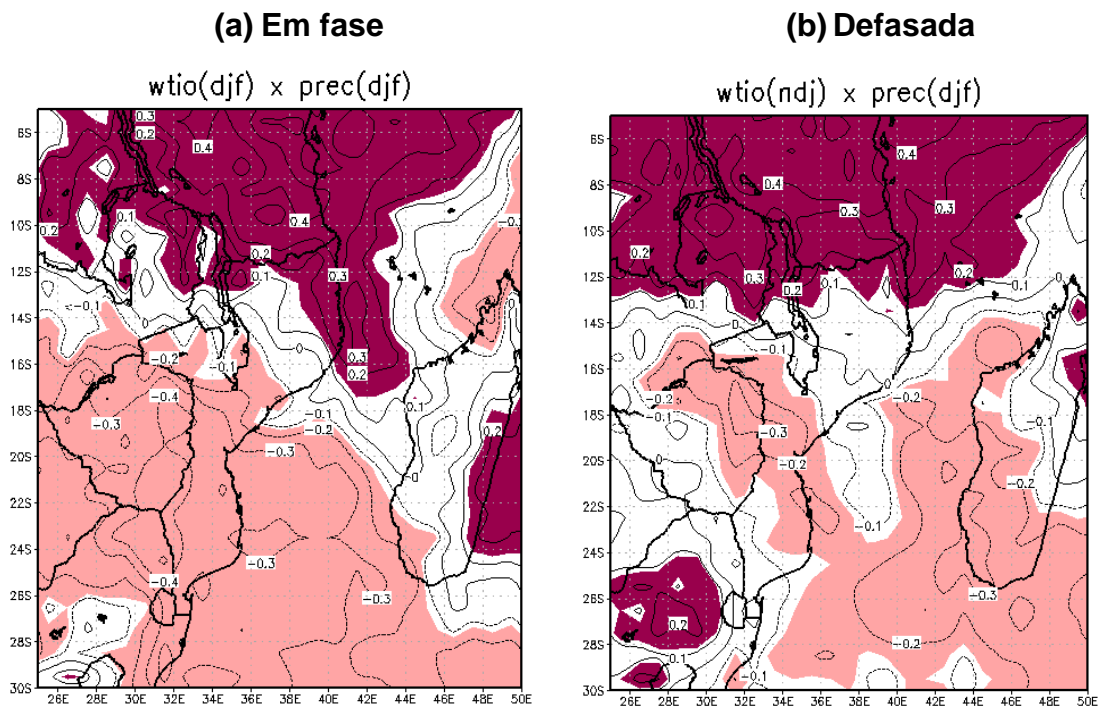


Figura 25: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região WTIO no período DJF e precipitação no período DJF. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região WTIO no período NDJ e precipitação no período DJF. Em marrom correlação positiva e em rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.

Para os quatro casos observados, anomalias de TSM e precipitação, mostram-se positivamente correlacionada a norte de Moçambique, o que era esperado de acordo com os estudos de Vinayachandran e Yamagata (2002) e Iizuka et al. (2000). Um aumento de TSM está associado ao aumento da precipitação sobre a região leste de África, assim com anomalias negativas de TSM, com diminuição da precipitação. Na maior parte do território moçambicano, a correlação apresenta-se negativa. Portanto, uma parte da região norte de Moçambique, nas províncias de Cabo Delgado e Niassa, apresenta correlação positiva com a maior extensão para o

período DJF. Este padrão que está de acordo com os estudos de Drbohlav et al.(2007).

4.2.3. Região do oceano Atlântico Tropical Sul (ATS)

A figura 26 apresenta correlação em fase (Fig. 26a) e defasada (Fig. 26b) entre anomalias de TSM na região do oceano Atlântico Tropical Sul (ATS) e a precipitação. Observa-se na correlação em fase correlações positivas sobre regiões norte de Moçambique desde a latitude de 15°S. Na correlação defasada entre anomalias de TSM (ONDJF) e precipitação (NDJFM), o padrão de correlação é diferente, sendo que a região centro e uma parte sul de Moçambique apresenta correlação negativa (Fig. 26b).

No geral, ocorrem correlações negativas e não significativa sobre maior parte de Moçambique e correlações positivas sobre a região norte de Moçambique. A correlação negativa observada no período NDJF (defasada) sobre uma região do centro e sul de Moçambique é baixa (Fig. 26b).

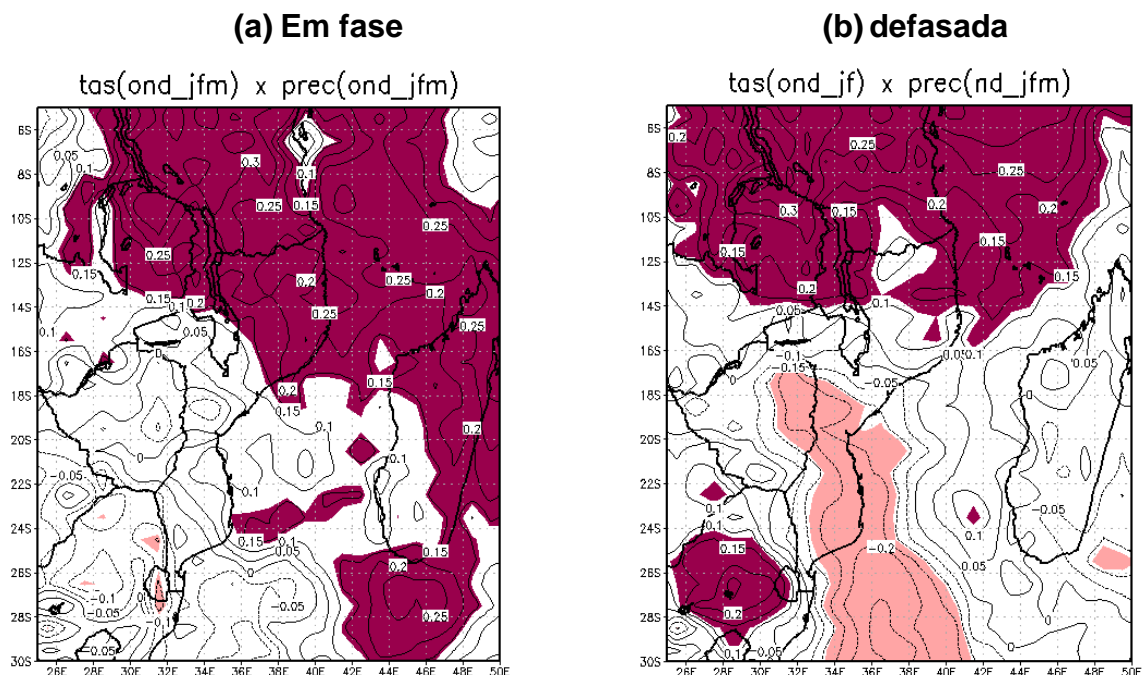


Figura 26: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região TAS no período ONDJFM e precipitação no período ONDJFM. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região TAS no período ONDJF e precipitação no período NDJFM. Em

marrom correlação positiva e em rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.

Para o período DJF, na correlação em fase (Fig. 27a) assim como defasada (Fig. 27b) o padrão de correlação mostra-se similar ao caso anterior. Correlação negativa significativa ocorre na região centro e sul de Moçambique, incluindo o Zimbábue e correlação positiva sobre a região a norte da latitude 14°S, incluindo uma parte das províncias de Cabo Delgado e Niassa, assim como Tanzania (Figs. 27a, b).

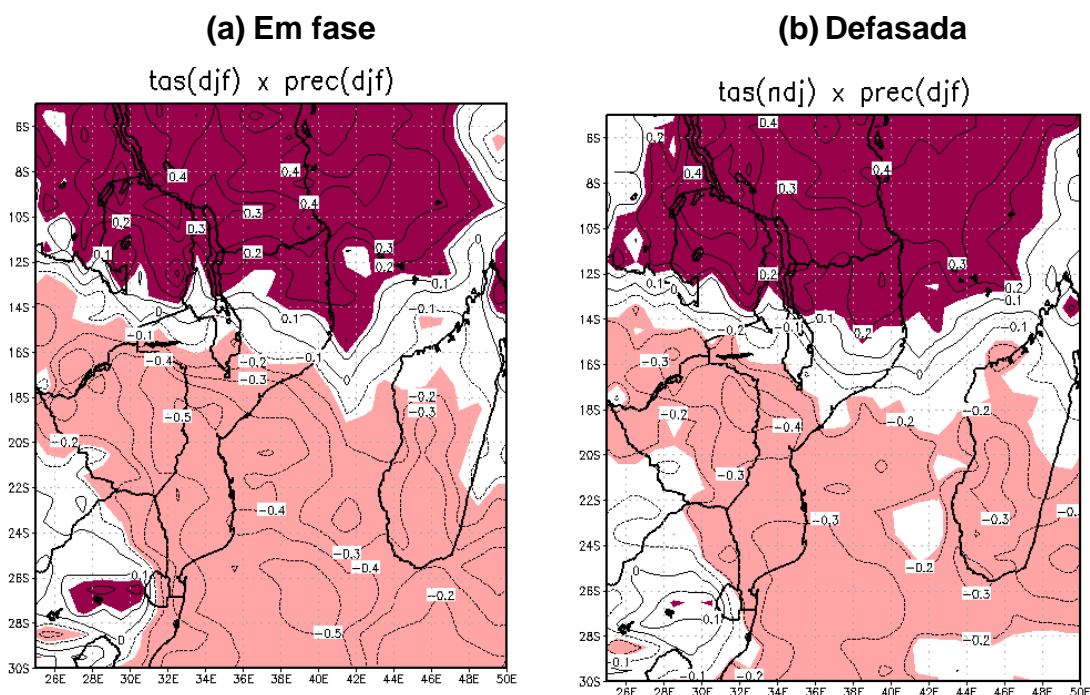


Figura 27: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região TAS no período DJF e precipitação no período DJF. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região TAS no período NDJ e precipitação no período DJF. Em marrom correlação positiva e em rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.

Portanto, sobre Moçambique ocorrem condições de correlação negativa, sendo significativa para o período de novembro a fevereiro e não significativa para o período de outubro a março. A correlação observada sobre a região SEA, necessita de mais estudos, como mencionado em Reason et al. (2006). Williams et al. (2008), por meio de modelagem, que identificam esta região do oceano Atlântico como uma

das fontes de umidade sobre região SA, embora, não tenha apresentado explicações dinâmicas.

4.2.4. Região do oceano Pacífico Tropical (Região Niño 3.4)

A figura 28 apresenta o mapa de correlação entre anomalias de TSM na região do oceano Pacífico Tropical (Niño 3.4) e a precipitação na região SEA, sendo correlação em fase entre TSM e precipitação no período ONDJFM (Fig. 28a) e correlação defasada entre TSM no Período ONDJF e precipitação no período NDJFM (Fig. 28b).

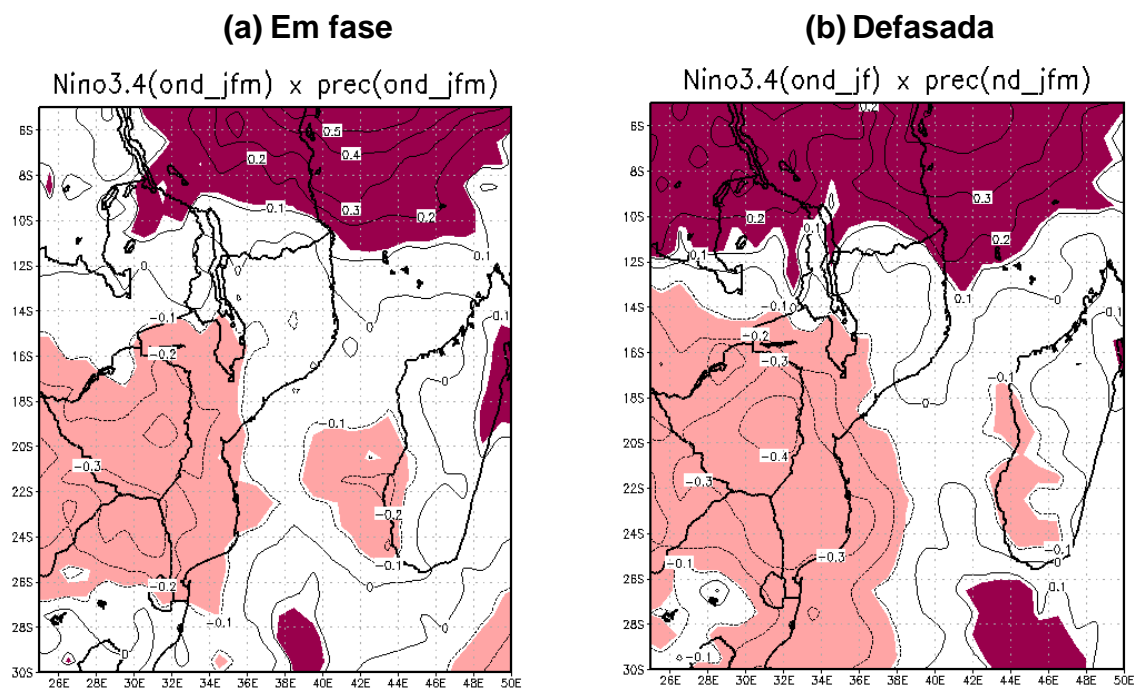


Figura 28: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região Niño 3.4 no período ONDJFM e precipitação no período ONDJFM. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região Niño 3.4 no período ONDJF e precipitação no período NDJFM. Em marrom correlação positiva e em rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.

Em ambos os casos, correlações negativas ocorrem sobre a região centro e sul de Moçambique, incluindo países como Zimbábue, Zâmbia e Nordeste da África do Sul. Condições neutras ocorrem nas Províncias da região norte de Moçambique e

uma parte do canal de Moçambique, a norte da latitude 20°S. Correlações positivas ocorrem ao norte de Moçambique desde a latitude 12° S em direção as latitudes baixas, sendo que os valores mais altos são observados em 5°S de latitude entre as longitudes 35° E e 50° E, incluindo a República da Tanzânia.

A figura 29 apresenta o mapa de correlação entre anomalias de TSM na região do oceano Pacífico Tropical (Niño 3.4) e a precipitação na região SEA, sendo correlação em fase entre TSM e precipitação no período DJF (Fig. 29a) e correlação defasada entre TSM no período NDJ e precipitação no período DJF (Fig. 29b).

Observa-se correlação negativa sobre a região centro e sul de Moçambique, na correlação em fase (Fig. 29a), incluindo países como Zâmbia, Zimbábue, África do Sul e canal de Moçambique a sul da latitude 18°S. Correlação positiva ocorre na região norte de Moçambique, incluindo a região norte (Niassa e Cabo Delgado) em direção as latitudes baixas. Na correlação defasada o padrão é similar, ocorrendo uma região sobre nordeste da República da África do Sul, com correlação negativa não significativa.

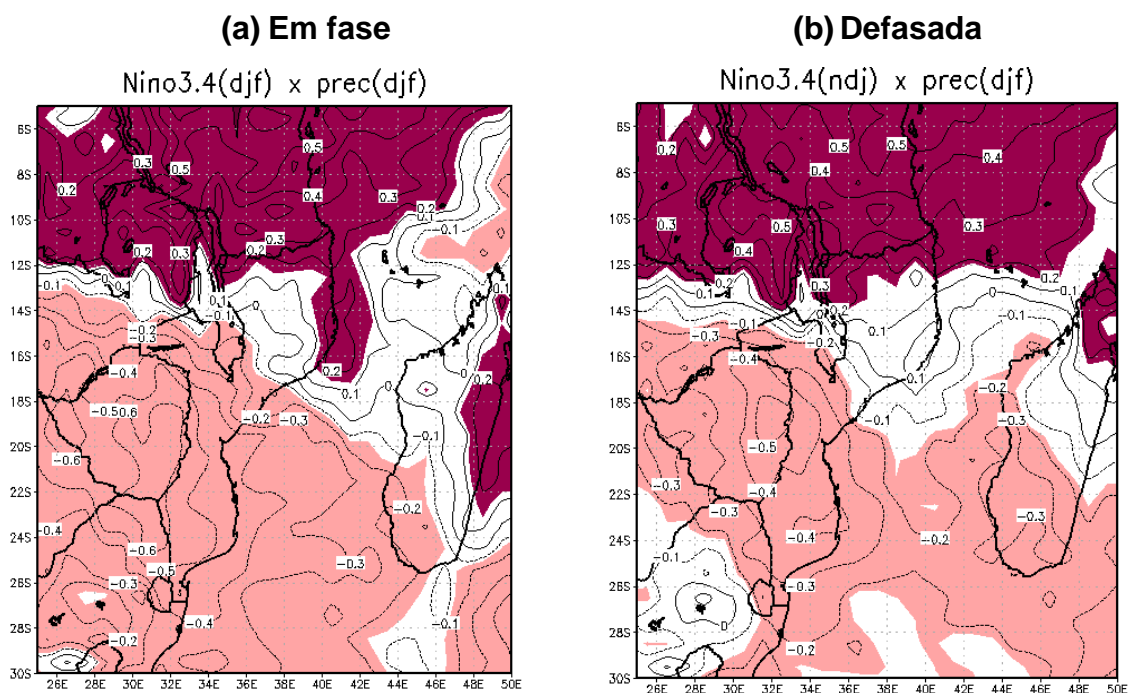


Figura 29: (a) Correlação em fase entre anomalias de TSM na região Niño 3.4 no período DJF e precipitação no período DJF. (b) Padrão de correlação defasada entre anomalias de TSM na região Niño 3.4 no período NDJ e precipitação no período DJF. Em marrom correlação positiva e em rosa claro correlação negativa ao nível de significância de 95%. As isolinhas em intervalos de 0,1.

Os padrões de correlação nos dois períodos outubro a março, assim como novembro a fevereiro, quer em fase ou defasada, apresentam-se similares, sendo que a correlação negativa ocorre sobre a região centro e sul de Moçambique e correlação positiva sobre uma parte da região norte. Nota-se ainda maior correlação no período de novembro a março em relação ao período de outubro a março. Portanto, isto se deve ao fato de no período novembro a fevereiro os fenômenos associados a variação da precipitação atingirem o pico máximo, (ex. ENOS, ZCIT). Por outro lado, trata-se de um período onde se registra a ocorrência de maior quantidade de precipitação na região SEA, enfatizando estes padrões. Os quatro mapas com padrões de correlação apresentados, podem ser sumarizados como:

Condições de anomalias positivas de TSM na região de Niño 3.4 resultam em diminuição de precipitação nas regiões centro e sul de Moçambique, neste caso em condições de El Niño e anomalias negativas (La Niña) resultam em aumento de precipitação nas mesmas regiões de Moçambique. Embora, estudos em escala global sobre a influência do ENOS realizado por Ropelewski e Halpert (1987) tenham estabelecido que a precipitação em toda a região SEA estivesse negativamente correlacionada com o ENOS, eles também recomendaram avaliações locais fossem realizadas a fim de obter resultados com mais detalhes. De forma geral os resultados encontrados aqui concordam com Nicholson e Entekhabi (1987); Nicholson e Kim (1997); Nicholson e Kone (2000).

Recorrendo aos resultados da ACP e correlação entre anomalias da TSM e precipitação, nota-se que o padrão da 1ª CP, na forma de dipolo no período de outubro-março assim como no período de dezembro-fevereiro, com sinal positivo na maior parte das regiões centro e sul de Moçambique e sinal negativo na região norte, uma manifestação do ENOS, como discutido. Comparado com o padrão de correlação entre anomalias de precipitação na região SEA e TSM na região do Niño 3.4 assim como a correlação entre anomalias de precipitação com TSM na Região SWIO, também apresentam um padrão de dipolo similar. Portanto, há uma relação entre essas duas regiões oceânicas assim como a sua influência sobre a precipitação na região SEA.

4.3. Análise de Composições

A montagem de composições foi baseada em resultados obtidos na ACP e correlação entre anomalias de TSM e precipitação, onde foram analisados dois fenômenos de interação oceano-atmosfera: ENOS e DOIS. A tabela 3 apresenta os eventos de ENOS no período 1996-2012. A seleção de eventos dos DOIS (tabela 4) foi feita com base nos resultados de Behera e Yamagata (2001) e Marioka et al. (2010).

Tabela 3: Eventos de ENOS segundo CPC/NOAA⁶

El Niño-Oscilação Sul			
Ano	El Niño = EN	La Niña = LN	Neutra = N
1996			N
1997	EN		
1998		LN	
1999		LN	
2000		LN	
2001			N
2002	EN		
2003			N
2004	EN		
2005		LN	
2006	EN		
2007		LN	
2008			N
2009	EN		
2010		LN	
2011		LN	
2012			N

Tabela 4: Eventos de DOIS (fases positiva e negativa) segundo Behera e Yamagata (2001) e Marioka et al. (2010)

Fase	Anos (DOIS)
Positiva	1996; 1998; 2004
Negativa	1997; 1999; 2002

⁶ <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml> Acesso em: 20 Dez. 2014.

A seleção de eventos de ENOS foi com base nos índices do oceano Pacífico Equatorial Tropical (Niño 3.4) de acordo com o *Climate Prediction Center (CPC)* do NOAA, determinado como média móvel de 3 meses de anomalias de TSM, onde índices positivos (negativos) de Niño 3.4, indicam águas mais quentes (frias), assim, índices de Niño 3.4 ≥ 0.5 °C durante 70% de semanas entre novembro a fevereiro, indicam a presença de El Niño enquanto que valores de Niño 3.4 ≤ -0.5 °C na mesma sequência de semanas indicam La Niña (Trenberth, 1997).

A montagem das composições foi feita para os meses em que se registra o pico do ENOS e DOIS, isto é, para o ENOS no período de novembro a fevereiro segundo Trenberth (1997) e o DOIS nos meses de dezembro a fevereiro segundo Behera e Yamagata (2001), de caso para caso (ano). Por outro lado é no período de dezembro a fevereiro onde ocorrem os maiores valores de precipitação em Moçambique, como apresentado no capítulo 1.

4.3.1. La Niña

Em anos de ocorrência de La Niña (fase positiva do IOS) anomalias negativas de TSM são observadas sobre o oceano Pacífico Tropical (Fig. 30a, e). Embora se trate da mesma fase do IOS (negativa), nota-se que os padrões de TSM não são iguais quer espacialmente como em termos de intensidade, sendo que alguns casos de La Niña apresentam anomalias negativas de TSM em áreas menos extensas que os outros, como é o caso do ano 2005/06 (Fig. 30d); além disso, no ano de 2005/06 apresenta anomalias de TSM menores em relação aos anos 1998/99, 1999/00; 2005/06 e 2007/08 (Fig. 30 a, b, d, e). Sobre o oceano Pacífico Tropical, os maiores valores de anomalias negativas ocorrem sobre o oceano Pacífico Tropical Central em todos os anos com exceção de 2000/01, que se localiza sobre o Pacífico Tropical Oeste com valores até $-1,2^{\circ}\text{C}$ de anomalias (Fig. 30c). Trata-se de diferentes padrões de TSM em anos de La Niña segundo estudos de Johnson (2013) através da técnica de “Self Organizing Maps”, obteve nove padrões diferentes de ENOS, dentre os quais 4 representavam La Niña. Sobre os oceanos Índico e Atlântico Sul são observados diferentes padrões de TSM, esses padrões segundo Nicholson (1997), Camberlin et al. (2001), Zhong et al. (2005), Lau e Nath (2003) e

Okumura et al. (2011), são uma resposta ao padrão de TSM observado sobre o Pacífico Tropical.

Sobre o oceano Índico dois padrões de TSM são observados sendo que um apresenta anomalias negativas de TSM sob a forma de uma faixa com orientação noroeste-sudeste, desde a costa leste da África até a costa oeste da Austrália (Fig. 30a, c). O outro padrão de anomalias negativas se estendem entre SEA e Austrália (Fig. 30b, d, e). Em todos os padrões é comum observar anomalias positivas de TSM sobre a região sul e sudeste de Madagascar. Nota-se que esses padrões apresentam algumas diferenças em termos de distribuição e intensidade, tal como foi observado na região tropical do oceano Pacífico. Hoell et al. (2014), em seus estudos sobre diversidade do ENOS e teleconexão durante o verão na região SA, explicam que o padrão de TSM sobre os oceanos Índico e Atlântico apresentam-se de formas diferentes, podendo causar impactos diferentes sobre a circulação e precipitação.

Sobre o oceano Atlântico Sul, o padrão de TSM também varia de um evento para o outro (Fig. 30), onde a região tropical apresenta anomalias positivas nos anos de 2007/08 (Fig. 30e) e anomalias negativas dos casos restantes (Fig. 30 a, b, c, d).

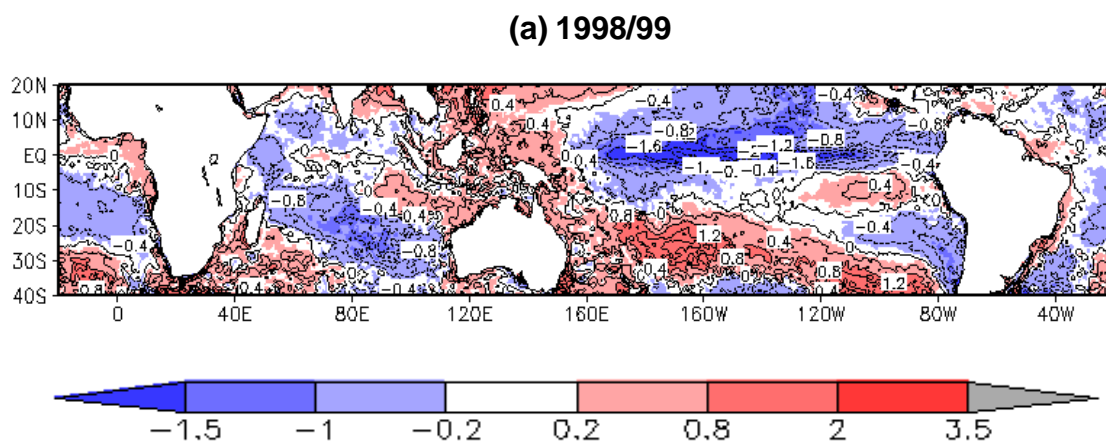
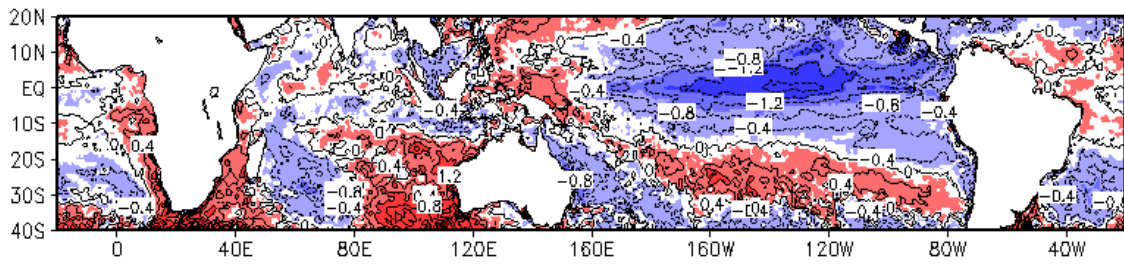
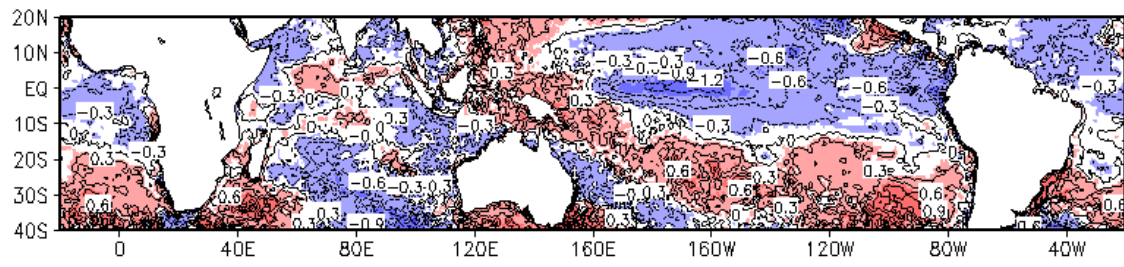
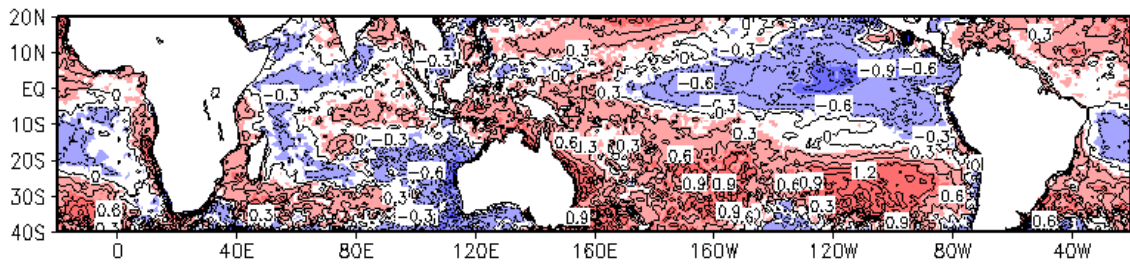
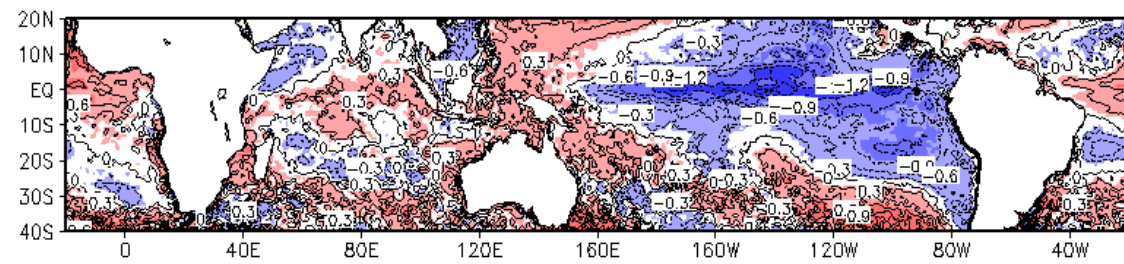


Figura 30: Composição de anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) em anos de La Niña no período NDJF para os anos (a) 1998/99; (b) 1999/00; (c) 2000/01; (d) 2005/06; (e) 2007/08.

(Cont.)

(b) 1999/00**(c) 2000/01****(d) 2005/06****(e) 2007/08**

As variações de anomalias de TSM apresentadas na figura 30 são acompanhadas de variações de anomalias de pressão atmosférica. Anomalias positivas de pressão predominam sobre a região do oceano Índico Subtropical, isto é, ocorre a intensificação do ASI (Fig. 31). Essa intensificação do ASI torna os ventos em níveis baixos mais intensos, com fluxos anômalo anticiclônicos, divergentes sobre a região oceânica e responsáveis pelo transporte de umidade para a região continental (Fig. 32); portanto, nessa região do oceano, a interação entre pressão atmosférica e TSM é o principal mecanismo responsável pelo padrão de circulação atmosférica (Behera e Yamagata, 2001; Marioka et al., 2010). Este padrão pode ser observado na figura 31, onde diferentes anomalias positivas de pressão ocorrem na região sudeste de Madagascar. Segundo Marioka et al. (2010), em anos de ocorrência de anomalias positivas de pressão na região subtropical do oceano Índico, no período de DJF, ocorre o fortalecimento e deslocamento para sul do ASI, que por sua vez, resulta em anomalias negativas de TSM à oeste da Austrália e Sudoeste da Indonésia, como resultado de intensos gradientes de pressão (Fig. 31a, b, c).

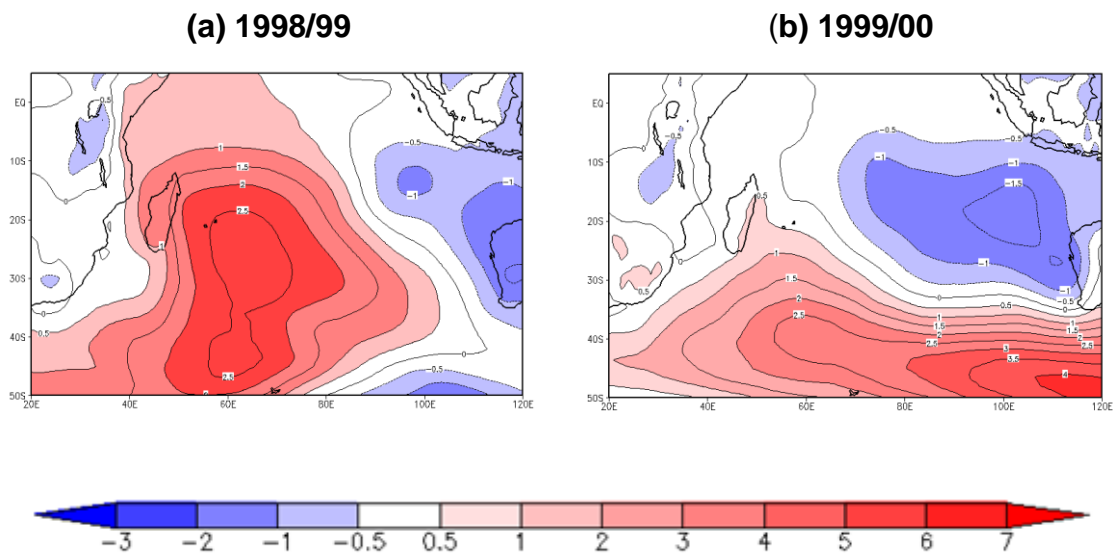
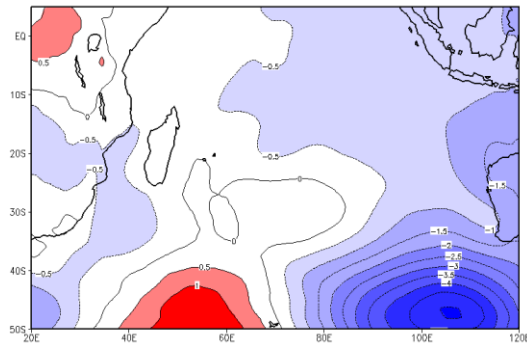
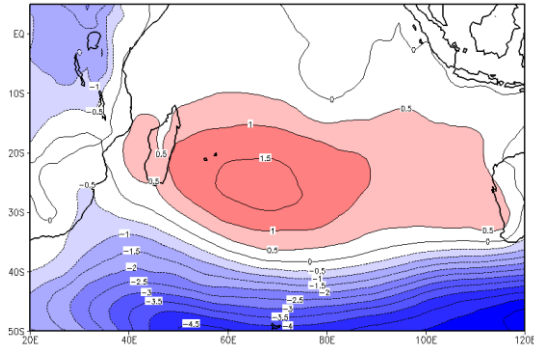
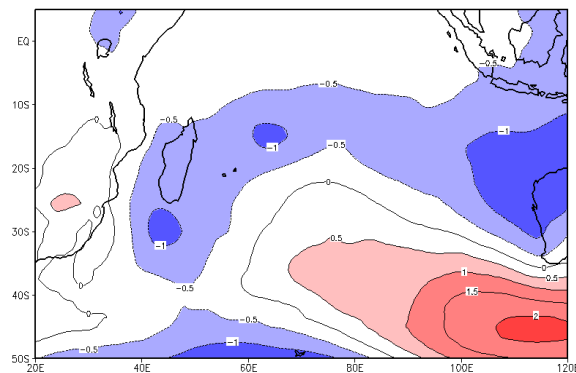


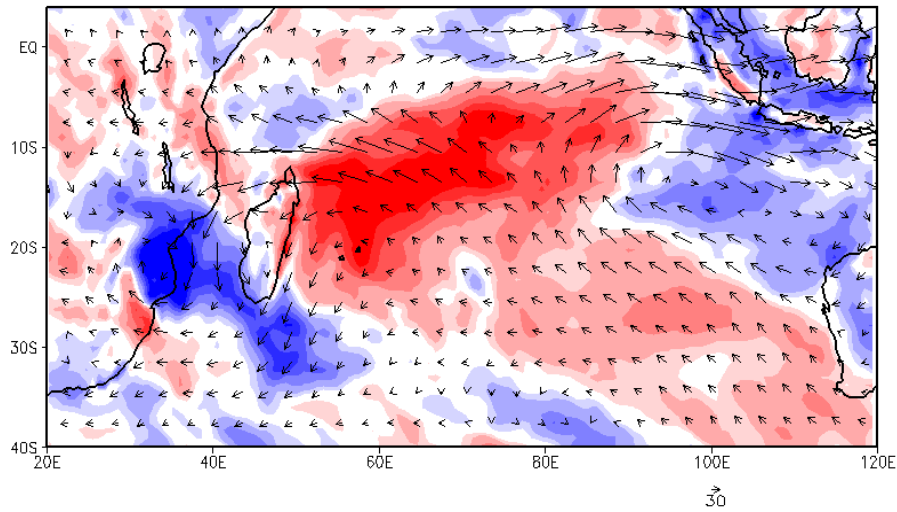
Figura 31: Composição de anomalias de pressão (hPa) em anos de La Niña no período NDJF para os anos. (a) 1998/99; (b) 1999/00; (c) 2000/01; (d) 2005/06; (e) 2007/08.

(Cont.)

(c) 2000/01**(d) 2005/06****(e) 2007/08**

Sobre a região SEA são observados fluxos anômalos em níveis baixos, sendo um de sudeste e o outro de leste/nordeste. Por meio de fluxos anômalos de umidade integrado verticalmente, observa-se que fluxos anômalos de leste e nordeste são predominantes sobre as regiões centro e norte de Moçambique, e fluxos de sudeste na região sul do País (Fig. 32). Este resultado mostra que sobre a região central e sul de Moçambique e uma parte do território do Zimbábue é observado fluxo anômalo convergente, portanto, resultam em convergência de umidade favorecendo a ocorrência de precipitação. Os fluxos divergentes anômalos observados estão associados aos fluxos convergentes anômalos. Ocorre forte divergência sobre a região subtropical do oceano Índico e convergência sobre a região continental, onde anomalias positivas precipitação são observadas sobre a região onde ocorre a convergência para o mesmo período de NDJF (Figs. 32 e 33).

(a) 1998/99



(b) 1999/00

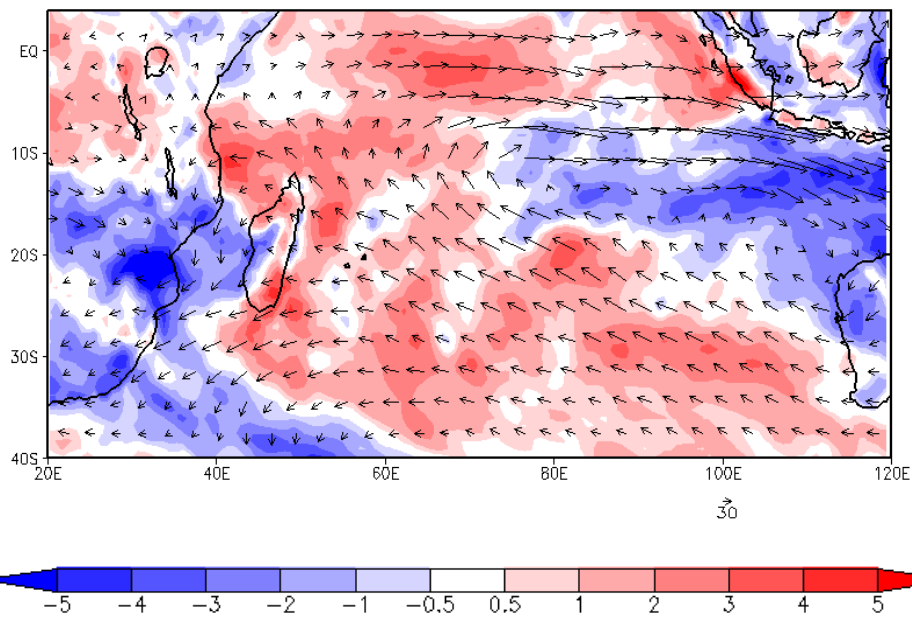
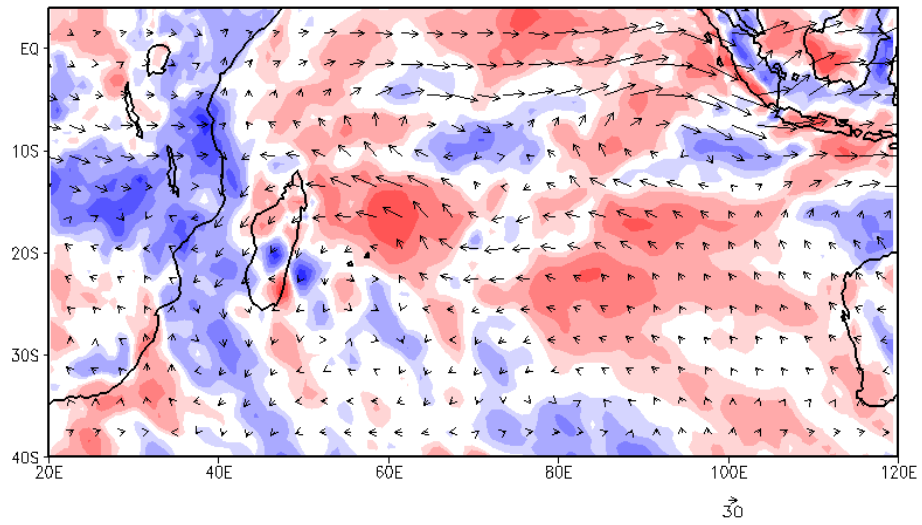
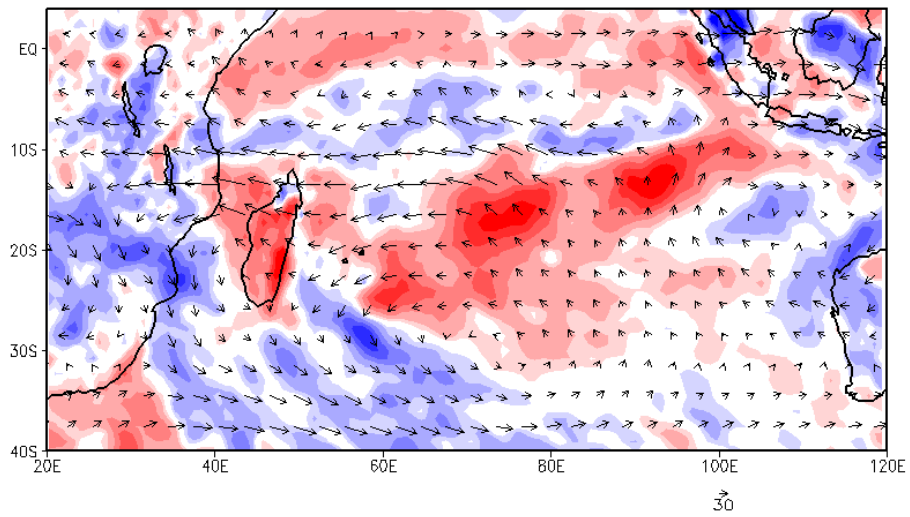
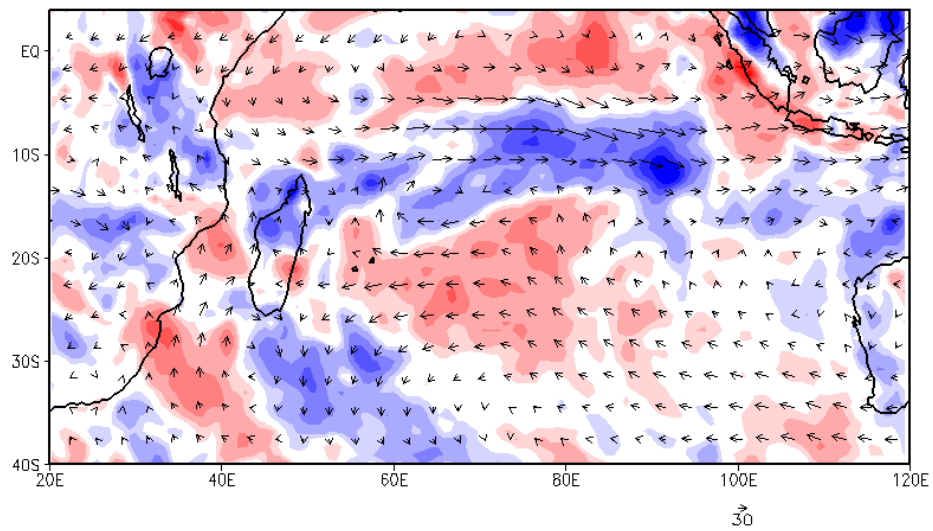


Figura 32: Composição de anomalia do vetor fluxo de umidade ($\text{Kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) e divergência de umidade (mm.dia^{-1}), integrado verticalmente na camada 1000-500hPa, em anos de La Niña no período NDJF para os anos. (a) 1998/99; (b) 1999/00; (c) 2000/01; (d) 2005/06; (e) 2007/08.

(Cont.)

(c) 2000/01**(d) 2005/06****(e) 2007/08**

Como pode ser observado através da figura 33, ocorrem anomalias positivas de precipitação nas regiões centro e sul de Moçambique e anomalias negativas sobre a região norte, nos anos 1998/99, 1999/00 e 2005/06 (Fig. 33a, b, d) e anomalias positivas para quase todo o território Moçambicano nos anos de 2000/01 e 2007/08 (Fig. 33c, e). A diferença nos padrões de anomalias de precipitação observada está relacionada aos padrões de TSM e circulação observado e também serem diferentes para cada ano de ocorrência de La Niña, como observado das anomalias de TSM sobre os oceanos (Fig. 30) e anomalias de pressão na região do ASI (Fig. 31). Conforme discutido por Johnson (2013), diferentes padrões de TSM são observados durante anos de ENOS associados à intensidades diferentes do ENOS (fraco, moderado, forte).

As anomalias positivas de precipitação observados na maior parte da região SEA no ano 2000/01 (Fig. 33c), relacionam-se a posição mais à sudeste de Madagascar do ASI conforme observado por meio do padrão de anomalias positivas de pressão (Fig. 31c) que é responsável pelo fluxo anômalo divergente de umidade ao longo de toda a região de Madagascar e região nordeste de Moçambique (Fig. 32). Sobre a região continental é observado um fluxo anômalo de oeste, que fica na região a norte da latitude de 20°S, sendo que esses fluxos de umidade resultam em convergência por toda a região. Situação similar de anomalias positivas de precipitação causada pela convergência de umidade ocorre no ano de 2007/08 (Figs. 32e, 33e). No geral, a fase de La Niña está associada a condições de ocorrência de anomalias positivas de precipitação na maior parte da região SEA.

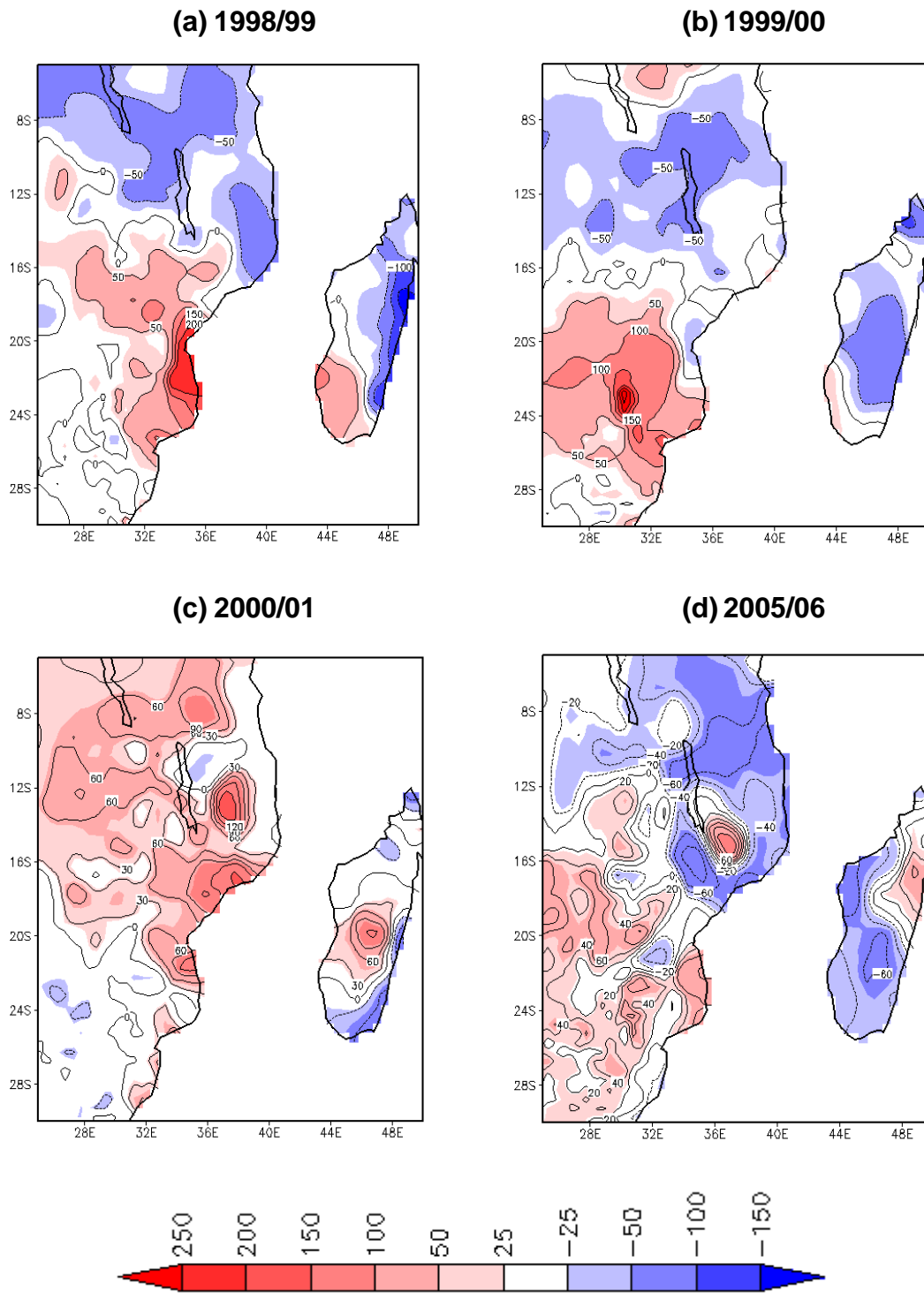
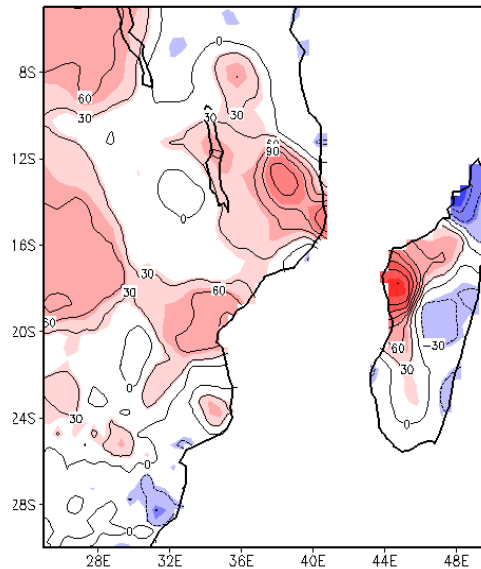


Figura 33. Composição de anomalias de precipitação (mm) em anos de La Niña no período NDJF para os anos. (a) 1998/99; (b) 1999/00; (c) 2000/01; (d) 2005/06; (e) 2007/08.

(Cont.)

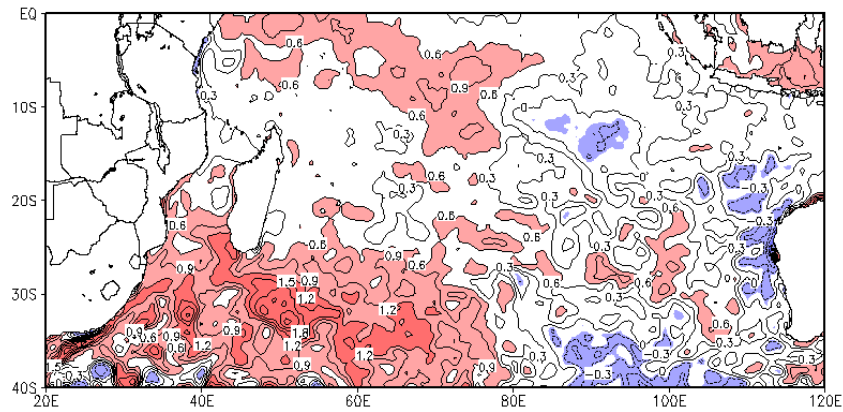
(e) 2007/08

4.3.2. Fase positiva do Dipolo do oceano Índico Subtropical

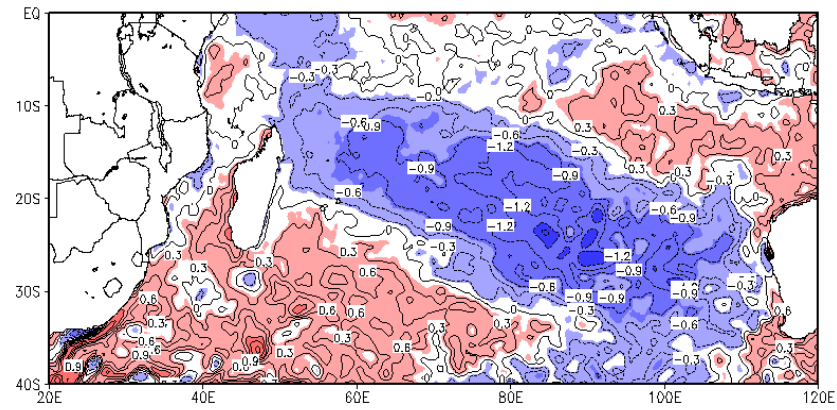
A figura 34 apresenta anomalias de TSM em três anos de ocorrência do DOIS na fase positiva, sendo que dois eventos ocorrem em anos de ENOS e o outro evento em um ano de condições neutras, ano de 1996/97 (Fig. 34a). O evento de 1998/99 (Fig. 34b) ocorre em simultâneo com o evento de La Niña, enquanto que o evento de DOIS no ano 2004/05 (Fig. 34c), ocorre com o El Niño, conforme tabelas 3 e 4 (Seção 4.3.1) Observa-se que para todos os eventos de DOIS, anomalias positivas de TSM são observadas à oeste da região subtropical do oceano Índico até a costa leste da região SEA. Os maiores valores de TSM ocorrem na região subtropical e anomalias negativas na região LEOI. Conforme descrito em Behera e Yamagata (2001), este seria o padrão do DOIS na fase positiva.

Similar ao observado no caso de ocorrência de La Niña, também são notadas condições de anomalias positivas de pressão na fase positiva do DOIS (Fig. 35), com exceção do ano 2004/05, onde são observadas condições diferentes (Fig.35c) predominando condições de anomalias negativas de pressão na região subtropical do oceano Índico entre duas regiões de anomalias positivas de pressão, sendo uma a noroeste da Austrália e a outra no sul da África do Sul. Este padrão está associado a condições observadas sobre o oceano Índico em eventos de El Niño, como será discutido na próxima seção (4.3.3).

(a) 1996/97



(b) 1998/99



(c) 2004/05

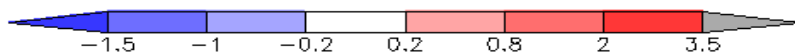
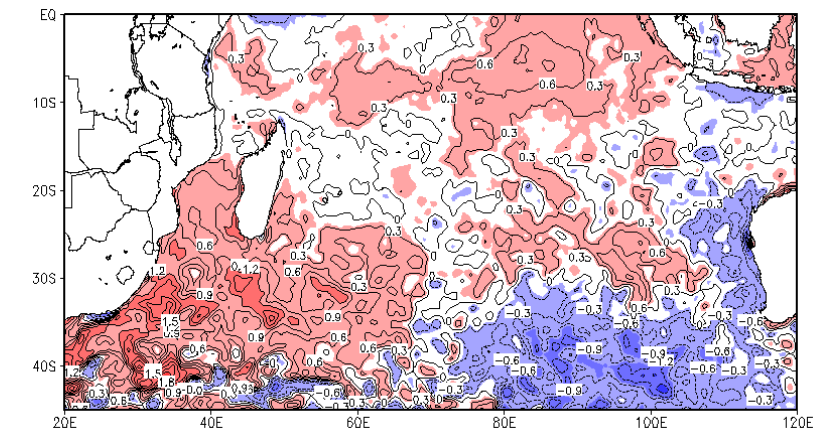


Figura 34: Composição de anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) em anos de ocorrência do DOIS no período DJF para os anos (a) 1996/97; (b) 1998/99; (c) 2004/05.

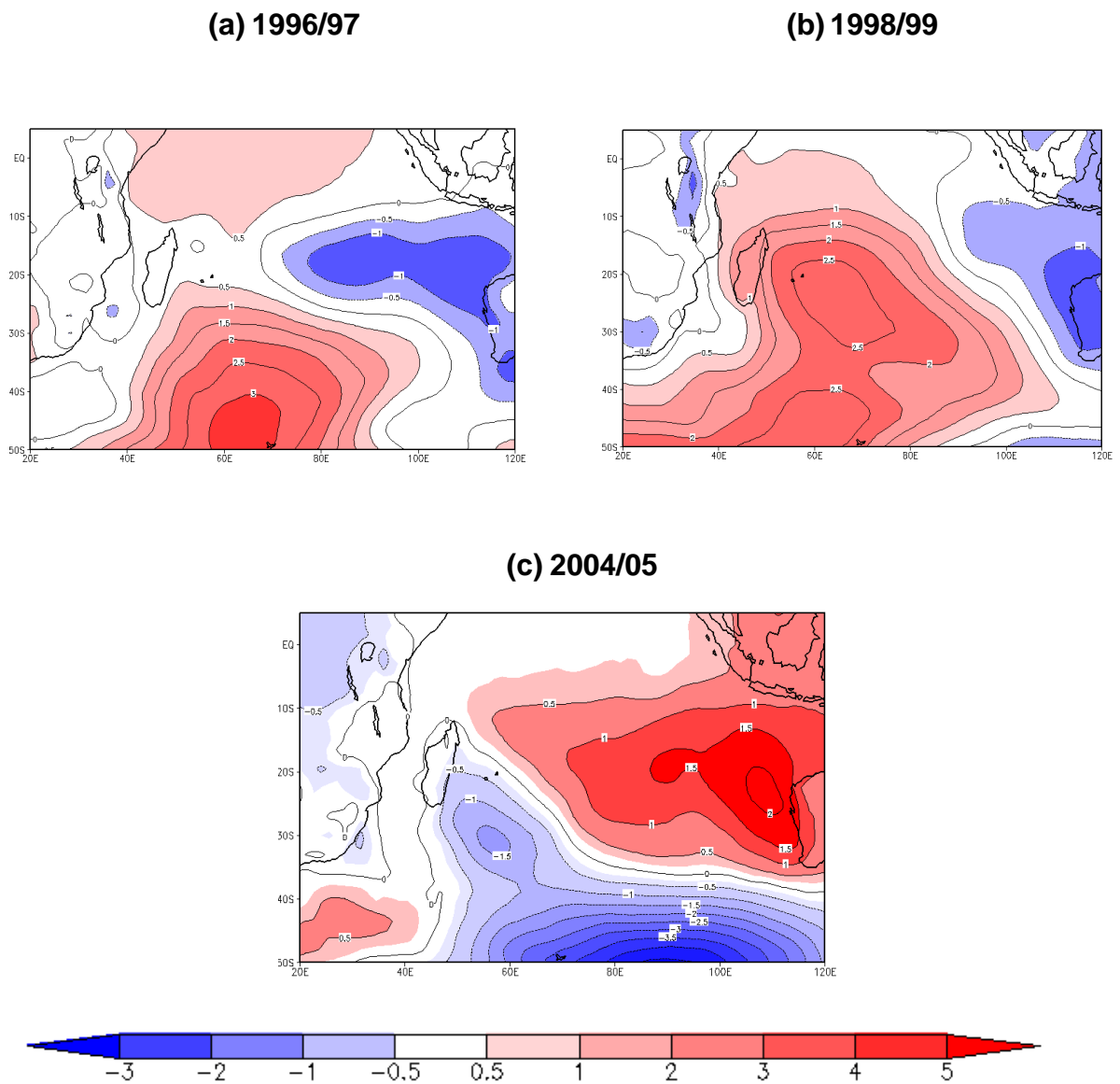


Figura 35: Composição de anomalias de pressão (hPa) em anos da fase positiva do DOIS no período DJF para os anos. (a) 1996/97; (b) 1998/99; (c) 2004/05.

No campo de circulação e fluxo de umidade, duas situações são observadas, nos anos de 1996/97 e 1998/99 (Fig. 36a, b), onde ocorrem fluxos anômalos ciclônicos sobre a região SEA, incluindo o canal de Moçambique e Madagascar, como resultado do fluxo divergente sobre a região subtropical e tropical causada pelo ASI.

Observa-se claramente que a posição do ASI é um fator importante para a ocorrência de convergência de umidade sobre a região SEA, quanto mais a sul estiver posicionado o ASI, maior é a região continental onde os fluxos de umidade convergem (Fig. 36a, b), sendo que para o caso de Moçambique a convergência ocorre em toda região ao longo da costa, do ao sul ao norte. Contrariamente, quanto mais a norte estiver, menor é a região abrangida pelos fluxos de umidade.

Em consequência das condições descritas, as regiões onde são observados os fluxos anômalos convergentes de umidade ocorrem anomalias positivas de precipitação, por outro lado, as anomalias negativas são observadas sobre os locais caracterizados por divergência de umidade (Fig. 37). Para o caso de Moçambique, anomalias positivas de precipitação são observadas sobre maior parte do País, com exceção de uma parte da região norte (Fig.37a, b).

No ano de 2004/05 anomalias negativas de precipitação são observadas sobre o território Moçambicano (Fig. 37c), devido fundamentalmente a desintensificação do ASI (Fig. 35c), embora essa região apresente anomalias positivas de TSM como foi mostrado na figura 34c.

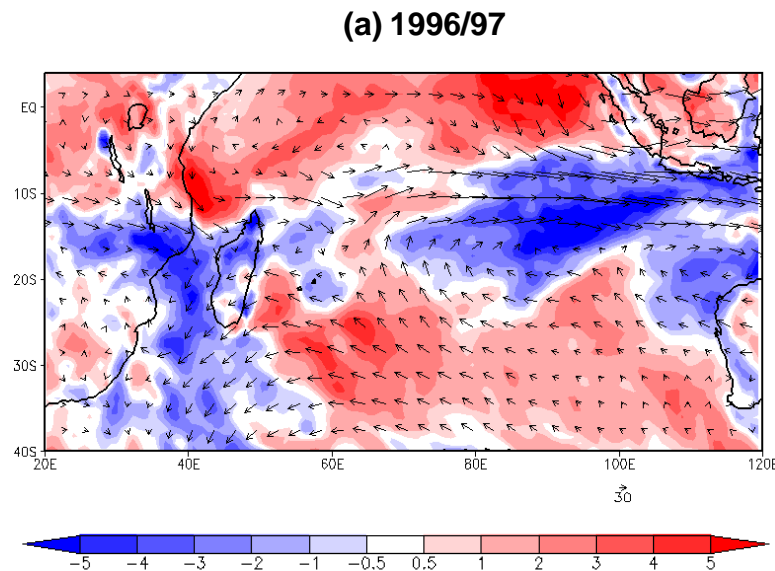
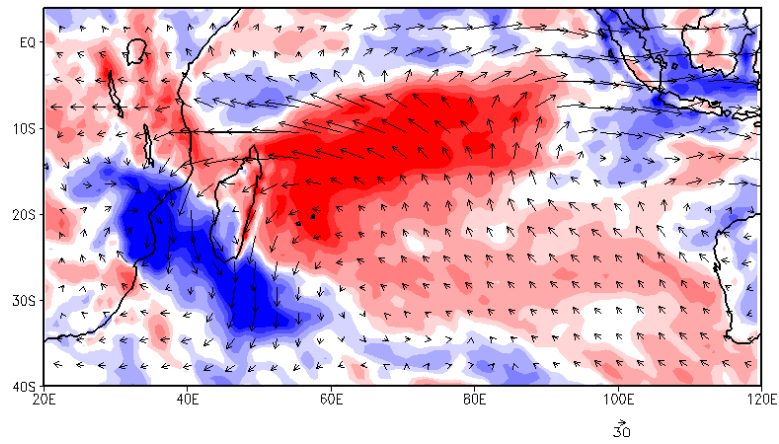
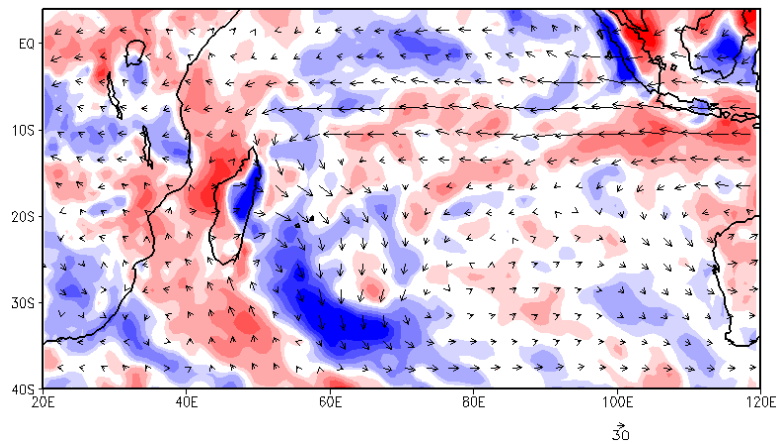


Figura 36: Composição de anomalias do vetor fluxo de umidade ($\text{Kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) e divergência de umidade (mm.dia^{-1}), integrado verticalmente na camada de 1000-500hPa em anos da fase positiva do DOIS no período DJF para os anos. (a) 1996/97; (b) 1998/99; (c) 2004/05.

(Cont.)

(b) 1998/99**(c) 2004/05**

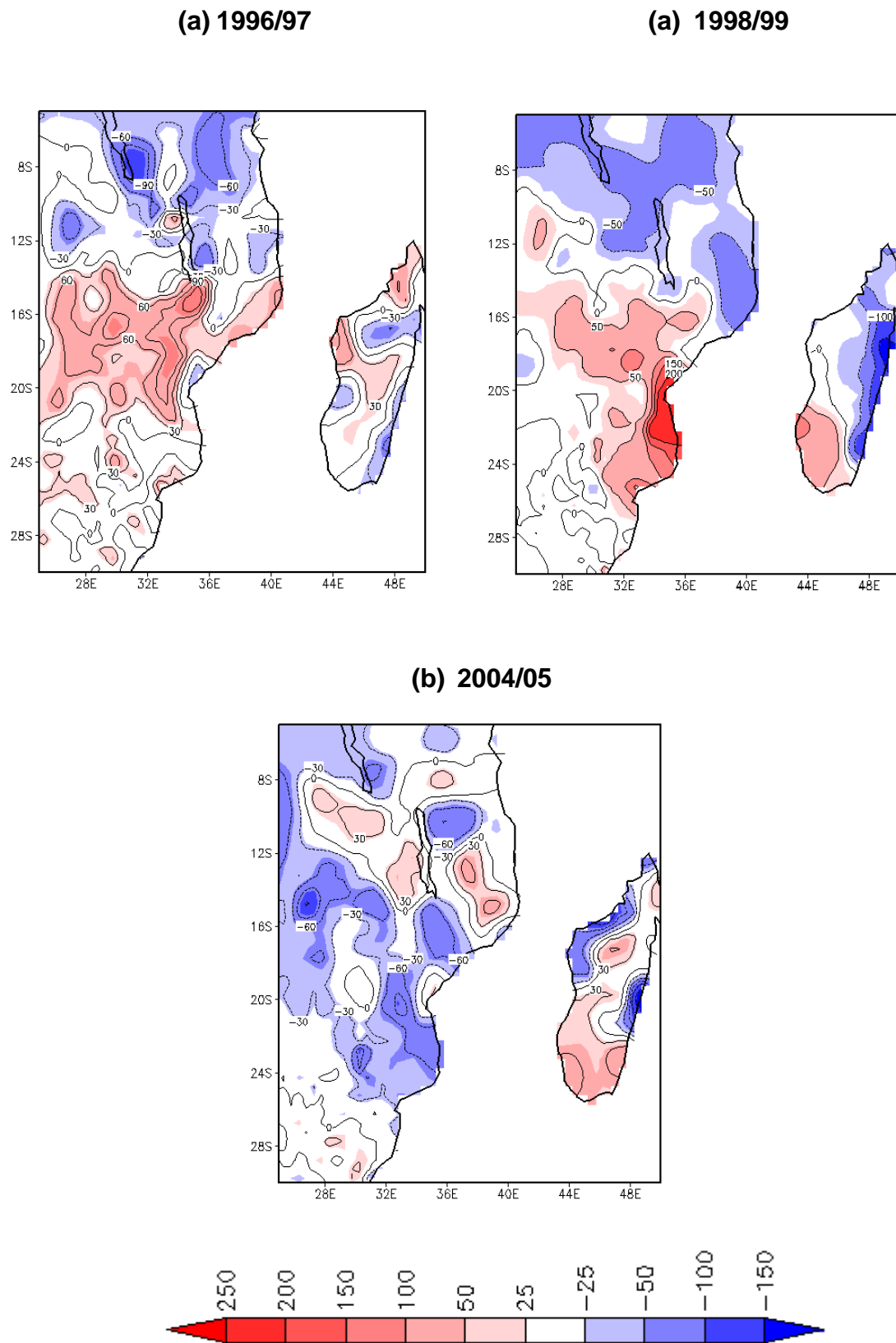


Figura 37: Composição de anomalias de precipitação (mm) em anos da fase positiva do DOIS no período DJF para os anos. (a) 1996/97; (b) 1998/99; (c) 2004/05.

4.3.3. El Niño

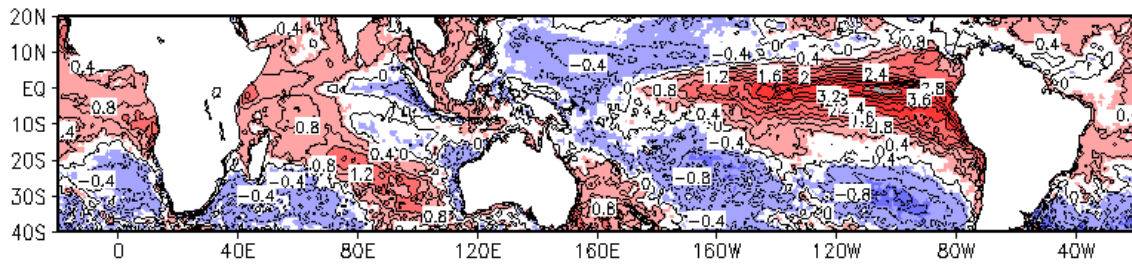
Em anos de ocorrência da fase negativa do IOS (El Niño), anomalias positivas de TSM são observadas sobre o oceano Pacífico Tropical (Fig.38). Similar ao observado na fase positiva (La Niña), na fase de El Niño também ocorre diferenças nos padrões de TSM para os diferentes anos, tanto em extensão como em intensidade. De acordo com a classificação de Johnson (2013) o padrão observado no ano 1997/98 seria de padrão 4, isto é, evento de El Niño da região leste do Pacífico Tropical e os restantes anos seriam padrões de 1-3 para a mesma classificação. O padrão 4 (anos 1997/98) apresenta anomalias positivas de TSM maiores em relação aos restantes anos, com valores de cerca de 3,8°C próximo a costa ocidental do Perú e Equador (Fig. 38a), seguido dos anos 2009/10 (Fig. 38e) com anomalias positivas na ordem de 2°C, anos de 2002/03 e 2006/2007 com valores na ordem de 1,2°C e por fim o ano de 2004/05 com anomalias relativamente menores de cerca de 1°C na região central do Pacífico (Fig. 38c). Sobre os oceanos Índico e Atlântico Sul são observados diferentes padrões de TSM. No caso do evento de El Niño do ano 1997/98 (Fig.38a), sobre o Índico são observadas condições de Dipolo nas regiões tropical e Subtropical, concordando com Saji et al. (1999), Behera e Yamagata (2001), conforme apresentado no capítulo 2 do presente trabalho. Embora esse padrão sobre o Índico não seja verificado para os restantes anos além de 1997/98, o padrão de DOIS está presente, mas com configurações diferentes (Fig. 38 b,e).

Sobre o oceano Atlântico Sul, o padrão de TSM varia de evento para evento similar ao observado em anos de La Niña, ocorrendo anomalias negativas na região Tropical nos anos de 1997/98 e 2006/07 (Fig.38a, d) e anomalias positivas nos anos de 2002/03, 2004/05 e 2009/10 (Fig. 38 b, c, e). De um modo geral em anos de El Niño, anomalias negativas de TSM são observadas na região SWOI (Fig. 38a, b, e), embora alguns casos de anomalias positivas podem ocorrer.

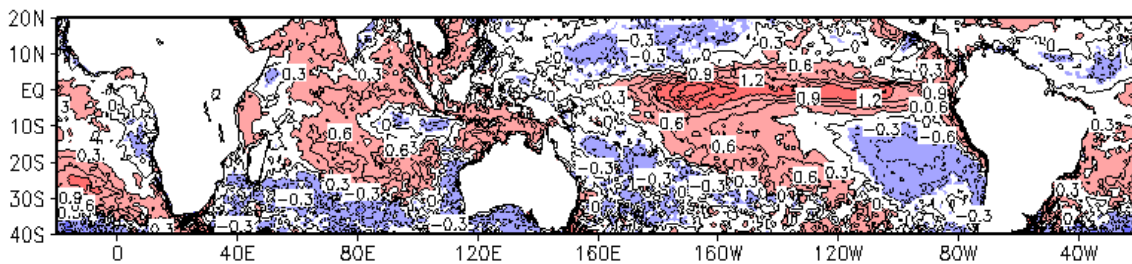
No campo de pressão, anomalias negativas são observadas na região subtropical do oceano Índico e anomalias positivas sobre a região continental SEA (Fig.39). Anomalias negativas de pressão na região subtropical do oceano Índico estão associadas a desintensificação do ASI, contrariamente ao observado no caso de La Niña (Seção 4.3.1). Sobre a região continental de SEA, as anomalias positivas

de pressão resultam também em desintensificação de baixas pressões. Para toda a região durante esse período, as condições predominantes são de ventos fracos, reduzindo a quantidade de umidade transportada do Oceano para o Continente.

(a) 1997/98



(b) 2002/03



(c) 2004/05

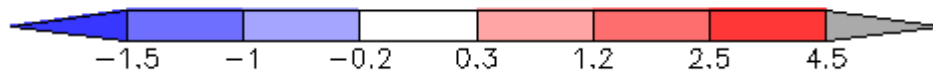
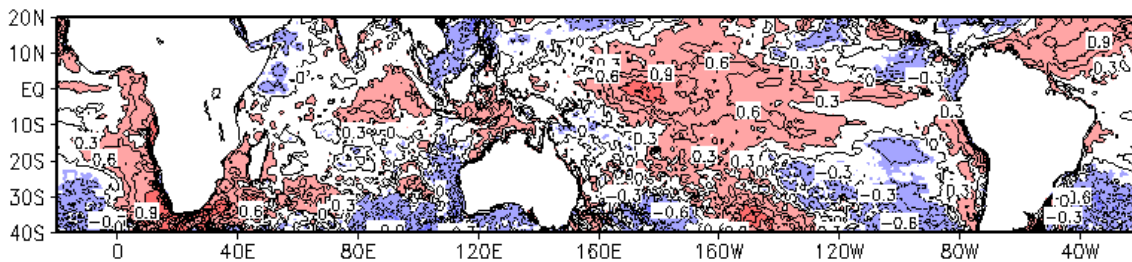
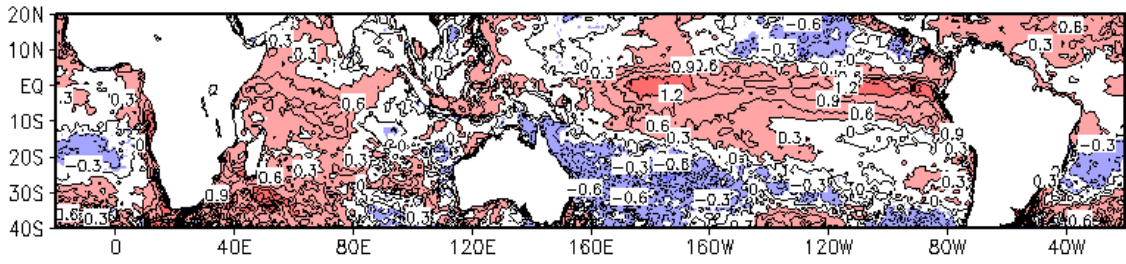


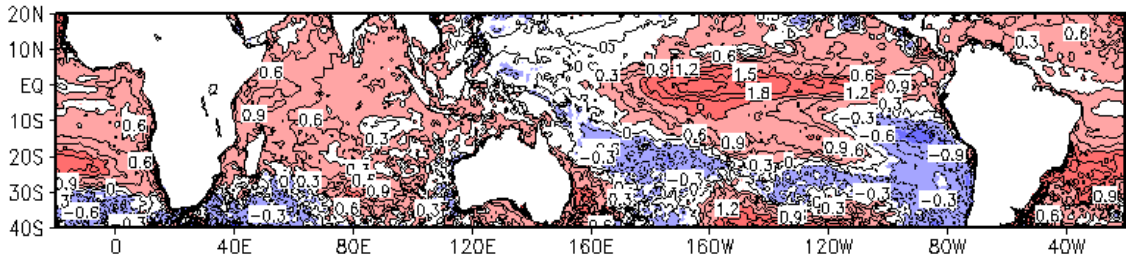
Figura 38: Composição de anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) em anos de El Niño no período (NDJF) para os anos (a) 1997/98; (b) 2002/03; (c) 2004/05; (d) 2006/07; (e) 2009/10.

(Cont.)

(d) 2006/07



(e) 2009/10



(a) 1997/98

(b) 2002/03

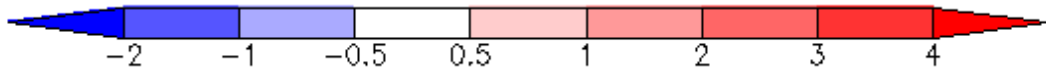
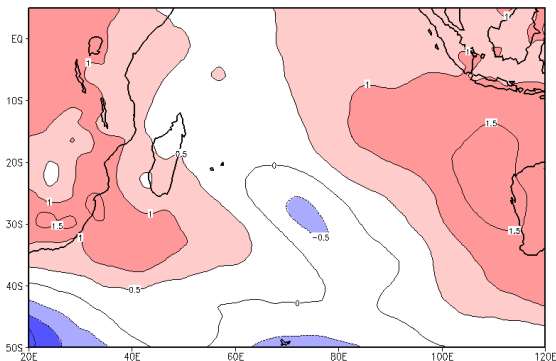
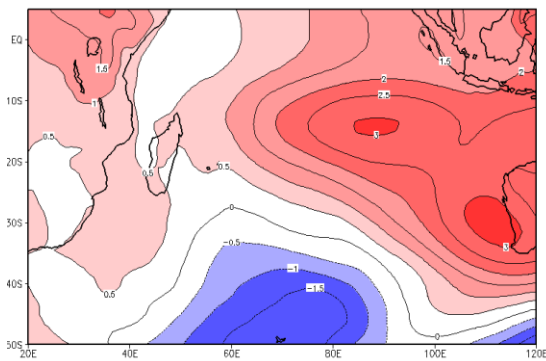
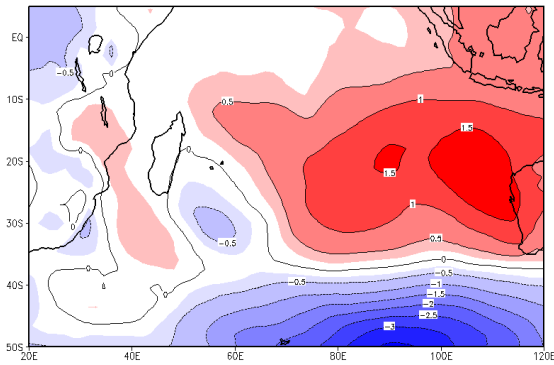
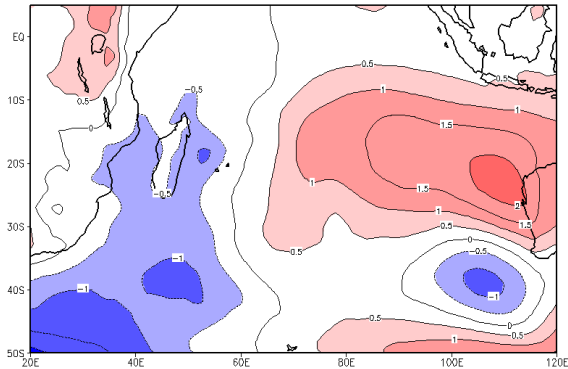
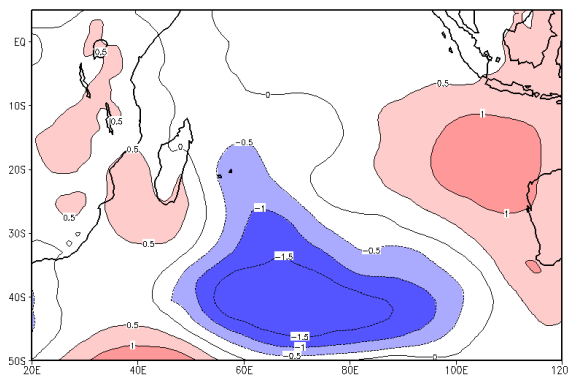


Figura 39: Composição de anomalias de pressão (hPa) em anos de El Niño no período NDJF para os anos (a) 1997/98; (b) 2002/03; (c) 2004/05; (d) 2006/07; (e) 2009/10.

(Cont.)

(c) 2004/05**(d) 2006/07****(e) 2009/10**

No campo de circulação, por meio de fluxos anômalo de umidade integrado verticalmente, são observados fluxos anômalo ciclônicos na região norte de Moçambique e fluxos anômalo anticiclônicos nas regiões centro e Sul (Fig.40 a, d), com exceção do ano 2009/10, onde grande parte de Moçambique apresenta-se com fluxos divergentes (Fig. 40e). Observam-se anomalias negativas de precipitação sobre grande parte de Moçambique e anomalias positivas sobre região norte de País (Fig. 41a-c). Contrariamente, nos anos 2006/07 e 2009/10 mostram padrões de precipitação diferentes e, portanto, anomalias positivas ocorrem nas regiões sul e uma parte do centro de Moçambique (Fig. 41d, e).

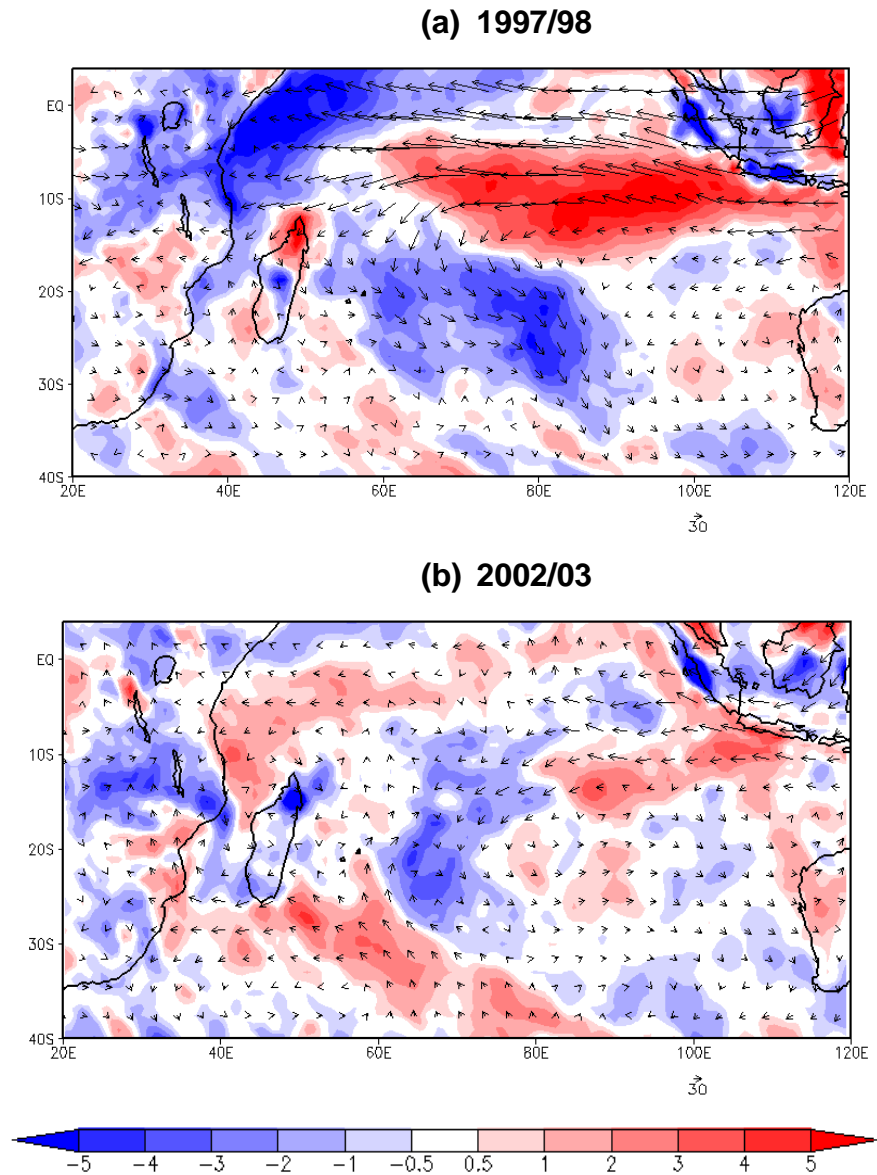
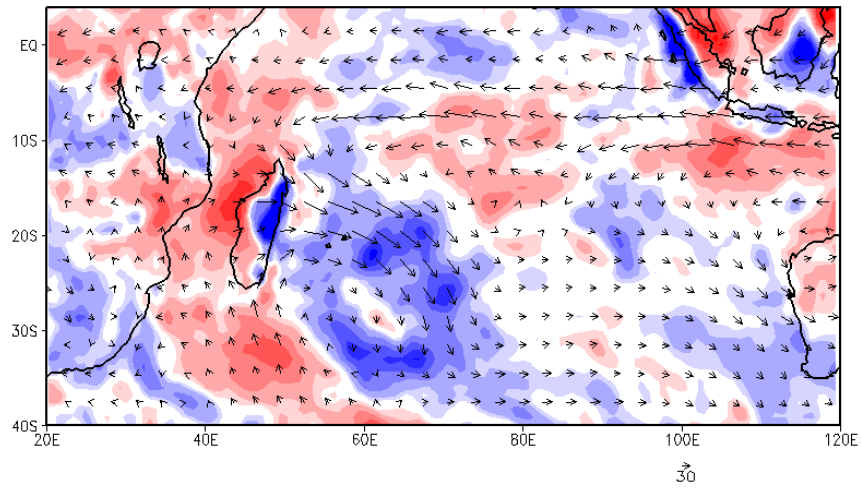
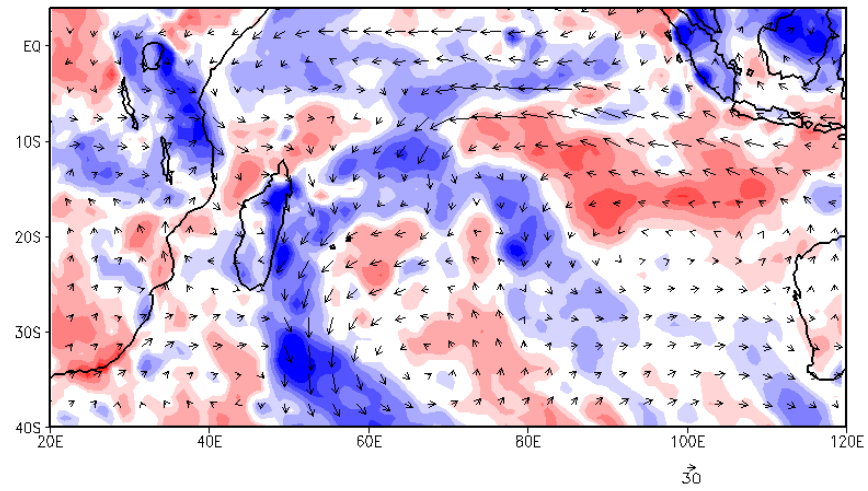
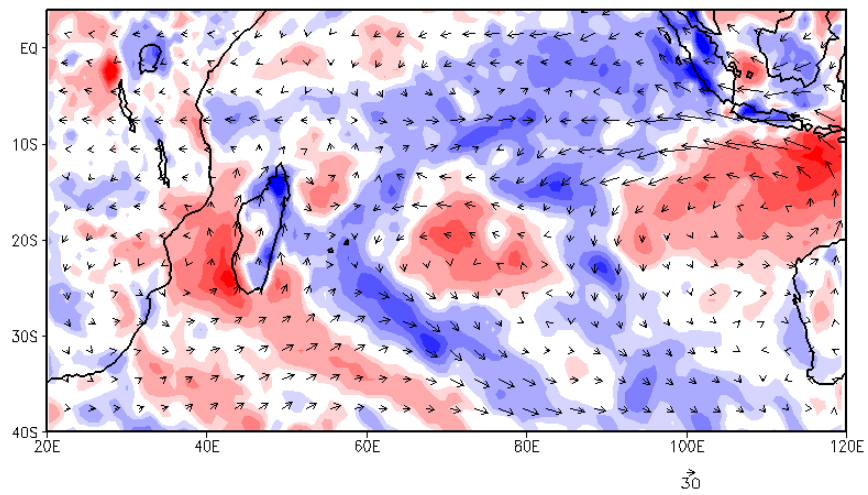


Figura 40: Composição de anomalia do vetor fluxo de umidade ($\text{Kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) e divergência de umidade (mm.dia^{-1}), integrado verticalmente na camada de 1000-500hPa em anos de El Niño no período NDJF para os anos: (a) 1997/98; (b) 2002/03; (c) 2004/05; (d) 2006/07; (e) 2009/10.

(Cont.)

(c) 2004/05**(d) 2006/07****(e) 2009/10**

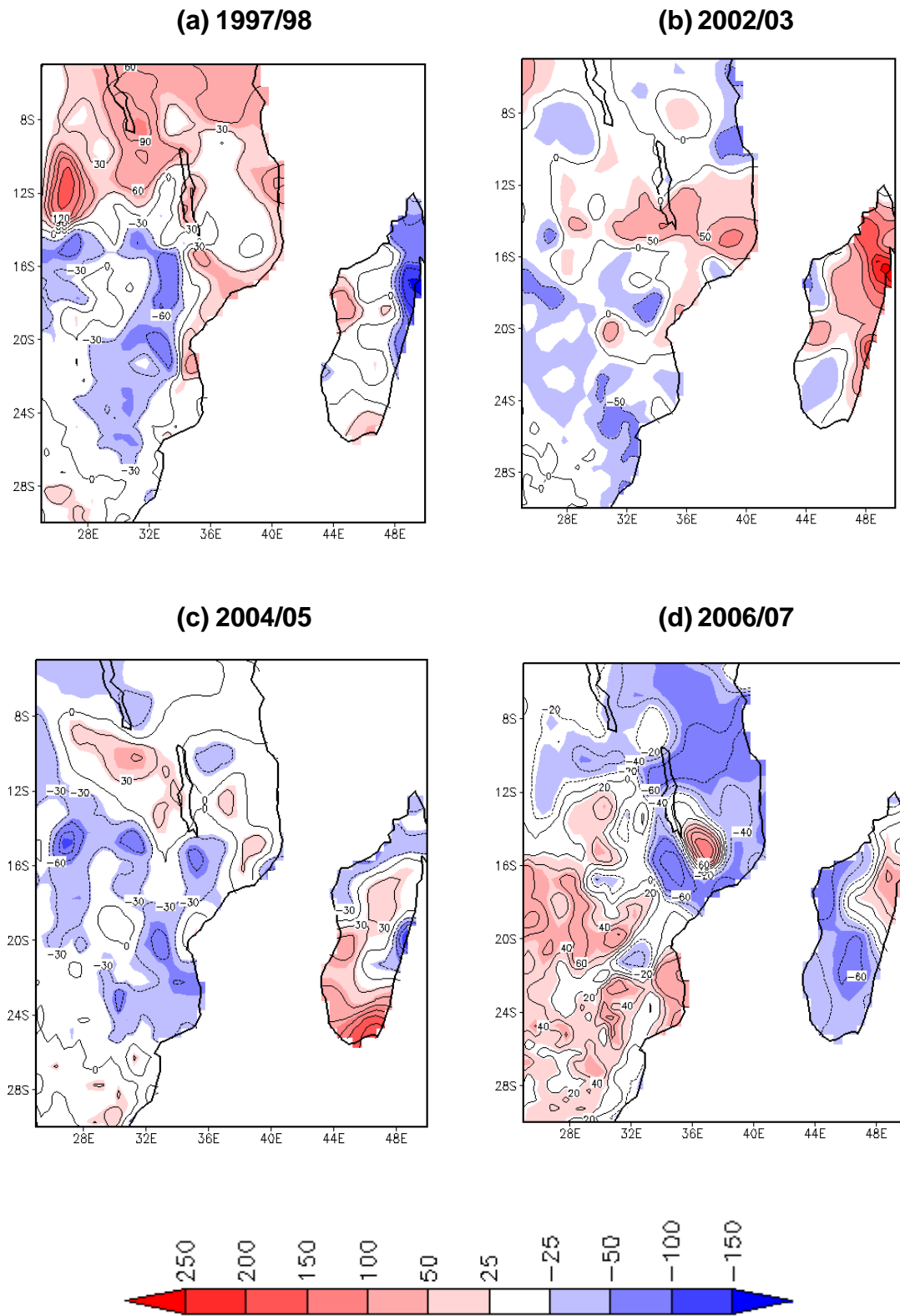
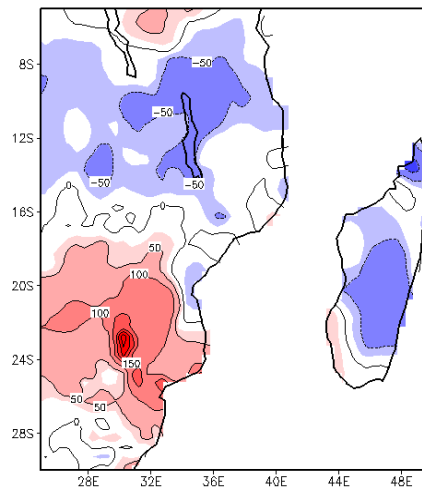


Figura 41: Composição de anomalias de precipitação (mm) em anos de El Niño no período NDJF para os anos: (a) 1997/98; (b) 2002/03; (c) 2004/05; (d) 2006/07; (e) 2009/10.

(Cont.)

(e) 2009/10**4.3.4. Fase negativa do dipolo do oceano Índico subtropical**

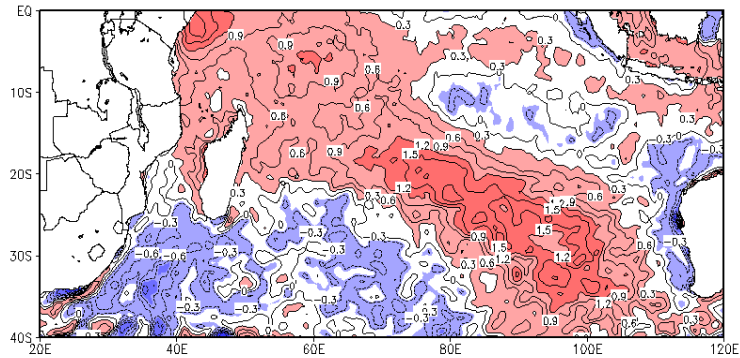
Três eventos de DOIS na fase negativa foram observados, sendo que dois eventos em anos de ocorrência de El Niño (1997/98 e 2002/03) e um evento em ano de La Niña (1999/00), figura 42. O padrão de anomalias negativas TSM nos anos de 1997/98 e 2002/03 é similar ao observado em anos de El Niño, que se estendem na região SWOI incluindo as regiões sul de Madagascar (Fig. 42a, c).

O padrão de TSM observado no evento de 1999/00 apresenta-se de forma diferente, sendo que além das duas regiões de anomalias negativas, há outra que apresenta anomalias positivas de TSM, localizada ao sul de Madagascar. Este padrão pode estar associado ao fato de ser um ano de evento de La Niña como foi apresentado em 4.3.1, onde anomalias negativas de TSM estendem-se geralmente deste a região tropical (leste da África) até a região subtropical à oeste da Austrália (Fig. 42b).

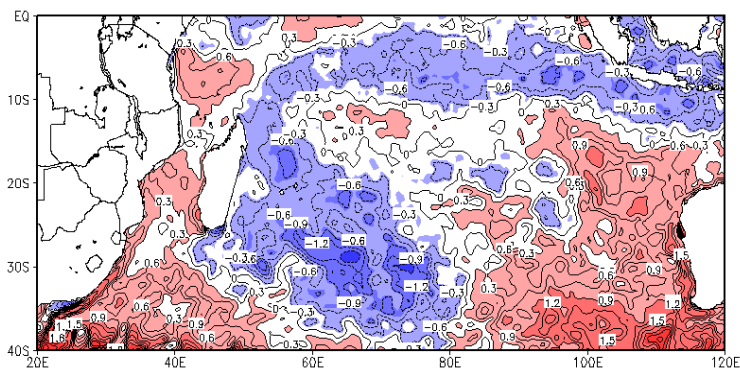
Anomalias negativas de pressão sobre a região subtropical do oceano Índico ocorrem nos eventos de 1997/98 e 2002/03 como resultado da desintensificação do ASI, assim como a baixa pressão sobre o continente (Fig. 43a, c), gerando condições pouco favoráveis à ocorrência de precipitação. Um padrão contrário ocorreu em 1999/00, onde anomalias positivas de TSM sobre a região subtropical do oceano Índico e anomalias negativas sobre a região de Moçambique (Fig. 43b), são observadas anomalias positivas de pressão sobre a região subtropical do oceano

Índico anomalias negativas de pressão sobre o território moçambicano, assim como sobre o Zimbábue são notadas.

(a) 1997/98



(b) 1999/00



(c) 2002/03

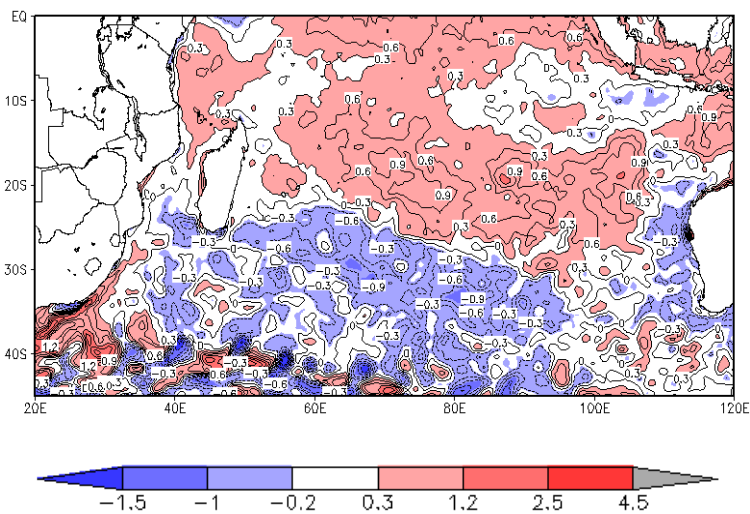


Figura 42: Composição de anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$) em anos de DOIS (fase negativa) para os anos: (a) 1997/98; (b) 1999/00; (c) 2002/03.

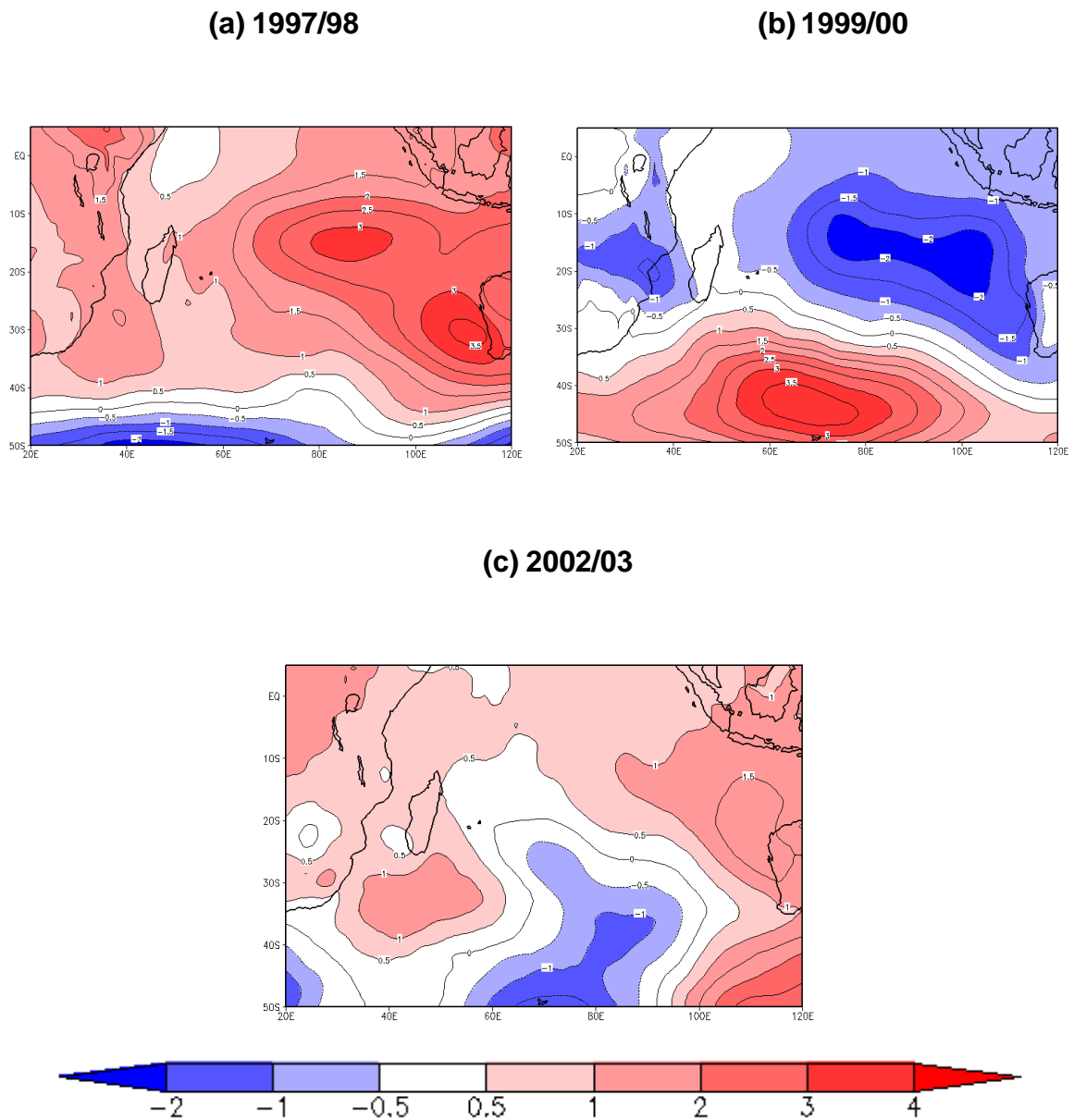


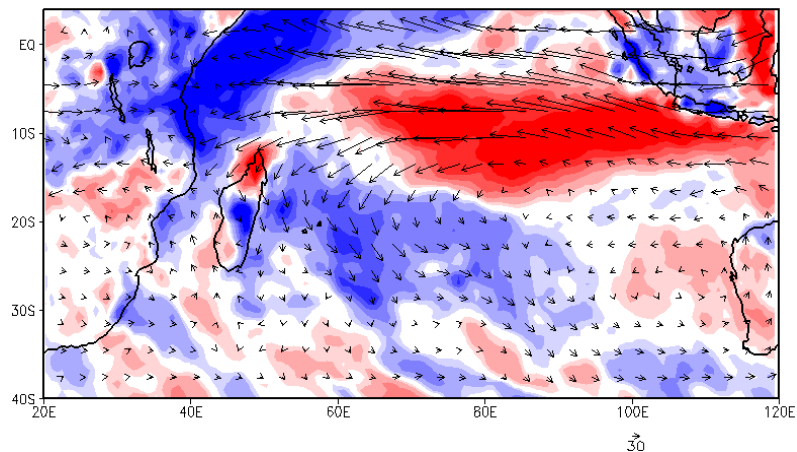
Figura 43: Composição de anomalias de pressão (hPa) em anos de DOIS (fase negativa) no período DJF para os anos: (a) 1997/98; (b) 1999/00; (c) 2002/03.

Fluxos anômalos anticiclônicos são observados sobre maior parte do território moçambicano nos anos de 1997/98 e 2002/03, sendo claramente observado através de fluxos anômalos de umidade integrado verticalmente que apresentam circulação anticiclônica resultando em divergência na mesma região (Fig.44a, c). Acima da latitude 15°S ocorrem fluxos anômalos convergentes, havendo dois padrões de circulação, o primeiro não favorável a condições de ocorrência de precipitação na região de Moçambique e o outro favorável a ocorrência. Em consequência

anomalias negativas de precipitação são observadas sobre a maior parte de Moçambique e anomalias positivas sobre uma região norte do País (Fig. 45a-c).

No ano de 2009/10 onde as regiões centro e sul de Moçambique apresentam fluxos anômalos convergentes (Fig. 44b), resultam em anomalias positivas de precipitação, enquanto que na região norte observa-se anomalias negativas de precipitação (Fig. 45b) em função de fluxos anômalos divergentes (Fig. 44b).

(a) 1997/98



(b) 1999/00

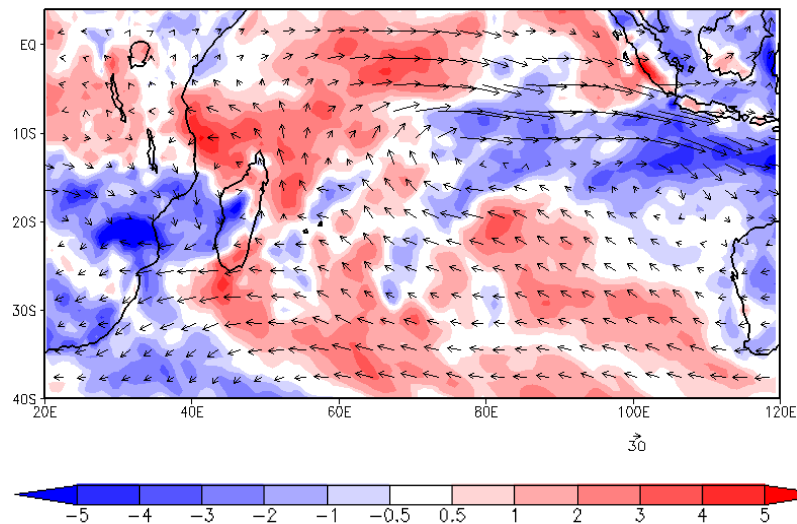
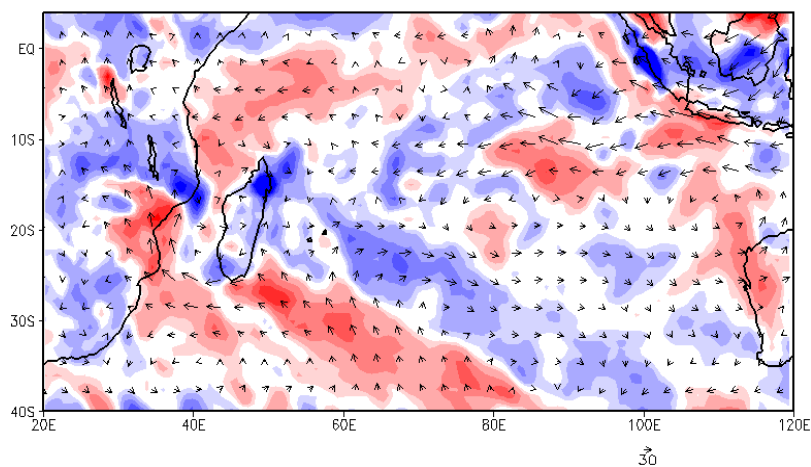


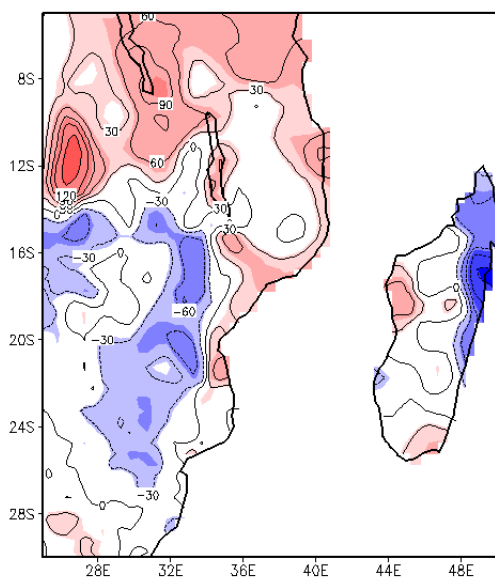
Figura 44: Composição de anomalia do vetor fluxo de umidade ($\text{Kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) e divergência de umidade (mm.dia^{-1}), integrado verticalmente na camada de 1000-500hPa em anos de DOIS (fase negativa) no período DJF para os anos: (a) 1997/98; (b) 1999/00; (c) 2002/03.

(Cont.)

(c) 2002/03



(a) 1997/98



(b) 1999/00

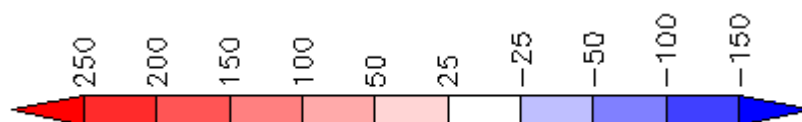
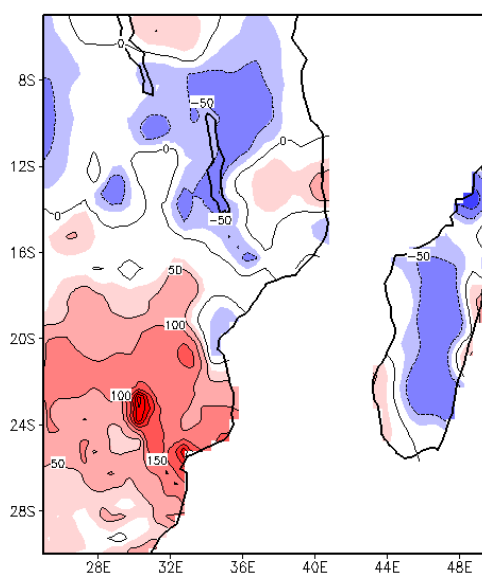
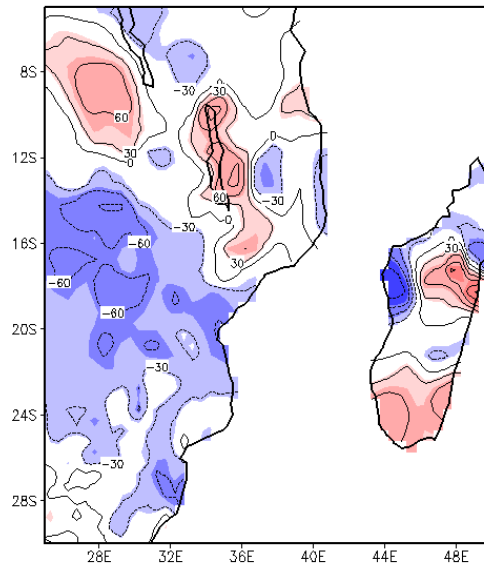


Figura 45: Composição de anomalias de precipitação (mm) em anos de DOIS (fase negativa) no período DJF para os anos: (a) 1997/98; (b) 1999/00; (c) 2002/03.

(Cont.)

(c) 2002/03



5. SUMÁRIO E CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi analisar a variabilidade interanual da precipitação associada aos principais sistemas meteorológicos responsáveis pela variação na região SEA durante sua estação chuvosa (Outubro a Março) e relacionar esta variabilidade a padrões de anomalias de TSM nos oceanos Índico, Atlântico Sul e Pacífico Equatorial Tropical. Como metodologia foram utilizadas técnicas estatísticas de análise de dados como: Filtragem (Filtro passa baixa), ACP para dados de precipitação do GPCP (Huffman et al., 2001), durante o período de 1996 a 2012; Análise de correlação entre anomalias de precipitação do GPCP e anomalias de TSM (Reynolds e Smith, 2007); Análise de composições usando dados do Era-Interim (Berrisford et al., 2011): pressão, ventos (u , v) e umidade específica em níveis inferiores da troposfera (até 500 hPa).

Por meio de ACP, três modos com rotação e sem rotação foram considerados, dos quais dois mostraram-se relacionados com fenômenos de ENOS, DOIS e variabilidade do ASI.

- O primeiro modo explica a maior parte da variância no período ONDJFM (21,5%) e DJF (22,2%), na qual a região de Moçambique apresenta dois cenários distintos um favorável ao aumento de precipitação nas regiões centro e sul, e outro na condição desfavorável ao aumento da precipitação sobre a região norte (ONDJFM) e vice-versa no período (DJF), sendo um resultado influenciado pela manifestação do ENOS;
- Observa-se que a oscilação das séries temporais do primeiro modo tanto no período ONDJFM tanto em DJF, está em concordância com as oscilações do ENOS, isto é, anos de ocorrência de La Niña e El Niño.
- O segundo modo para os dois períodos ONDJFM (12,3%) e DJF (12,9%) apresenta-se sobre maior parte da região centro e norte de Moçambique com sinal que tende a aumentar a precipitação com a orientação noroeste-sudeste, similar ao padrão da banda de nebulosidade que forma-se sobre a região SA, responsável pela ocorrência de precipitação (Washington e Todd, 1999 e Manhique et al., 2011).

A análise de correlação em fase assim como defasada entre anomalias de TSM mostrou que a precipitação na região SEA, especificamente em Moçambique, responde às variações de TSM nos três oceanos, Índico Tropical e Subtropical, Atlântico Tropical Sul e Pacífico Tropical (Niño 3.4).

- Correlação negativa entre TSM na região Niño 3.4 e a precipitação na maior parte de Moçambique e correlação positiva ocorre na região mais à norte. Enquanto que TSM na região sudoeste do oceano Índico (SWOI), apresenta-se positivamente correlacionada com a precipitação sobre maior parte de Moçambique, com significância nas regiões centro e norte e regiões do Zimbabué e África do Sul.

A análise de composições através de anomalias de TSM, pressão, anomalias de fluxo de umidade integrado na vertical e precipitação no período de novembro a fevereiro (NDJF), mostrou que variações de padrões de TSM sobre oceano Índico (Tropical e Subtropical) relacionam-se ao ENOS:

- Na região do oceano Índico subtropical ocorrem dois padrões de TSM na presença de ENOS, um padrão de anomalias positivas, isto é, anomalias positivas de TSM sobre a região SWIO e anomalias negativas na região LEOI, trata-se do padrão do DOIS, segundo Behera e Yamagata (2001).
- A fase positiva do DOIS tende a ocorrer em anos de La Niña e fase negativa em anos de El Niño. Variações de TSM na região tropical e subtropical do oceano Índico são acompanhadas por variação de pressão na região do subtropical do Índico, associada a intensidade do ASI. Na fase positiva do DOIS ou em anos de La Niña, ocorre a intensificação do ASI, fato que é observado através de anomalias positivas de pressão, sendo que a desintensificação é observada em anos do DOIS na fase negativa ou El Niño.

Variações de TSM na região tropical e subtropical do oceano Índico associadas a variação da intensidade da ASI constituem os mecanismos principais e que influenciam anomalias de precipitação na região SEA, particularmente sobre Moçambique, onde intensificação do ASI com fluxos anômalos divergentes sobre a

região oceânica e fluxos anômalos convergentes sobre a maior parte de Moçambique resultam em anomalias positivas de precipitação. De forma contrária, a desintensificação do ASI com ventos fracos em baixos níveis, fluxos anômalos divergentes sobre a região centro e sul de Moçambique que resultam em anomalias negativas de precipitação.

Variação do padrão de TSM no oceano Índico Tropical e Subtropical é um fator importante no controle da precipitação em Moçambique, o monitoramento da TSM nessas regiões oceânicas é uma prática que deve ser desenvolvida com vista a melhoria de prognóstico climático na região SEA.

5.1. Sugestões para trabalhos futuros

Pora aprofundar o presente estudo e aumentar a bibliografia para a região SEA, particularmente Moçambique, existem algumas sugestões para estudos futuros:

- Repetir o presente estudo utilizando modelagem numérica global e regional para permitir uma melhor explicação física dos fenômenos, podendo usar outro banco de dados (Contendo séries mais longas).
- Analisar a variabilidade do ASI e seus impactos no padrão de circulação na região SEA;
- Analisar a influência da variabilidade de anomalias de TSM dos oceanos Atlântico Sul e Índico Tropical/subtropical no padrão de circulação ampliando as análises feitas no presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHOK, K.; GUAN, Z.; YAMAGATA, T. Impact of the Indian Ocean dipole on the relationship between the Indian monsoon rainfall and ENSO. *Geophysical Research Letters*, v. 28, n. 23, p. 4499-4502, 2001.

BECKER, A.; FINGER, P.; MEYER-CHRISTOFFER, A.; RUDOLF, B.; SCHAMM, K.; SCHNEIDER, U.; ZIESE, M. A description of the global land-surface precipitation data products of the Global Precipitation Climatology Centre with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901-present. *Earth System Science Data*, v. 5, P. 71-99, 2013.

BEHERA, S. K.; YAMAGATA, T. Subtropical SST dipole events in the southern Indian Ocean. *Geophysical Research Letters*, v. 28, n. 2, p. 327-330, 2001.

BERRISFORD, P.; KALLBERG, P.; KOBAYASHI, S.; DEE, D.; UPPALA, S.; SIMMONS, A. J.; SATO, H. Atmospheric conservation properties in ERA-Interim. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 137, n. 659, p. 1381-1399, 2011.

BLACK, E. The relationship between Indian Ocean sea-surface temperature and East African rainfall. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 363, n. 1826, p. 43-47, 2005.

CAMBERLIN, P.; JANICOT, S.; POCCARD, I. Seasonality and Atmospheric Dynamics of the Teleconnection between African Rainfall and Tropical sea-surface temperature: Atlantic vs. ENSO. *International Journal of Climatology*, v. 21, n. 8, p. 973-1005, 2001.

COOK, K. H. The South Indian Convergence Zone and Interannual Rainfall Variability over southern Africa. *Journal of Climate*, v. 13, n. 21, p. 3789-3804, 2000.

CLIMATE VARIABILITY PREDICTION AND APPLICATION RESEARCH GROUP, JAMSTEC. Indian Oceanic Subtropical Dipole (IOSD) Index. Disponível em: <<http://www.jamstec.go.jp/res/ress/behera/iosdindex.html>>; Acesso em: 4 de out. 2014.

DRBOHLAV, H. K. L.; GUALDI, S.; NAVARRA, A. A diagnostic study of the Indian Ocean dipole mode in El Niño and non-El Niño years. *Journal of climate*, v. 20, n. 13, p. 2961-2977, 2007.

DUCHON, C. E. Lanczos filtering in one and two dimensions. *Journal of Applied Meteorology*, v. 18, n. 8, p. 1016-1022, 1979.

EL NIÑO - SOUTHERN OSCILLATION (ENSO). Descriptions of Changes to Oceanic Niño Index (ONI). Disponível em:

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/detrend.nino34.ascii.txt>; Acesso em: 4 outubro de 2014.

_____. Cold & warm Episodes by Season. Disponível em:

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>; Acesso em: 20 dez. 2014.

ENFIELD, D. B.; MESTAS-NUÑEZ, A. M.; MAYER, D. A.; CID-SERRANO, L. How ubiquitous is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures?. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. v. 104, n. C4, p. 7841-7848, 1999.

EUMETRAIN-EUMETSAT. Archive: South-Africa, Meteosat 10 IR10.8_12000UTC.

Disponível em:

<http://www.eumetrain.org/eport/archive_saws.html?width=1600&height=900>:

Acesso em: 15 set. 2013.

GRUPO DE ESTUDOS EM MULTI-ESCALAS. Filtragem de séries temporais.

Disponível em :

<http://www.icess.ucsb.edu/gem/material_print_methods/filtragem.doc>; Acesso em : 10 Out. 2014.

GODDARD, L.; GRAHAM, N. E. Importance of the Indian Ocean for simulating rainfall anomalies over eastern and southern Africa. *Journal of Geophysical Research*: v. 104, n. D16, p. 19099-19116, 1999.

MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO ESTATAL - MOÇAMBIQUE. Política de Gestão de Calamidades. Resolução n^o 18/99 de 10 de junho, 1999. Disponível em: <http://www.portaldogoverno.gov.mz/docs_gov/fold_politicas/outrasPol/politica_gesto_calamidade.pdf>: Acesso em: 20 Mai. 2013.

GOVERNO DE MOÇAMBIQUE. Constituição da República de Moçambique, 2004. Disponível em: <http://www.portaldogoverno.gov.mz/Legisla/constituicao_republica/constituicao.pdf> : Acesso em: 10 Jan. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INAM, 2012. Plano Estratégico do desenvolvimento da Meteorologia. Disponível em: www.inam.gov.mz/PEDM2013-2016.pdf. Acesso em: 15 Fev. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA-MOÇAMBIQUE. CENSO, 2007- III Recenseamento Geral da População e Habitação, 2007. Disponível em: <www.ine.gov.mz/informacao/estatistica/resultados_censo_2007.pdf>: Acesso em: 23 Mai. 2013.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of Climatic Hazards in Northeast Brazil. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 103, n. 435, p. 77-92, 1977.

HIRST, A. C.; HASTENRATH, S. Atmosphere-Ocean Mechanisms of Climate Anomalies in the Angola-tropical Atlantic sector. *Journal of physical oceanography*, v. 13, n. 7, p. 1146-115, 1983.

HOELL, A., FUNK, C.; MAGADZIRE, T.; ZINKE, J.; HUSAK, G. El Niño–Southern Oscillation diversity and Southern Africa teleconnections during Austral Summer. *Climate Dynamics*, p. 1-17, 2014

HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; MORRISSEY, M. M.; BOLVIN, D. T.; CURTIS, S.; JOYCE, R.; SUSSKIND, J. Global precipitation at one-degree daily resolution from multisatellite observations. *Journal of Hydrometeorology*, v. 2, n.1, p. 36-50, 2001.

IIZUKA, S.; MATSUURA, T.; YAMAGATA, T. The Indian Ocean SST dipole simulated in a coupled general circulation model. *Geophysical Research Letters*, v. 27, n 20, p. 3369-3372, 2000.

JANOWIAK, J. E. An investigation of interannual rainfall variability in Africa. *Journal of Climate*, v. 1, n. 3, p. 240-255, 1988.

JOHNSON, N. C. How many ENSO flavors can we distinguish?*. *Journal of Climate*, v. 26, n. 13, p. 4816-482, 2013.

JAPAN AGENCY FOR MARINE-EARTH SCIENCE AND TECHNOLOGY (JAMSTEC). Indian Ocean Dipole (IOD)-Positive Dipole Mode. Disponível em: <<http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/IOD1.html>>; Acesso em: 01 Mar. 2015.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, v. 23, n. 3, p. 187-200, 1958.

KAYANO, M. T.; OLIVEIRA, C. P.; ANDREOLI, R. V. Interannual relations between South American rainfall and tropical sea surface temperature anomalies before and after 1976. *International Journal of Climatology*, v. 29, n. 10, p. 1439-1448, 2009.

LAU, N. C.; NATH, M. J. Atmosphere-ocean variations in the Indo-Pacific sector during ENSO Episodes. *Journal of Climate*, v.16, n. 1, p. 3-20, 2003.

LORENZ, E. N. *Empirical Orthogonal Functions and Statistical Weather Prediction*, 1956.

LYON, B.; MASON, S. J. The 1997-98 summer rainfall Season in southern Africa. Part I: Observations. *Journal of Climate*, v. 20, n. 20, 5134-5148, 2007.

MACRON, C.; POHL, B.; RICHARD, Y.; BESSAFI, M. How do tropical temperate troughs form and develop over southern Africa?. *Journal of Climate*, v. 27, n. 4, p. 1633-1647, 2014.

MANHIQUE, A. J.; REASON, C. J. C.; RYDBERG, L.; FAUCHEREAU, N. ENSO and Indian Ocean sea surface temperatures and their relationships with tropical temperate troughs over Mozambique and the Southwest Indian Ocean. *International Journal of Climatology*, v. 31, n. 1, p. 1-13, 2011.

MASON, S. J. Sea-surface temperature-South African rainfall associations, 1910–1989. *International Journal of Climatology*, v. 15, n. 2, p. 119-135, 1995.

_____.; JURY, M. R. Climatic variability and change over southern Africa: a reflection on underlying processes. *Progress in Physical Geography*, v. 21, n. 1, p. 23-50, 1997.

MORIOKA, Y.; TOZUKA, T.; YAMAGATA, T. Climate Variability in the Southern Indian Ocean as revealed by Self-Organizing Maps. *Climate Dynamics*, v. 35, n. 6, p. 1059-1072, 2010.

NICHOLSON, S. E. The Nature of Rainfall Variability in Africa South of the Equator. *Journal of Climatology*, v. 6, n. 5, p. 515-530, 1986.

_____. An analysis of the ENSO signal in the Tropical Atlantic and Western Indian Oceans. *International Journal of Climatology*, v. 17, n. 4, p. 345-375, 1997.

_____. The nature of rainfall variability over Africa on time scales of decades to millenia. *Global and planetary change*, v. 26, n. 1, p. 137-158, 2000.

_____.; ENTEKHABI, D. Rainfall variability in equatorial and southern Africa: Relationships with sea surface temperatures along the southwestern coast of Africa. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, v. 26, n. 5, p. 561-578, 1987.

_____.; KIM, J. The relationship of the El Niño-Southern oscillation to African rainfall. *International Journal of Climatology*, v. 17, n. 2, p. 117-135, 1997.

_____.; SOME, B.; KONE, B. An analysis of recent rainfall conditions in West Africa, including the rainy seasons of the 1997 El Niño and the 1998 La Niña years. *Journal of Climate*, v. 13, n. 14, p. 2628-2640, 2000.

NINOMIYA, K. Similarities and differences among the South Indian Ocean convergence zone, North American convergence zone, and other subtropical convergence zones simulated using an AGCM, v. 86, n. 1, p. 141-165, 2008.

NORTH, G. R.; BELL, T. L.; CAHALAN, R. F.; MOENG, F. J. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. *Monthly Weather Review*, v. 110, n. 7, p. 699-706, 1982.

O'BRIEN, K.; VOGEL, C. Coping with Climate Variability-The Use of Seasonal Climate Forecast in Southern Africa; *Grower House*: Tucson, AZ, USA, p. 135–150, 2003.

OHISHI, S.; SUGIMOTO, S.; HANAWA, K. Zonal movement of the Mascarene High in Austral Summer. *Climate Dynamics*, p. 1-7, 2014.

OKUMURA, Y. M.; OHBA, M.; DESER, C.; UEDA, H. A proposed mechanism for the asymmetric duration of El Niño and La Niña. *Journal of climate*, v. 24, n.15, p. 3822-3829, 2011.

OLIVEIRA, C. P. Influência do Pacífico e Atlântico na Variabilidade Interanual da Precipitação sobre América do Sul. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE-15391-TDI/1408, 2008.

PEIXOTO, J. P.; OORT A. H. *Physics of Climate*. New York, American Institute of Physics, 520 pp, 1992.

RASMUSSEN, E. M.; CARPENTER, T. H. Variations in Tropical Sea Surface Temperature and Surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review*, v. 110, n. 5, p. 354-384, 1982.

REASON, C. J. C. Warm and cold events in the Southeast Atlantic/Southwest Indian Ocean region and potential impacts on circulation and rainfall over Southern Africa. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 69, n. 1, p. 49-65, 1998.

_____. Subtropical Indian Ocean SST Dipole events and Southern African Rainfall. *Geophysical Research Letters*, v. 28, n. 11, p. 2225-2227, 2001.

_____. Sensitivity of the southern African circulation to dipole sea-surface temperature patterns in the south Indian Ocean. *International Journal of Climatology*, v. 22, n. 4, p. 377-393, 2002.

_____.; MULENGA, H. Relationships between South African rainfall and SST anomalies in the Southwest Indian Ocean. *International Journal of Climatology*, v. 19, n. 15, 1651-1673, 1999.

_____.; LANDMAN, W.; TENNANT, W. Seasonal to decadal prediction of southern African climate and its links with variability of the Atlantic Ocean. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 87, n. 7, 941-955, 2006.

REYNOLDS, R. W.; SMITH, T. M.; LIU, C.; CHELTON, D. B.; CASEY, K. S.; SCHLAX, M. G. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature. *Journal of Climate*, v. 20, n. 22, p. 5473-5496, 2007.

RICHMAN, M. B. Rotation of Principal Components. *Journal of Climatology*, v. 6, n. 3, p. 293-335, 1996.

ROCHA, A.; SIMMONDS, I. Interannual Variability of South-Eastern African Summer Rainfall. Part I: Relationships with air-sea interaction processes. *International Journal of Climatology*, v. 17, n. 3, p. 235-265, 1997.

_____. Interannual Variability of South-Eastern African Summer Rainfall. Part II: Modelling the impact of sea surface temperatures on rainfall and circulation. *International Journal of Climatology*, v. 17, n. 3, p. 267-290, 1997.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly weather review*, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, 1987.

_____.; JONES, P. D. An extension of the Tahiti-Darwin southern Oscillation Index. *Monthly Weather Review*, v. 115, n. 9, p. 2161-2165, 1987.

SAJI, N. H.; GOSWAMI, B. N.; VINAYACHANDRAN, P. N.; YAMAGATA, T. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, v. 401, n. 6751, p. 360-363, 1999.

SUZUKI, R.; BEHERA, S. K.; IIZUKA, S.; YAMAGATA, T. Indian Ocean subtropical dipole simulated using a coupled general circulation model. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), v. 109, n. C9, 2004.

TODD, M.; WASHINGTON, R. Circulation anomalies associated with tropical-temperate troughs in southern Africa and the South West Indian Ocean. *Climate Dynamics*, v. 15, n. 12, p. 937-95, 1999.

TORRANCE, J. D. Malawi, Rhodesia and Zimbábue. *World Survey of Climatology-Africa*. v. 10, p. 409-460, 1972.

TRENBERTH, K. E. Signal versus noise in the Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, v. 112, n. 2, 326-332, 1984.

_____. The definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 78, n. 12, p. 2771-2777, 1997.

TYSON, P. D.; PRESTON-WHYTE, R. A. *Weather and climate of Southern Africa*. Oxford University Press. 2000.

VINAYACHANDRAN, P. N.; IIZUKA, S.; YAMAGATA, T. Indian Ocean Dipole mode events in an ocean general circulation model. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 49, n. 7, p. 1573-1596, 2002.

WASHINGTON, R.; PRESTON, A. Extreme wet years over southern Africa: Role of Indian Ocean sea surface temperatures. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), v. 111, n. D15, 2006.

_____.; TODD, M. Tropical-temperate links in southern African and Southwest Indian Ocean satellite-derived daily rainfall. *International Journal of Climatology*, v. 19, n. 14, p. 1601-1616, 1999.

WEBSTER, P. J.; CHANG, H. R. Equatorial Energy Accumulation and Emanation Regions: Impacts of a Zonally Varying Basic State. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 45, n. 5, p. 803-829, 1988.

_____.; MOORE, A. M.; LOSCHNIGG, J. P.; LEBEN, R. R. Coupled ocean-atmosphere dynamics in the Indian Ocean during 1997–98. *Nature*, v. 401, p. 6751, p. 356-360, 1999.

WILKS, D. S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press, 2006.

WILLIAMS, C. J. R.; KNIVETON, D. R.; LAYBERRY, R. Influence of South Atlantic Sea Surface Temperatures on Rainfall Variability and Extremes over Southern Africa. *Journal of Climate*, v. 21, n. 24, p. 6498-6520, 2008.

ZHONG, A.; HENDON, H. H.; ALVES, O. Indian Ocean Variability and its association with ENSO in a global coupled model. *Journal of climate*, v.18, n.17,p. 3634-3649, 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Rotação Varimáx

A rotação varimáx é um tipo de rotação ortogonal mais utilizada em análise de CP, com o objetivo de maximizar a variância de cada modo (Richman, 1986). Segundo Kaiser (1958), a rotação de uma PC é feita através da maximização da variância do quadrado dos autovetores (*loadings*), assim, faz-se a redistribuição da variância entre os PCs, resultando em maior simplicidade na sua interpretação.

A rotação varimáx é dada pela equação:

$$v_{\max} = \sum_{k=1}^m \frac{n \sum_{j=1}^n \left[\frac{s_{jk}^2}{c_j^2} \right]^2 - \left[\sum_{j=1}^n \left[\frac{s_{jk}^2}{c_j^2} \right] \right]^2}{n^2} \quad (16)$$

Onde \mathbf{C}_j é a cumunalidade parcial, \mathbf{S} são autovetores e n é o número de PCs rodadas.

O pacote R possui um algoritmo (função) para fazer a rotação varimáx (***rotate=*** "***varimax***"), bastando para tal definir quantos autovetores devem ser rotacionados.

APÊNDICE B - Significância estatística, teste *t-student*⁷

Na determinação da correlação entre anomalias de TSM e precipitação, recorrendo a relação de Person, faz-se o teste de significância estatística a fim de testar os resultados obtidos. Lembrando que os valores de correlação variam entre -1 e 1, sendo que zero significa que não há relação linear entre as duas variáveis.

O teste *t-student* determina-se por meio dos graus de liberdade (Wilks, 2006), assim, faz-se o teste da hipótese nula com a finalidade de rejeitá-la. Sendo que o coeficiente de correlação populacional ρ , a partir do coeficiente de correlação amostral $r_{x,y}$ seja igual a zero, isto é, $\rho = 0$ (distribuição simétrica) e o teste *t-student* será $\rho \neq 0$. Considerando que a distribuição é normal para $N-2$ graus de liberdade, determinado pelo tempo de correlação das séries, no presente caso, nos períodos:

- ONDJFM
- ONDJF/NDJFM
- DJF
- NDJ/DJF

O teste será dado por:

$$t = \frac{r_c \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r_c^2}} \quad (17)$$

r_c - coeficiente de correlação de corte

N - tamanho da amostra

t - valor tabelado⁸ de distribuição *t-student* para o nível de significância (95%)

$$r_c = \frac{t}{\sqrt{N-2+t^2}} \quad (18)$$

Para um teste do tipo dupla cauda (Two-tail test), como o presente caso, rejeita-se a hipótese nula para o nível de significância, se: $r_{xy} > r_c$ ou $r_{xy} < -r_c$

⁷ <<http://www.iag.usp.br/meteo/gem/>>; Acesso em: 18 Out. 2014

⁸ <<http://www.sjsu.edu/faculty/gerstman/StatPrimer/t-table.pdf>>; Acesso em: 18 Out. 2014

ANEXO

ANEXO A- Índice mensal de ONI⁹, desde jan/1950 até mar/2015

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1950	-1.42	-1.31	-1.04	-1.12	-1.38	-0.78	-0.50	-0.50	-0.52	-0.27	-0.59	-0.78
1951	-0.79	-0.73	-0.34	-0.24	0.11	0.15	0.81	0.86	1.19	1.20	1.27	0.85
1952	0.59	0.27	0.24	0.38	0.39	0.01	-0.19	-0.02	0.24	0.31	0.14	0.25
1953	0.59	0.66	0.59	0.68	0.70	0.71	0.60	0.66	0.82	0.80	0.75	0.72
1954	0.77	0.69	0.12	-0.64	-0.53	-0.39	-0.55	-0.75	-0.93	-0.72	-0.55	-0.91
1955	-0.71	-0.62	-0.70	-0.84	-0.92	-0.76	-0.61	-0.88	-0.69	-1.56	-1.93	-1.69
1956	-1.11	-0.62	-0.51	-0.59	-0.38	-0.39	-0.61	-0.62	-0.43	-0.43	-0.61	-0.58
1957	-0.30	-0.05	0.49	0.77	0.96	0.89	1.13	1.22	1.20	1.22	1.54	1.78
1958	1.96	1.77	1.18	0.78	0.72	0.67	0.49	0.37	0.16	0.35	0.64	0.48
1959	0.73	0.61	0.40	0.36	0.19	-0.04	-0.42	-0.20	-0.16	0.16	0.07	0.14
1960	-0.15	-0.36	-0.18	-0.06	-0.00	-0.14	0.08	0.32	0.26	0.08	0.08	0.11
1961	0.01	0.01	-0.10	0.01	0.30	0.54	0.21	-0.09	-0.38	-0.34	-0.04	-0.07
1962	-0.24	-0.31	-0.29	-0.27	-0.32	-0.12	0.00	0.01	-0.27	-0.22	-0.36	-0.52
1963	-0.50	-0.21	0.21	0.37	0.16	0.38	0.97	1.13	1.11	1.28	1.36	1.43
1964	1.05	0.67	0.01	-0.44	-0.61	-0.64	-0.51	-0.76	-0.86	-0.74	-0.84	-0.86
1965	-0.58	-0.23	0.03	0.12	0.52	0.89	1.09	1.57	1.68	1.97	2.04	1.79
1966	1.29	0.99	1.07	0.74	0.06	0.35	0.37	0.03	-0.04	-0.09	-0.08	-0.25
1967	-0.29	-0.31	-0.47	-0.58	-0.11	0.20	0.12	-0.02	-0.43	-0.31	-0.24	-0.36
1968	-0.68	-0.87	-0.76	-0.41	-0.45	0.27	0.56	0.49	0.37	0.49	0.88	0.97
1969	1.09	1.29	0.88	0.89	0.89	0.58	0.26	0.54	0.82	1.01	0.86	0.86
1970	0.61	0.38	0.23	0.45	0.16	-0.29	-0.57	-0.76	-0.66	-0.71	-0.67	-0.98
1971	-1.42	-1.31	-1.07	-0.76	-0.59	-0.77	-0.77	-0.69	-0.63	-0.92	-0.87	-0.97
1972	-0.67	-0.28	0.04	0.39	0.62	0.77	1.13	1.44	1.54	1.89	2.13	2.27
1973	1.91	1.28	0.54	-0.16	-0.53	-0.73	-1.11	-1.20	-1.24	-1.52	-2.05	-2.08
1974	-1.99	-1.57	-1.24	-0.90	-0.80	-0.75	-0.57	-0.30	-0.34	-0.65	-0.92	-0.82
1975	-0.33	-0.48	-0.72	-0.54	-0.68	-1.17	-1.07	-1.19	-1.36	-1.69	-1.45	-1.76
1976	-1.78	-1.10	-0.55	-0.53	-0.33	-0.10	0.20	0.39	0.49	0.88	0.85	0.63
1977	0.81	0.47	0.43	0.08	0.34	0.50	0.49	0.22	0.57	0.76	0.70	0.83
1978	0.81	0.48	0.09	-0.28	-0.26	-0.29	-0.26	-0.47	-0.43	-0.19	-0.14	-0.04
1979	-0.05	-0.07	0.33	0.33	0.13	0.10	-0.10	0.07	0.52	0.41	0.51	0.56
1980	0.59	0.34	0.23	0.25	0.37	0.54	0.29	-0.08	-0.06	-0.09	0.06	0.06
1981	-0.50	-0.69	-0.52	-0.36	-0.35	-0.21	-0.46	-0.49	-0.16	-0.12	-0.22	-0.14
1982	0.02	-0.11	0.08	0.22	0.65	0.76	0.52	0.90	1.51	2.03	2.07	2.31
1983	2.25	1.90	1.47	1.05	1.06	0.72	0.07	-0.21	-0.50	-0.89	-1.09	-0.80
1984	-0.54	-0.12	-0.23	-0.39	-0.46	-0.61	-0.29	-0.08	-0.26	-0.50	-1.02	-1.23
1985	-1.09	-0.72	-0.75	-0.76	-0.68	-0.64	-0.49	-0.47	-0.61	-0.43	-0.26	-0.43
1986	-0.52	-0.47	-0.23	-0.02	-0.20	0.03	0.28	0.46	0.65	0.95	1.07	1.17
1987	1.25	1.28	1.26	1.02	0.93	1.13	1.41	1.72	1.71	1.43	1.33	1.03

⁹http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/detrend.nino34.ascii.txt;
Acesso em: 23 Abr. 2015.

