



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/02.25.20.10-TDI

MONITORAMENTO DA OSCILAÇÃO MADDEN JULIAN UTILIZANDO O MÉTODO RMM

Marília de Abreu Gregorio

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Meteorologia, orientada pelo Dr.
Nelson Jesuz Ferreira, aprovada
em 27 de fevereiro de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3J38BTS>>

INPE
São José dos Campos
2015

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
(CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/02.25.20.10-TDI

MONITORAMENTO DA OSCILAÇÃO MADDEN JULIAN UTILIZANDO O MÉTODO RMM

Marília de Abreu Gregorio

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Meteorologia, orientada pelo Dr.
Nelson Jesuz Ferreira, aprovada
em 27 de fevereiro de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3J38BTS>>

INPE
São José dos Campos
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Gregorio, Marília de Abreu.

G861m Monitoramento da oscilação Madden Julian utilizando o método RMM / Marília de Abreu Gregorio. – São José dos Campos : INPE, 2015.

xxiv + 82 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/02.25.20.10-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

Orientador : Dr. Nelson Jesus Ferreira.

1. Madden Julian. 2. Oscilações intrasazonais.
3. Monitoramento. I.Título.

CDU 551.513



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

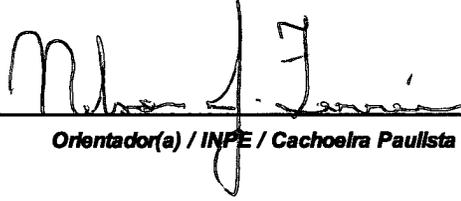
Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em
Meteorologia

Dr. **Prakki Satyamurty**



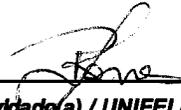
Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. **Nelson Jesuz Ferreira**



Orientador(a) / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. **Roger Rodrigues Torres**



Convidado(a) / UNIFEI / Itajubá - MG

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): Marília de Abreu Gregório

São José dos Campos, 27 de Fevereiro de 2015

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

*A meus avós,
meus pais,
minha irmã,
meu noivo
e minha amada filha Luiza.*

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminhos nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

Ao meu orientador, Dr. Nelson Jesuz Ferreira, por ter acreditado em mim, por ter me dado esta oportunidade, por todo o ensinamento e apoio.

A minha filha Luiza, que com seus 4 anos cheios de vida e de graça, me ensina algo novo todos os dias. Por ser minha inspiração e maior motivação. Por ser a razão. Por ser o tudo. Por ser a parte que eu não tinha. Por ser a minha alegria. Por me fazer sentir o amor mais sublime que existe. Por muitas vezes, mesmo não entendendo e questionando o porquê da minha ausência, respeitou e esperou. Por ser a dona do sorriso mais lindo que existe. Por ser meu coração fora do meu corpo.

A minha mãe Rosali, por acreditar, por viver para me proteger, por me apoiar nos momentos mais difíceis, por estar sempre por perto, por chorar e por rir comigo, por sempre largar tudo para me acudir, por conversar, por se preocupar, por ser minha amiga e pelo orgulho que eu sinto de ter você como mãe. A meu pai Otávio, por todo o ensinamento, por sempre estar a meu lado, por sempre acreditar em mim e nunca me deixar desistir, por sempre ter uma palavra amiga, por ser quem é!

À Marina, por ser a minha ponte entre o passado e o futuro, por ser o meu exemplo, por me dar duas sobrinhas lindas, por ser minha amiga, conselheira e a melhor irmã que existe.

A meus avós por serem meu TUDO! Nenhuma palavra conseguiria demonstrar toda minha gratidão e meu amor por vocês.

A meu noivo Flávio, por ser maravilhoso, por me trazer a realidade sempre que necessário, por ser a razão, por ser meu melhor amigo, por sempre estar a meu lado, por me ajudar, por ser um pai exemplar e por ser quem eu escolhi ficar pro resto da vida.

A toda a minha família, meus sogros e minha madrasta, apoio sempre.

Aos colegas de mestrado pelas risadas, ajuda e companheirismo durante as disciplinas.

À Renata e ao Julio, que mesmo longe, mantiveram-se perto me ajudando sempre que necessário.

À Jessica, Serginho, Luciana, Iury, Tamires, Luis por sempre estarem dispostos a me ajudar.

Às secretarias da PGMET, Simone, Andriele, Bruna, Suzy, Isabela e principalmente à Luana que deixou de ser apenas secretária para ser uma grande amiga.

Ao Cesar por todo o apoio, em tudo. Grande parte da realização deste trabalho, eu devo a você!

  Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento deste trabalho.

RESUMO

Este estudo apresenta uma metodologia para monitorar a Oscilação Madden Julian (OMJ) derivada da técnica denominada *Real Time Multivariate Madden Julian Oscillation* para a região Equatorial, durante o período de Janeiro de 2000 a Dezembro de 2010. Essa técnica foi adaptada para incluir a região da América do Sul e Oceano Atlântico e utiliza os dois pares principais de Funções Ortogonais Empíricas (EOFs) dos campos combinados dos dados de Radiação de Onda Longa (ROL), vento zonal em 850 hPa e vento zonal em 200 hPa, denominados RMM1 e RMM2. Esses índices descrevem a evolução e trajetória da OMJ ao redor do globo. Inicialmente apresenta-se uma análise das EOFs de ROL e do campo de vento para diagnosticar as características espaço-temporal dessas variáveis. Posteriormente apresenta-se uma análise do diagrama espaço-fase para acompanhar o deslocamento da OMJ em suas várias fases de seu ciclo de vida. Apresenta-se também uma análise da composição do ciclo de vida da OMJ em termos de ROL e do campo de vento. AS características gerais e sazonais dessa composição foram realizadas para avaliar os padrões espaciais e globais da variabilidade atmosférica associada ao índice RMM. Os resultados obtidos evidenciam as principais características de ROL e do campo de vento associadas à propagação da OMJ, destacando principalmente a propagação da atividade convectiva e a variabilidade das anomalias do vento zonal na região equatorial. A amplitude do sinal da OMJ possibilitou inferir adequadamente a intensidade desse fenômeno, ao passo que a composição do ciclo de vida da OMJ contribui para um melhor entendimento da estrutura dinâmica desse fenômeno.

INTRASEASONAL OSCILLATION MONITORING USING THE RMM

METHOD

ABSTRACT

This study presents a methodology for monitoring the Madden Julian Oscillation (MJO) derived from Real Time Multivariate Madden Julian Oscillation technique for the Equatorial region, during January 2000 to December 2010. This technique was adapted to include South America and Atlantic Ocean regions. It uses the two mainly pairs of Empirical Orthogonal Function (EOF) for combined fields of the Outgoing Longwave Radiation (OLR), zonal wind at 850 hPa and zonal wind at 200 hPa, called RMM1 and RMM2. These indices describe the evolution and trajectory of the MJO around the globe. Firstly, it presents an analysis of the EOF for OLR and wind field to diagnose the spatio-temporal characteristics of these variables. Secondly, it presents an analysis of the phase space diagram to see the displacement of MJO in various phases of its life cycle. Furthermore, we present an analysis of the MJO's life cycle composition in terms of OLR and of the wind field. General and seasonal characteristics of this composition were done to evaluate the spatial and global patterns of the atmospheric variability associated with the RMM index. The results show the main features of OLR and wind field associated with spread of MJO, especially highlighting the spread of convective activity and the variability of zonal wind anomalies in the equatorial region. The amplitude of the MJO's signal enable infer the intensity of this phenomenon properly, whereas the composition of the MJO's life-cycle contributes to a better understanding of the dynamic structure of this phenomenon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema das variações espaço-temporais da perturbação.....	5
relacionada com a OMJ.	5
Figura 2.2 Representação da estrutura da OMJ. Setas indicam a direção do vento e os movimentos ascendentes e subsidentes..	7
Figura 2.3: Representação Esquemática da OMJ e suas Teleconexões.	11
Figura 2.4 : Estrutura espacial dos EOFs 1 e 2 das análises combinadas de ROL, u850 e u200.	13
Figura 2.5: Diagrama espaço-fase para RMM1 e RMM2. Os pontos indicam todos os dias para os meses de DJF de 1974 a 2003. Oito regiões são definidas para o espaço-fase e classificadas como regiões significativas para a atividade da OMJ.	14
Figura 3.1: Projeção dos dados, para RMM1 e RMM2 para o ano de 2001. ...	23
Figura 3.2: Base para a plotagem do diagrama espaço-fase. A plotagem ocorre através dos índices de RMM1 e RMM2.	24
Figura 3.3: Diagrama ilustrativos dos procedimentos realizados para obtenção dos resultados	25
Figura 4.1: Padrão espacial do primeiro modo da EOF da anomalia de ROL para o período de 2000 a 2010 ao qual explica 17,6 % da variância total.	28
Figura 4.2: Padrão espacial do segundo modo da EOF da anomalia de ROL para o período de 2000 a 2010 ao qual explica 14,3 % da variância total	29
Figura 4.3: Padrão espacial do primeiro modo da EOF da anomalia de vento em 850hPa para o período de 2000 a 2010 ao qual explica a variância em 7,1% da variância total	30
Figura 4.4: Padrão espacial do segundo modo da EOF da anomalia de vento em 850hPa para o período de 2000 a 2010 ao qual explica a variância em 5,9% da variância total	31
Figura 4.5: Padrão espacial do primeiro modo da EOF anomalia de vento em 200hPa para o período de 2000 a 2010 ao qual explica a variância em 6,1% da variância total	32
Figura 4.6: Padrão espacial do segundo modo da anomalia de vento em 200 hPa para o período de 2000 a 2010 ao qual explica a variância em 5,5% da variância total	33
Figura 4.7: Esquema tridimensional da estrutura vertical da OMJ. Círculos em azul indicam circulações anticiclônicas. Círculos em vermelho indicam	

circulações ciclônicas. Setas indicam a direção do vento e os movimentos ascendentes e subsidentes.....	34
Figura 4.8: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o período de 2000 a 2010. As diversas fases indicam as regiões geográficas onde a OMJ está atuando e as cores os meses considerados.....	36
Figura 4.9: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2002.....	37
Figura 4.10: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2003.....	38
Figura 4.11: Fase 1 e 2 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para o período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m ²	44
Figura 4.12: Fase 3 e 4 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para o período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m ²	45
Figura 4.13: Fase 5 e 6 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para o período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m ²	46
Figura 4.14: Fase 7 e 8 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para o período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m ²	47
Figura 4.15: Fase 1 e 2 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para os meses de Novembro a Abril do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao número de dias em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m ² . As letras A e C referem-se a circulações Anticiclônicas e Ciclônicas, respectivamente.....	50
Figura 4.16: Fase 3 e 4 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para os meses de Novembro a Abril do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m ²	51

Figura 4.17: Fase 5 e 6 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para os meses de Novembro a Abril do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m ² . As letras A e C referem-se a circulações Anticiclônicas e Ciclônicas, respectivamente.....	52
Figura 4.18: Fase 7 e 8 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para os meses de Novembro a Abril do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m ²	53
Figura 4.19: Fase 1 e 2 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m ²	54
Figura 4.20: Fase 3 e 4 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m ²	55
Figura 4.21: Fase 5 e 6 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m ²	56
Figura 4.22: Fase 7 e 8 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m ²	57
Figura A.1: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2000.....	69
Figura A.2: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2001.....	70
Figura A.3: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2004.....	71
Figura A.4: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2005.....	72
Figura A.5: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2006.....	73

Figura A.6: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2007	74
Figura A.7: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2008	75
Figura A.8: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2009	76
Figura A.9: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2010.	77
Figura B.1: Fase 1 e 2 da Composição do Ciclo de Vida da OMJ (OLR, u250 e 250) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao número de dias em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m ² . As letras A e C referem-se a circulações Anticiclônicas e Ciclônicas, respectivamente.	79
Figura B.2: Fase 1 e 2 da Composição do Ciclo de Vida da OMJ (OLR, u250 e 250) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao número de dias em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m ²	80
Figura B.3: Fase 1 e 2 da Composição do Ciclo de Vida da OMJ (OLR, u250 e 250) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao número de dias em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m ²	81
Figura B.4: Fase 1 e 2 da Composição do Ciclo de Vida da OMJ (OLR, u250 e 250) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao número de dias em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m ²	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Tabela demonstrativa de dias ativos e inativos da OMJ.....	40
--	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ACP	Análise por Componentes Principais
AS	América do Sul
CDO	Climate Data Operator
CP	Componentes Principais
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
EEOF	Funções Ortogonais Empíricas Estendidas
ENOS	El Niño Oscilação Sul
EOF	Funções Ortogonais Empíricas
EUA	Estados Unidos da América
GrADS	Grid Analysis and Display System
HL	Hemisfério Leste
HO	Hemisfério Oeste
LA	Leste da Amazônia
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NCL	NCAR Command Language
NEB	Nordeste Brasileiro
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMJ	Oscilação Madden Julian
PNM	Pressão ao Nível do Mar
RMM	Real Time Multivariate Madden Julian Oscillation
ROL	Radiação de Onda Longa
TSM	Temperatura na Superfície do Mar
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZPCS	Zona de Convergência do Pacífico Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA E REVISÃO BIBLIOGRAFICA	3
2.1 Oscilação Madden-Julian	3
2.2 Índice RMM	11
2.2.1 Calculo do índice RMM.....	12
2.3 Funções Ortogonais Empíricas (EOF).....	15
2.3.1 EOF Combinado.....	17
3 DADOS E METODOLOGIA	21
3.1 Dados	21
3.2 Metodologia:.....	21
3.2.1 Índice RMM	21
3.2.1.1 Projeção	22
3.2.1.2 Diagrama espaço-fase:	23
4 RESULTADOS	27
4.1 Funções Ortogonais Empíricas	27
4.1.1 EOF – Radiação de Onda Longa (ROL).....	27
4.1.2 EOF – Vento Zonal 850 hPa (u850)	29
4.1.3 EOF – Vento Zonal 200 hPa (u200)	31
4.2 Diagrama Espaço-Fase.....	34
4.3 Composição do Ciclo de Vida da OMJ	40
4.3.1 Variabilidade Sazonal.....	48
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
APENDICE A	69
APENDICE B	79

1 INTRODUÇÃO

A Oscilação Madden-Julian (OMJ) exerce ampla influência no tempo e clima global, principalmente nos trópicos. Os pioneiros a estudá-la foram Roland Madden and Paul Julian em 1971 e desde então, inúmeros estudos tem sido realizados com o intuito de que seja possível entendê-la e prevê-la. O interesse crescente em sua previsibilidade se deve ao fato de que a OMJ é o modo dominante da variabilidade intrasazonal de convecção e ventos nos trópicos, além de que ela impulsiona teleconexões nos extratropicos (Lo e Hendon, 1999). Outro fator se deve ao fato de que vários eventos de tempo ocorrem sob sua influência, como, por exemplo, precipitação, temperatura da superfície, ciclones tropicais, tornados, inundações, entre outros (ZHANG, 2005).

A OMJ também interage com o oceano e pode influenciar a evolução do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e da La Niña, alterando o campo de vento em baixos níveis que, por sua vez resultará nas variações das temperaturas do oceano e conseqüentemente na temperatura da superfície do mar. Em geral, a OMJ tende a ser mais ativa durante os anos em que o ENOS é considerado neutro ou fraco e ausente durante eventos de El Niño forte. Nos casos de La Niña, sua atividade é considerada variável, contudo, a força com que a OMJ atua varia de ano para ano (GOTTSHALCK, 2008).

Na América do Sul (AS), os impactos mais marcantes da OMJ ocorrem em áreas de estações chuvosas curtas, como o nordeste do Brasil (NEB) e influencia os sistemas de monções, desempenhando um papel importante na variabilidade do clima na escala subsazonal (KAYANO et al, 2009). Um exemplo importante é o estudo feito por Carvalho et al (2004), onde eles encontraram que a OMJ modula eventos da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Nos últimos anos foram desenvolvidas algumas metodologias para monitorar a OMJ. Wheeler e Hendon (2004) denominaram seu método de *Real Time Multivariate Madden-Julian Oscillation (RMM)* e propuseram que o sinal da oscilação pode ser isolado utilizando o par principal de Funções Ortogonais Empíricas (EOFs) de dados de radiação de onda longa (ROL) e campos de

vento. Com isso, se torna possível definir os padrões espaciais e índices necessários para o método RMM. Assumindo que a ROL representa movimentos verticais em grande escala e convecção profunda, o par principal de EOFs descreve as células de circulação em larga escala e a orientação vertical da OMJ, que lembra o esquema original proposto por Madden e Julian (1972). Em tempo real, a projeção dos dados diários observados para os dois principais EOFs produz os índices da OMJ desejáveis. A redução do número de parâmetros necessários para descrever a OMJ a dois é conveniente para um grande número de aplicações, incluindo o desenvolvimento de previsões estatísticas e outros modelos para intercomparações.

Posteriormente, Kikuchi, Wang e Kajikawa, (2011) propuseram um outro método em que o estado das oscilações intrasazonais em qualquer época do ano fosse representado por meio de uma metodologia denominada Bimodal que consiste em monitorar e avaliar objetivamente e quantitativamente a OMJ através das anomalias projetadas de ROL.

Na AS enfoques desse tipo ainda não foram explorados. Com o intuito de aprimorar os conhecimentos nessa área de atuação, o objetivo desse estudo é adaptar e implementar a técnica RMM para o monitoramento regional da OMJ. Destaca-se que tal método de estatística multivariada foi inicialmente desenvolvido para monitorar a propagação da OMJ na região dos Oceanos Índico e Pacífico Oeste, onde o sinal da oscilação é mais intenso. Adicionalmente, pretende-se analisar individualmente os padrões de EOF dos dados de ROL e vento zona em 850 hPa e 200 hPa e diagnosticar os padrões globais de circulação e a composição do ciclo de vida da OMJ. Metodologias desse tipo são de interesse operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e de importância para melhorar o monitoramento climático e a previsão em médio prazo no Brasil. No capítulo 2 será feita uma revisão bibliográfica sobre a OMJ e sobre o índice RMM. Já no capítulo 3 encontra-se uma descrição dos dados utilizados e da metodologia empregada. O capítulo 4 apresenta os resultados encontrados e por fim, o capítulo 5 traz as considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA E REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Oscilação Madden-Julian

A variabilidade intrasazonal não é apenas uma forma de preencher uma lacuna entre fenômenos de escala sinótica e fenômenos de variabilidade sazonal. Os fenômenos de variabilidade intrasazonal se diferem dos fenômenos com frequência mais alta e mais baixa por seus picos espectrais significativos e por seus padrões espectrais coerentes (ZHANG, 2005).

A OMJ é o principal mecanismo físico da variabilidade intrasazonal presente nos trópicos. Sua primeira evidência foi estudada por Madden e Julian em 1971, através da aplicação da análise espectral e espectral cruzada nos dados diários de radiossondagem de vento zonal e pressão ao nível do mar para um período de 10 anos. Eles utilizaram algumas estações localizadas no Oceano Pacífico Oeste, detectando oscilações com período de 40 a 50 dias. Estas oscilações têm como principal característica um deslocamento para leste de uma célula zonal de grande escala termicamente direta, que é capaz de ocasionar variações na convecção de grande escala no cinturão tropical (KOUSKY; KAYANO, 1994).

O termo “Oscilação” foi utilizado porque estas anomalias podem oscilar entre fases opostas durante um ciclo. A figura 2.1 é uma ilustração esquemática do fenômeno, proposta originalmente por Madden e Julian, onde é possível observar as variações espaço-temporais de distúrbios associados à oscilação 40-50 dias. Uma melhor definição da escala da OMJ pode ser dada como um período de 30 a 90 dias, onde, possui um pico espectral dominante, por volta de 50 dias (ZHANG, 2005).

A primeira evidência da OMJ são as chuvas irregulares que ocorrem sobre o Oceano Índico e que se propagam para o leste sobre as águas muito quentes do Oceano Pacífico Oeste e Central. Sobre as águas frias do Oceano Pacífico Oriental não é possível definir o padrão de chuvas tropicais, mas muitas vezes ele reaparece sobre o Oceano Atlântico Tropical e na África. Juntamente com

estas variações nas chuvas tropicais, existem padrões diferentes para a circulação em baixos e altos níveis, nos trópicos e subtropicais. Essas características se estendem por todo o globo e não se limitam ao hemisfério leste. Quando a convecção está ativa no Oceano Índico e na Indonésia, os ventos anômalos equatoriais de leste e de oeste saem da área de convecção intensa em altos níveis da atmosfera e se associam com o anticiclone que gira ao longo e atrás da área de convecção intensa. Por outro lado, giros ciclônicos existem por trás das áreas de convecção suprimidas em ambos os hemisférios. Em baixos níveis, os ventos anômalos equatoriais de leste são evidentes na frente da área de convecção intensa e os de oeste, atrás. Os giros em baixos níveis são mais fracos do que aqueles em altos níveis. Como o dipolo se propaga em direção ao Pacífico Central, as anomalias de circulação em altos e baixos níveis tornam-se menos reconhecíveis e coerentes, mas continuam a ser componente importante na redistribuição de massa ao redor dos trópicos (GOTTSCHALCK; JON et al., 2005). A figura 2.2 é uma representação idealizada da estrutura tridimensional da OMJ.

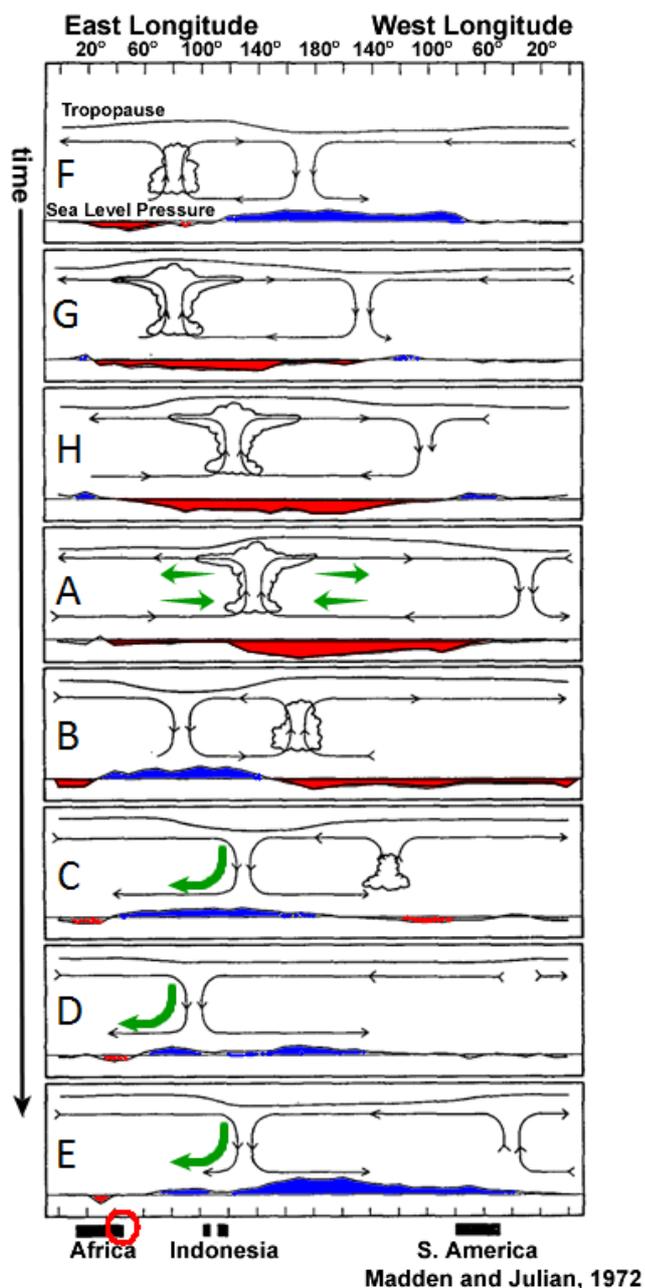


Figura 2.1: Esquema das variações espaço-temporais da perturbação relacionada com a OMJ.

Fonte: Madden e Julian (1972).

A velocidade de propagação, sobre o Hemisfério Leste (HL), é da ordem de 6m/s, enquanto no Hemisfério Oeste (HO), é da ordem de 12m/s. Isso ocorre, pois no HL a OMJ interage fortemente com a atividade convectiva profunda enquanto no HO ela se propaga sem muita influência no campo de nebulosidade. (WEICKMAN,1983)

De acordo com Knutson e Weickmann (1987), em escala global, as principais características observacionais da OMJ são:

a) anomalia nos campos de vento e convecção tropical, inclusive com uma modulação nas atividades de monções dos Hemisférios Norte e Sul;

b) periodicidade que pode variar de 30 a 60 dias;

c) anomalias de convecção e de circulação associadas com a OMJ tendem a se propagar para leste com o tempo;

d) nos trópicos, as anomalias do vento zonal na baixa e alta troposfera estão fora de fase na escala de tempo 30-60 dias;

e) a oscilação não apresenta variação sazonal sistemática em amplitude e periodicidade, mas apresenta sazonalidade nas regiões de máxima variabilidade de radiação de onda longa emitida para o espaço e na resposta extratropical;

f) há evidências de uma associação entre flutuações da convecção tropical e anomalias da circulação em latitudes médias na escala de tempo de 30-60 dias;

g) oscilações atmosféricas intrassazonais, caracterizadas por propagação para leste das anomalias do vento tropical de grande escala, foram observadas nos modelos de circulação geral.

Madden-Julian Oscillation

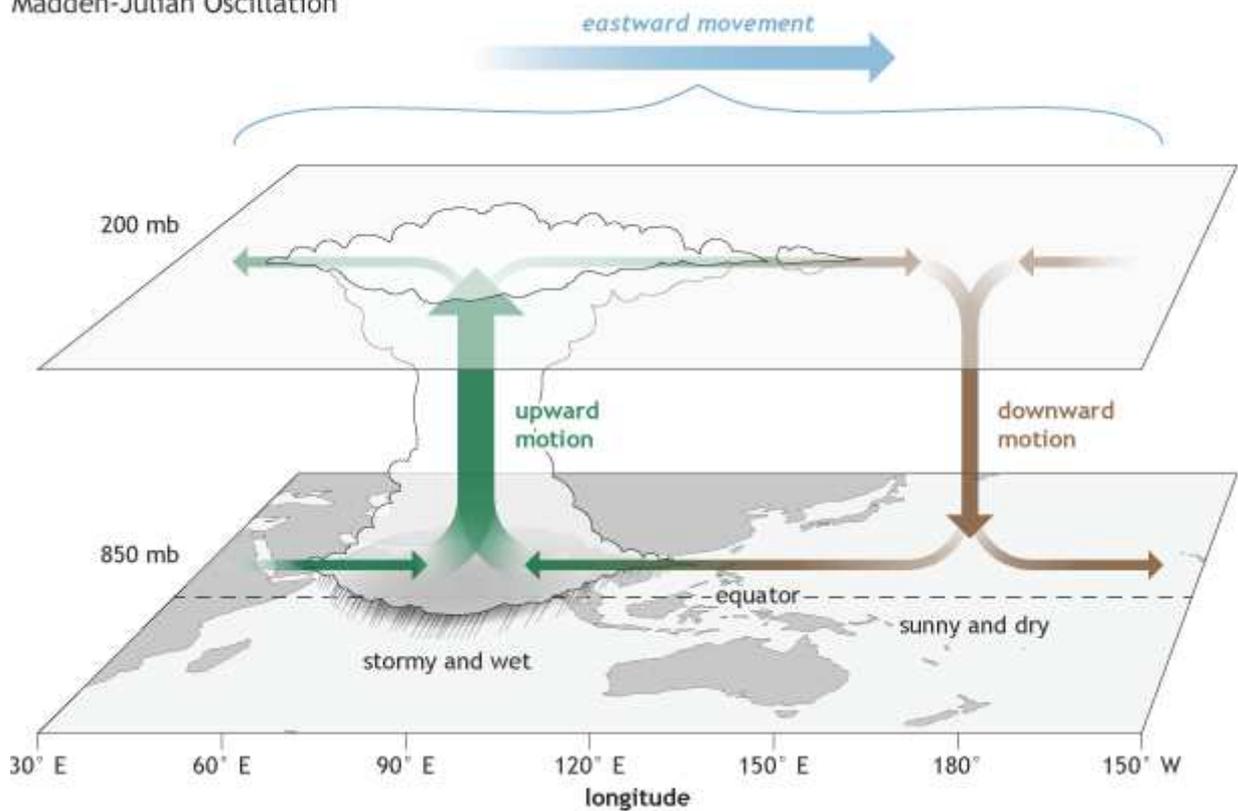


Figura 2.2 Representação da estrutura da OMJ. Setas indicam a direção do vento e os movimentos ascendentes e subsidentes. Fonte: Gottshchalck (2014).

Num aspecto global, Hendon e Salby (1994), a fim de obter uma visão da interação entre a circulação atmosférica e a convecção associadas à OMJ e também descrever sua evolução, analisaram o ciclo de vida dessa perturbação, baseado em episódios onde o sinal de convecção estava presente. Eles utilizaram dados de vento em 200 hPa e divergência horizontal do vento em 850 hPa e 1000 hPa. Tal estudo concluiu que a composição do ciclo de vida da OMJ apresenta características que combinam aspectos das respostas às forçantes estacionárias dos padrões de circulação que ocorrem devido ao deslocamento do sinal convectivo. A resposta da forçante apareceu acoplada a uma onda de Rossby-Kelvin que migra para leste, com uma velocidade de 5 m/s, em direção a anomalia convectiva no HL. A resposta radiativa aparece como uma onda de Kelvin que se propaga para leste com uma velocidade de

10 m/s no HO. Além disso, eles concluíram que a composição do ciclo de vida da OMJ possui um alto grau de simetria em torno do Equador. A velocidade de fase da propagação do sinal convectivo associado a OMJ é de 5m/s, para leste, com número de onda zonal de 1-3, fazendo com que o tempo de transição do distúrbio ao redor do globo seja de 100 dias.

Jones e Carvalho (2006), motivados pelo fato de que o comportamento da OMJ em escalas de tempo maiores que a interanual era desconhecida, estudaram as mudanças ocorridas nas atividades da OMJ durante o período de 1958-2004, utilizando EOFs na reanálise do National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Os dados utilizados foram pântadas da componente zonal do vento em 200 hPa e 850 hPa, para todas as longitudes e para as latitudes de 30°S a 30°N e pântadas de dados de ROL. Ao considerar a evolução ao longo dos anos, eles encontraram um aumento constante da atividade da OMJ, desde o início de 1960 até o início de 1970, uma diminuição constante de sua atividade até meados da década de 1980, seguido por um aumento até o final da década de 1990. Para o inverno, eles caracterizaram a atividade de baixa frequência como quase uniforme a partir do início de 1960 até meados da década de 1990, havendo posteriormente uma diminuição das atividades. Por outro lado, a média das mudanças de baixa frequência para o verão indica grandes e rápidos aumentos nas atividades em meados da década de 1960 até o final de 1970, com reduções constantes para um regime de baixa atividade por volta de 1980-1988. Posteriormente, a variabilidade de baixa frequência média do verão aumentou durante um regime de alta atividade na década de 1990 e início de 2000. Após aplicar análise de Fourier nos dados, eles concluíram que as mudanças entre os regimes de alta e baixa atividades da OMJ são separados por períodos de 18,5 anos.

Para a América do Sul, em 1990, Obregon et al. estudaram a variabilidade intrasazonal da vorticidade nas vizinhanças da América do Sul no verão de 1979/1980. Eles observaram que durante o período estudado, a OMJ modulou o comportamento dos sistemas tropicais da América do Sul.

Posteriormente, Kouysky e Kayano (1992), utilizando Funções Ortogonais Empíricas Estendidas (EEOF) para campos de ROL, propuseram que a OMJ tem como principal característica ser um dipolo com orientação no sentido Leste-Oeste e que sua propagação juntamente com os sinais da perturbação é mais intensa na América do Sul durante o verão. Eles observaram que o aumento da atividade convectiva das fases ativa da OMJ aumenta a probabilidade da ocorrência de chuvas em um período que varia de 40 a 55 dias. Em 1999, em outro estudo, Kousky e Kayano aplicaram EEOF para várias variáveis atmosféricas, previamente filtradas na banda de 25-87 dias, para o verão e o inverno separadamente eles encontraram um período de 45 dias para a OMJ.

Kessler (2001) identificou dois modos da variabilidade interanual da OMJ utilizando a decomposição das EOFs dos dados de ROL e de vento zonal. Ele encontrou uma variação zonal estacionária da amplitude, que não está relacionada ao ENOS e uma extensão para 20° de longitude ao leste da OMJ durante eventos de El Niño. Com isso, ele concluiu que não é a atividade média ou total da OMJ que se relaciona com o fenômeno ENOS, mas sim a sinuosidade que move os ventos intrassazonais sobre o Pacífico.

Ainda em 2001, Obregon estudou a variabilidade intrassazonal sobre o Brasil, utilizando dados de precipitação. Ele observou a presença de padrões espaciais das oscilações intrassazonais de 20 a 40 dias para as regiões do Brasil, em diferentes estações. Para a região Sudeste as oscilações foram detectadas durante a primavera. Para o nordeste, durante o outono e para o Sul, durante o inverno. Desse modo ele concluiu que existem, pelo menos, dois tipos de oscilações intrassazonais que se diferem na abrangência, intensidade e mecânica física. Para o padrão de 20 dias ele demonstrou uma similaridade de estrutura com as ondas baroclínicas e para o padrão de 40 dias, demonstrou um tipo de modulação interanual, possivelmente associado com a dinâmica de grade escala.

Souza et al (2004), em seu estudo sobre a variabilidade intrassazonal durante a estação chuvosa de outono no leste da Amazônia (LA) e no Nordeste do

Brasil (NE) obteve um resultado que sugere que os mecanismos de produção de precipitação consistem de profundas bandas convectivas. Essas bandas são organizadas por sistemas frontais persistentes e pelas ZCAS posicionada sobre o Brasil Tropical que são, por sua vez, mantidos pela dinâmica relacionada com a OMJ sobre o sul da América Tropical. Esses mecanismos modulam a maioria das oscilações pluviométricas no outono sobre o LA e NE, em uma escala de tempo intrassazonal, Cunningham e Cavalcanti (2005) também estudaram a influencia da OMJ sobre a ZCAS e apresentaram um modo chamado de “gangorra” de convecção. Esse modo ocorre entre a Indonésia e a porção Tropical da América do Sul e ocorre pelo a associação entre o deslocamento de leste do sinal da OMJ e a convecção sobre as partes tropicais do Brasil. Em outros estudos, tal mecanismo é chamado de *tropical zonal mode*. Além disso, neste estudo, os autores dividiram as ZCAS em 3 partes e comprovaram que a ocorrência de convecção da ZCAS1 também é influenciada pelo modo tropical da OMJ.

Recentemente, Souza e Ambrizzi (2006) concluíram que uma expansão da precipitação para o norte em todo o Brasil tropical é evidente durante a passagem da OMJ sobre a América do Sul. As anomalias de precipitação da fase ativa menos a fase inativa da OMJ estão na média de 2 – 3,5 mm/dia. Ao se comparar com os valores médios climatológicos para o Nordeste do Brasil e o leste da Amazônia, 3 – 7 mm/dia e 8 – 11mm/dia, respectivamente, os autores sugerem que a passagem da OMJ sobre a América do Sul contribui efetivamente para uma fração considerável da precipitação total, principalmente na região entre o nordeste do Brasil e o Sudeste da Amazônia.

Portanto, de um modo geral, a OMJ está relacionada com anomalias de circulação atmosférica e convecção tropical que se propagam para leste, na região equatorial, ao redor do globo com uma periodicidade entre 30 e 60 dias (NASCIMENTO; BRITO, 2002), se tornando o principal fenômeno na escala intrasazonal que pode causar variações de grande escala na convecção tropical.

2.2 Índice RMM

O interesse pela previsibilidade da OMJ sempre foi um fator de interesse científico. Segundo Lo e Hendon, 1999, isso se deve a dois grandes fatores onde, o primeiro é que a OMJ é o modo dominante de variabilidade intrasazonal de convecção e co-variabilidade de convecção e ventos nos trópicos, além de afetar amplamente o clima tropical e ser condutora de teleconexões para os extratropicos (Figura 2.3). O segundo fator diz respeito à quão habil as previsões em longo prazo devem ser. Com isso, a capacidade de desenvolver um metodo de previsão em longo prazo da OMJ causaria impacto globais. Pensando nisso, Wheeler e Hendon (2004), posteriormente chamado de WH04, sugeriram um modelo operacional de monitoramento da OMJ e consequentemente a previsão estatística de seus efeitos climáticos. Esse modelo, denominado *Real Time Multivariate MJO* (RMM) descreve de forma eficiente e extrai a variabilidade atmosférica relacionada com a OMJ.

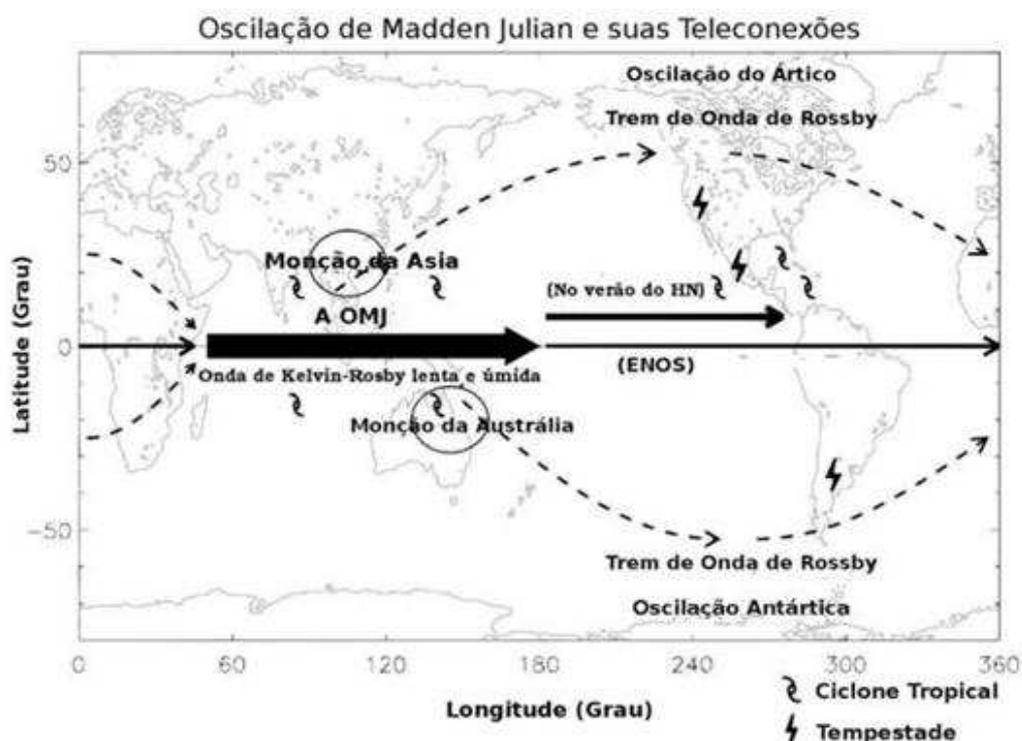


Figura 2.3: Representação Esquemática da OMJ e suas Teleconexões.
Fonte: Oliveira (2013) – adaptada de Lin et al. (2006)

WH04 utilizaram uma metodologia muito similar a Lo e Hendon, 1999, onde a maior parte do sinal da OMJ pode ser isolada através da projeção dos dados diários minimamente filtrados, sobre seus padrões espaciais característicos. Tal projeção é útil para que grande parte da variabilidade em outras escalas de tempo e espaço seja removida. Os padrões espaciais são definidos através dos EOFs e, quando a OMJ é definida a partir de um EOF de campo único, suas componentes principais (CP) ainda são influenciadas por ruídos diários. Esta influencia pode ser substancialmente reduzida através da utilização de campos de EOF combinado.

Em seu estudo, WH04, utilizaram dados globais de ROL, vento zonal em 850 hPa e 200 hPa para as latitudes de 15°S a 15°N. Os dados de ROL são médias diárias e foram obtidos através da série de satélites de órbita polar do *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, (LIEBMANN; SMITH, 1996). Os dados de vento são dados de reanálise e foram obtidos do *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)*, (KALNAY et al., 1996). A resolução dos dados é de 2.5° e o período vai de 1979 até os dias atuais, porém, para definir os EOFs que irão gerar o índice RMM, o período se estende de 1979 a 2001, um total de 8401 dias.

2.2.1 Cálculo do índice RMM

O Índice RMM é definido através do cálculo de EOFs combinado dos dados de ROL, vento zonal em 850 hPa e 200 hPa. A preparação dos dados, para que seja possível realizar os cálculos, consiste em remover a influência do ciclo sazonal e fazer a média do tempo e dos três primeiros harmônicos, baseado no período de 1979 a 2001. A variabilidade interanual, principalmente a que está associada ao ENOS, também é removida através da subtração da média dos últimos 120 dias da análise dos dados. Essa remoção é necessária porque a fase madura do El Niño/La Niña se assemelha a fase favorável da OMJ. (WH04).

Muitos estudos utilizam EOFs para identificar a OMJ, porém, utilizando somente um unico campo. No estudo de WH04, foi utilizado EOF combinado dos campos de ROL e vento zonal em 850 hPa e 200 hPa. A estrutura espacial dos dois pares principais de EOF pode ser vista na figura 2.4.

Para que cada campo contribua igualmente com a variância dos vetores combinados, cada campo é normalizado anteriormente aos EOFs combinados serem combinados.

WH04 mostraram que nesse caso, juntos, os EOF1 e EOF2 explicam 25% da variância dos campos original. A variância explicada do par principal é maior, considerando que os dados de entrada incluem a variabilidade de três campos em todas as escalas de tempo. Eles enfatizaram que fisicamente o EOF1 descreve a situação em que a OMJ produz uma convecção elevada (anomalia negativa de ROL) nas longitudes do Continente Marítimo tal que em baixos níveis, as anomalias de vento de oeste se estendem por toda a região do Oceano Índico e Continente Marítimo e as anomalias de leste existem em todo o Oceano Pacífico. Por outro lado, as anomalias de vento em altos níveis ocorrem no sentido oposto.

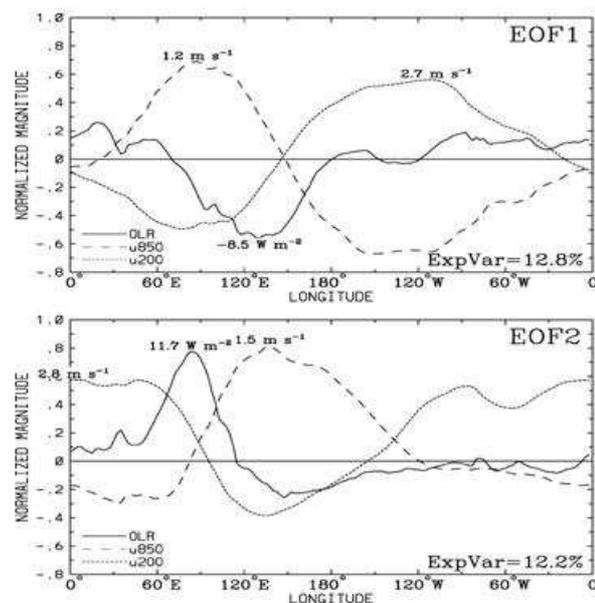


Figura 2.4 : Estrutura espacial dos EOFs 1 e 2 das análises combinadas de ROL, u850 e u200.
 Fonte: WH04.

Além disso, o EOF2 mostra atividade convectiva elevada sobre o Oceano Pacífico e os padrões de vento são os mesmos de EOF1. Nesse contexto, os autores denominaram o resultado da série espacial do par de Componentes Principais (PCs) que formam o índice desejado de RMM1 e RMM2, respectivamente. As análises EOF foram computadas somente para o período de 1979 a 2001, porém é através delas que é feita a projeção para qualquer período e dessa maneira obter os valores para RMM1 e RMM2.

O Índice RMM produz um sinal, em tempo real, que descreve a OMJ e, quando aplicado em um diagrama espaço-fase é possível visualizar a amplitude, a evolução e o movimento de leste da Oscilação. O diagrama espaço-fase (figura 2.5) é dividido em oito fases onde, cada fase corresponde à localização geográfica da fase ativa da OMJ.

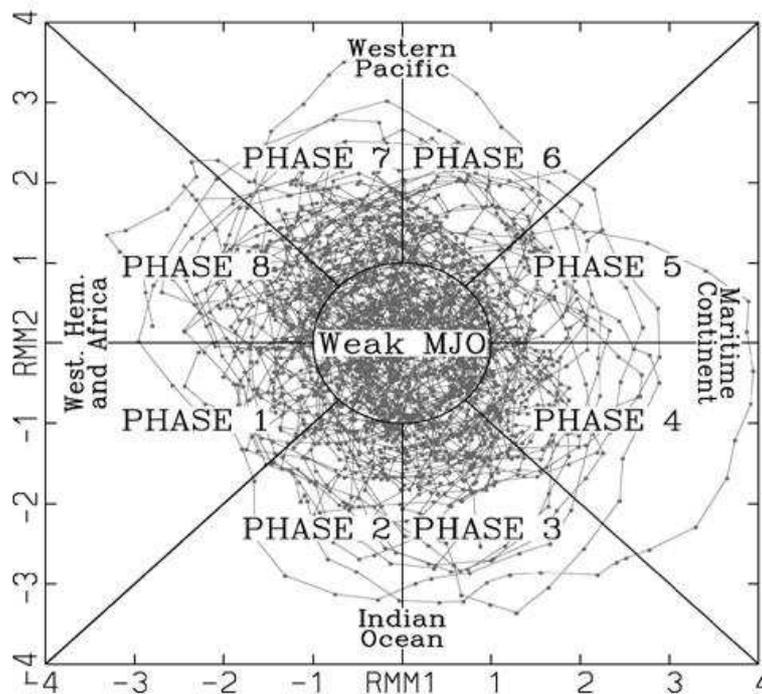


Figura 2.5: Diagrama espaço-fase para RMM1 e RMM2. Os pontos indicam todos os dias para os meses de DJF de 1974 a 2003. Oito regiões são definidas para o espaço-fase e classificadas como regiões significativas para a atividade da OMJ.

Fonte: WH04

A amplitude determina a intensidade em cada dia individualmente (Oliveira, 2013). Quanto maior for a amplitude, maior será o círculo formado pelos pontos de RMM1 e RMM2 e também, mais forte será o ciclo da OMJ. Para ciclos fracos de atividade da OMJ, a amplitude ficará próxima a origem, ou seja, dentro do círculo central do diagrama. Para que os eventos mais fracos da OMJ fossem eliminados e não influenciassem na composição de fases, WH04 incluíram somente dias com amplitude maior que 1.

O calculo da amplitude se dá através da equação:

$$A = \sqrt{RMM1^2 + RMM2^2} \quad (2.1)$$

2.3 Funções Ortogonais Empíricas (EOF)

O método das Funções Ortogonais Empíricas (do inglês, Empirical Orthogonal Functions, EOFs) tem sido muito utilizado por estudiosos de tempo e clima, a fim de encontrar relações que possam descrever conexões entre regiões distintas, bem como caracterizar fenômenos de escala global como o El Niño e a OMJ.

A técnica EOF tem como objetivo encontrar um novo conjunto de variáveis que capturem a maior parte da variância observada dos dados através de uma combinação linear das variáveis originais. Ela também é conhecida como Análise por Componentes Principais (ACP) e tem como objetivo reduzir um arquivo de dados contendo um grande número de variáveis em um arquivo contendo um número menor de variáveis. Essas novas variáveis são combinações lineares das originais e, tais combinações são escolhidas para representar o máximo possível da fração da variabilidade contida nos dados originais. Com isso, podem-se identificar os padrões e processos físicos

associados às variáveis observadas, o que possibilita a interpretação dos dados num contexto que envolve sua variabilidade espacial/temporal.

Geralmente, são utilizados dois tipos de ACPS: a componente principal não padronizada e a componente principal padronizada. Então, desse modo, podemos dizer que, matematicamente, os EOFs (ou ACPs) são autovetores da matriz de covariância ou da matriz de correlação, respectivamente. O uso da matriz de correlação faz cada variável ter o mesmo peso na obtenção de novos componentes (RICHMAN, 1986).

Denotando as m variáveis por $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$, cada uma com n observações, esse conjunto de $m \times n$ dados pode ser representado pela matriz X . Colocando cada i -ésima observação, x_{ik} , da variável x_k na forma.

$$\frac{(x_{ik} - \bar{x}_k)}{s_k}, \quad k = 1, 2, 3 \dots, m \quad (2.3)$$

Onde \bar{x}_k e s_k são respectivamente média e desvio padrão de x_k . Para n observações, a matriz de correlação entre as m variáveis é obtida segundo.

$$R = \frac{XX^T}{N} \quad (2.4)$$

Cada elemento de R , a dizer r_{ij} , é coeficiente de correlação entre x_i e x_j . A variância total de X é expressa como

$$\frac{(e^T R) N^{-1}}{e^T e} \quad (2.5)$$

Onde e é matriz coluna de m elementos. A maximização da variância total sob a condição $e^T e = 1$ leva a equação de autovalores e autovetores

$$Re = e\lambda \quad (2.6)$$

A solução dessa equação é o conjunto de autovetores $e_1, e_2, e_3, \dots, e_m$ ortogonais entre si, com respectivos autovalores $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_m$. A k-ésima observação de x_m pode então ser reproduzida em termos dos autovetores

$$x_k = \bar{x}_m + s_m \sum_{i=1}^m c_{ik} e_i \quad (2.7)$$

Onde os coeficientes c_{ik} são elementos da matriz

$$C = E^T X$$

E E é a matriz cujas colunas são os autovetores. A matriz C é chamada de matriz de Componentes Principais.

Como os dados meteorológicos usualmente estão espacialmente correlacionados a reprodução do campo original X um numero relativamente pequeno de autovetores pode ser obtido. (SUGAHARA, 2000)

2.3.1 EOF Combinado

Além da análise EOF para campos únicos, existe uma variação denominada de EOF combinada que foi desenvolvida para investigar a variabilidade conjunta de dois ou mais campos de uma só vez. Na análise de EOF Combinado a matriz é construída com vetores de duas ou mais variáveis concatenados um após o outro. (VENEGAS, 2001). Esse autor apresenta um exemplo aplicado a duas variáveis que pode ser estendido a três, quatro, etc. E diz que, Matematicamente, qualquer combinação de campos escalares é possível, desde que seja uma análise estatística e não dinâmica.

Os campos a serem combinados devem ser campos que podem resultar em uma análise pertinente da interação oceano-atmosfera ou da variabilidade acoplada, como por exemplo, a Pressão ao Nível do Mar (PNM) e a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e também, como no caso do presente estudo, ROL e vento zonal.

Em seu estudo, Silva (2009), diz que considerando L variáveis em K pontos de grade, o vetor x será dado pelo produto LK , ou seja, o primeiro cálculo será

feito para os K elementos de x observações da primeira variável, o segundo cálculo será feito da mesma forma para os elementos e observações da segunda variável e assim sucessivamente até a L -ésima variável.

Para EOF combinado, a matriz de correlação é utilizada já que as variáveis podem de diferir em dimensões ou escala e, como resultado, obtém-se uma matriz de correlação $[R]$ e uma matriz de autovetores $[E]$ com dimensões $(KL \times LK)$ que produzirá EOFs com correlações entre as variáveis em K pontos de grade onde, na matriz de correlação a primeira linha contém as correlações entre as primeiras variáveis em cada ponto de grade e as outras variáveis também em cada ponto de grade, a segunda linha contém as correlações entre a segunda variável em cada ponto de grade e as outras variáveis em cada ponto de grade e assim sucessivamente. Já na matriz de autovetores $[E]$, a primeira coluna da matriz contém a primeira variável em cada ponto de grade, a segunda coluna contém a segunda variável em cada ponto de grade e assim até a L -ésima variável de cada ponto de grade. (SILVA, 2009)

$$[R] = \begin{bmatrix} [[R_{1,1}]] & [[R_{1,2}]] & \dots & [[R_{1,L}]] \\ [[R_{2,1}]] & [[R_{2,2}]] & \dots & [[R_{2,L}]] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [[R_{L,1}]] & [[R_{L,2}]] & \dots & [[R_{L,L}]] \end{bmatrix}$$

Matriz de Correlação $[R]$

$$[E] = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} e_2 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} e_3 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} e_4 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} e_M \end{bmatrix} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \begin{bmatrix} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Matriz de Autovetores [E]

Como resultado, os autovetores resultantes da EOF podem ser representados graficamente através de mapas extraídos por campos escalares ordinários. Cada variável é representada por um autovetor que pode ser plotado em campos juntos ou separados. (SILVA, 2009)

3 DADOS E METODOLOGIA

3.1 Dados

Para o desenvolvimento desse trabalho foram utilizados dados diários interpolados de ROL, provenientes da NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, EUA, obtidos através da página http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.interp_ROL.html, com resolução espacial de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ e disponível a partir de 1974 até os dias atuais. Liebmann(1996) desenvolveu tal conjunto de dados com o intuito de minimizar a distância no espaço ou no tempo durante a interpolação.

A fim de se fazer uma análise de EOF combinada e assim ter uma boa representação, foram utilizados dados de vento zonal em 850 hPa (u_{850}) e 200hPa (u_{200}). Esses dados são dados de reanálise I do NCEP, obtidos através de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>, com resolução espacial de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ e disponível a partir de 1948 até o presente. Além disso, também foram utilizados dados de velocidade potencial (χ). Tais dados são provenientes de campos globais atmosféricos que são derivados do sistema de previsão numérica e de assimilação de dados do NCEP/NCAR (KALNAY et al.,1996).

3.2 Metodologia:

O período estudado foi de Janeiro de 2000 a dezembro de 2010, para uma região que vai de -60° S a 40° N e abrange todo o globo em função das longitudes. Essa área foi escolhida com o intuito de se observar os padrões da OMJ ao redor do globo e analisar sua influência nos sistemas atuantes na América do Sul, principalmente no Brasil.

3.2.1 Índice RMM

O índice RMM é considerado um sucesso devido ao fato de conseguir diagnosticar a OMJ em tempo real e prevê-la de forma simples, sem a necessidade de filtros do tipo passa-banda. A fim de um melhor entendimento a respeito do índice, cada passo para sua idealização foi feito.

Inicialmente foi construído um arquivo base com o desvio padrão dos dados das três variáveis (ROL, u850 e u200), no período de 1979 a 2001. Além disso, foram calculadas as anomalias para cada uma delas e os harmônicos e o sinal do ENOS foram removidos. Após esses passos, uma média das latitudes, para cada variável, foi feita e então os arquivos gerados foram colocados no programa denominado: *ProjectRmm1Rmm1.f90*.

O programa acima foi desenvolvido originalmente por WH04 e refeito para o presente trabalho e tem como resultado os valores diários de RMM1 e RMM2. A partir desses resultados, utilizando *NCAR Command Language* (NCL), foi possível construir um diagrama espaço-fase. Além disso, também foi possível construir um gráfico de amplitudes e um gráfico em função das longitudes.

3.2.1.1 Projeção

Para fazer a projeção do índice RMM é necessário, primeiramente, fazer a média das latitudes para a variável com o intuito de que o dado de entrada tenha apenas uma latitude média e então calcula-se o EOF da mesma. Após o cálculo do EOF serão utilizados os autovetores provenientes da cada padrão obtido. Cada autovetor será multiplicado pelo correspondente ponto da série espacial a ser projetada. Todos esses pontos serão somados e em seguida é feita uma divisão pela raiz quadrada do autovalor obtido do padrão EOF. Dessa maneira, obtém-se um ponto para cada tempo. Plotando todos os pontos pode-se visualizar a série temporal projetada.

Exemplo: projeção de dados de ROL do ano de 2001.

1- Calcula-se o EOF de ROL para o período de 1979-2000, com 144 pontos de longitude e dessa maneira, serão obtidos 144 autovetores.

2- Para o tempo 1(01/01/2001) de ROL, cada autovetor será multiplicado pelo valor de ROL em cada ponto de longitude.

3- Todas as multiplicações serão somadas e o resultado dessa soma será dividido pelo autovalor do EOF.

4- Como resultado, o valor obtido após a divisão será o primeiro ponto da série temporal a ser projetada.

5- Se a projeção desejada é para 365 dias, tal calculo deverá ser repetido para todos os tempos e dessa maneira serão obtidos 365 pontos na série temporal projetada.

Dessa forma, se quero fazer a projeção do índice RMM, utilizo a EOF combinada das variáveis.

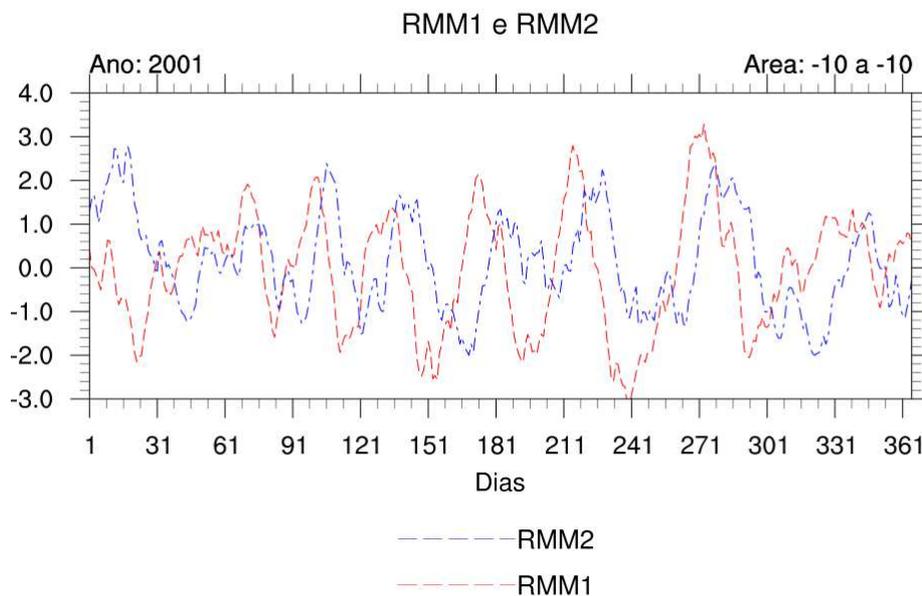


Figura 3.1: Projeção dos dados, para RMM1 e RMM2 para o ano de 2001.

3.2.1.2 Diagrama espaço-fase:

O diagrama espaço-fase é utilizado para demonstrar a progressão da OMJ através de diferentes fases que coincidem com os locais ao longo do Equador, ao redor do globo. A base para plotagem de tal diagrama pode ser visualizada na figura 3.2.

Através do NCL foi possível representar os dados encontrados no presente estudo em um diagrama espaço-fase. Tais resultados serão apresentados posteriormente.

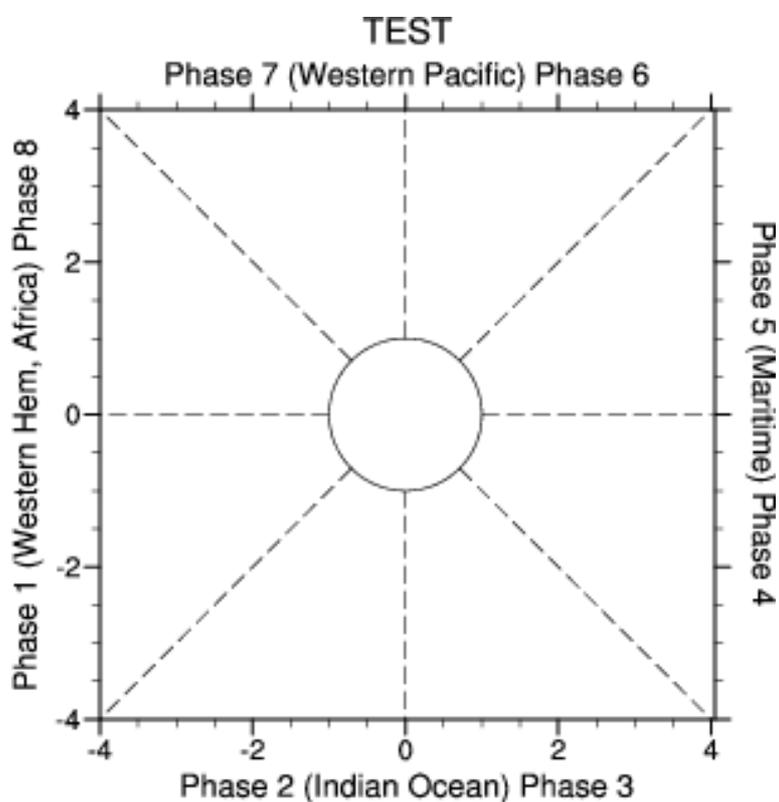


Figura 3.2: Base para a plotagem do diagrama espaço-fase. A plotagem ocorre através dos índices de RMM1 e RMM2.

Fonte: NCAR/NCL

A sequência dos procedimentos realizados e descritos acima está ilustrada na figura 3.3:

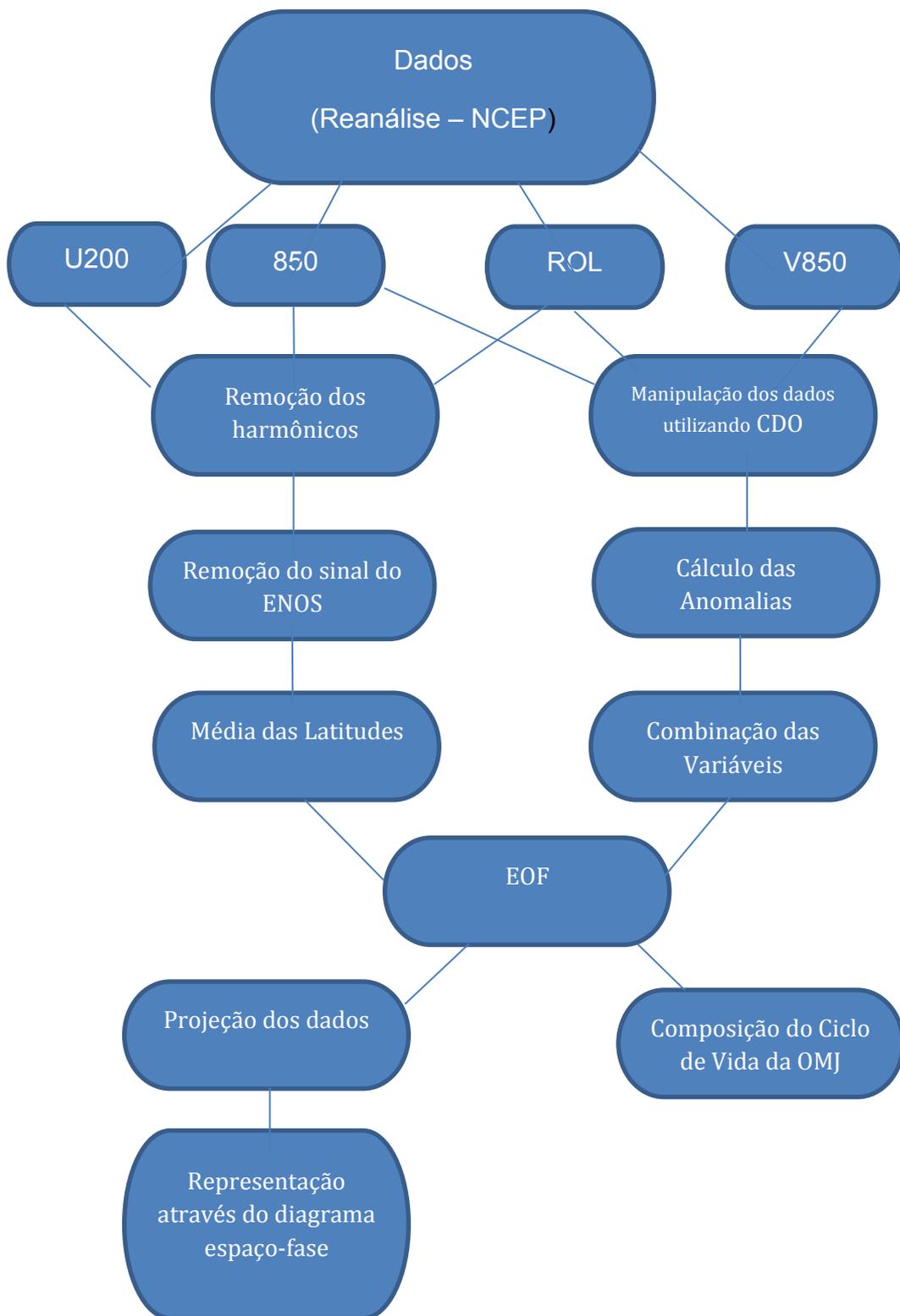


Figura 3.3: Diagrama ilustrativos dos procedimentos realizados para obtenção dos resultados

As manipulações e visualizações dos dados foram feitas utilizando diversas ferramentas, as quais serão descritas abaixo:

- a) Fortran – A linguagem foi utilizada para o cálculo das amplitudes, longitudes, EOF e Índice RMM.
- b) CDO – disponibilizado pelo *Max-Planck-Institut for Meteorologie*, o CDO (*Climate Data Operators*) é um conjunto de comandos estatísticos e aritméticos para aplicações em dados meteorológicos. Ele foi utilizado para manipular os dados de ROL e CHI, transformando-os de .bin para .nc
- c) NCL – desenvolvido pelo NCAR, o *NCAR Command Language*(NCL) foi desenvolvido para que seja possível analisar dados e visualiza-los. Foi utilizado para o cálculo das anomalias, combinação de variáveis, visualização dos dados e plotagem do índice RMM no diagrama espaço-fase.
- d) GrADS – *Grid Analysis and Display System*, desenvolvido e fornecido pelo COLA (*Center for Ocean-Land-Atmosphere-Interactions*) é usado para manipulação e visualização de dados meteorológicos. Neste estudo ele foi utilizado para obter a visualização e plotagem dos resultados.

4 RESULTADOS

Nesta seção, serão apresentados os resultados obtidos das EOFs da ROL, U200 e U850, a composição do ciclo de vida da OMJ e o diagrama espaço-fase, que representa a trajetória da OMJ para os dados utilizados.

Seguindo a metodologia proposta por WH04, o ciclo de vida da OMJ é caracterizado por 8 fases e possui um tempo de transição entre as fases de, em média, 6 dias. A fase 1 é caracterizada pela presença de anomalias negativas de ROL sobre a África e sobre o Oceano Índico Oeste. A fase 2 e 3 caracterizam-se pela presença de anomalias negativas de ROL sobre o Oceano Índico. As fases 4 e 5 as anomalias negativas de ROL estão presentes sobre o Continente Marítimo. Nas fases 6 e 7 é possível observar a presença das anomalias negativas de ROL sobre o Pacífico Oeste. E Na fase 8, a presença de anomalias negativas se dá sobre o Pacífico Central.

4.1 Funções Ortogonais Empíricas

Apresenta-se nessa seção uma breve discussão do padrão espacial dos EOFs combinados das variáveis ROL, U850 e U200 para o período de 2000 a 2010. Essa análise é realizada com o intuito de ampliar a área de estudo utilizada por WH04, a fim de diagnosticar o comportamento da OMJ em latitudes extratropicais, particularmente na AS, uma vez que no estudo original as latitudes utilizadas cobrem a área de -15° a 15° .

4.1.1 EOF – Radiação de Onda Longa (ROL)

O padrão espacial do primeiro modo do EOF da anomalia de ROL (Figura 4.1) destaca que valores negativos expressivos dessa variável concentram-se essencialmente na região do Continente Marítimo e Oceano Índico Leste. Quando as anomalias negativas de ROL estão sobre a Indonésia a convecção anômala estende-se para sudeste em direção ao Oceano Pacífico envolvendo o norte da Austrália e Nova Zelândia, afetando as flutuações da Célula de Walker e a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) (REPELLI, 1997). A partir de 150°E até 150°W destaca-se o máximo das anomalias positivas de ROL, ou seja, há supressão de convecção. Essa configuração sugere a

presença de um dipolo de precipitação com orientação no sentido Leste-Oeste (KAYANO; KOUSKY,1992). Por outro lado, no Nordeste da América do Sul observa-se a relação oposta entre as anomalias de ROL sobre essa região e a região do Oceano Pacífico. O início da atividade convectiva sobre a Indonésia, bem como a supressão que ocorre sobre o Oceano Pacífico são características que indicam o início da atividade da OMJ (MADDEN; JULIAN, 1994).Este modo explica 17,6% da variância total da anomalia de ROL no período de onze anos. Estudos anteriores (KAYANO; KOUSKY,1992; CASTRO, 2002) encontraram padrões do primeiro modo muito similares a esse.

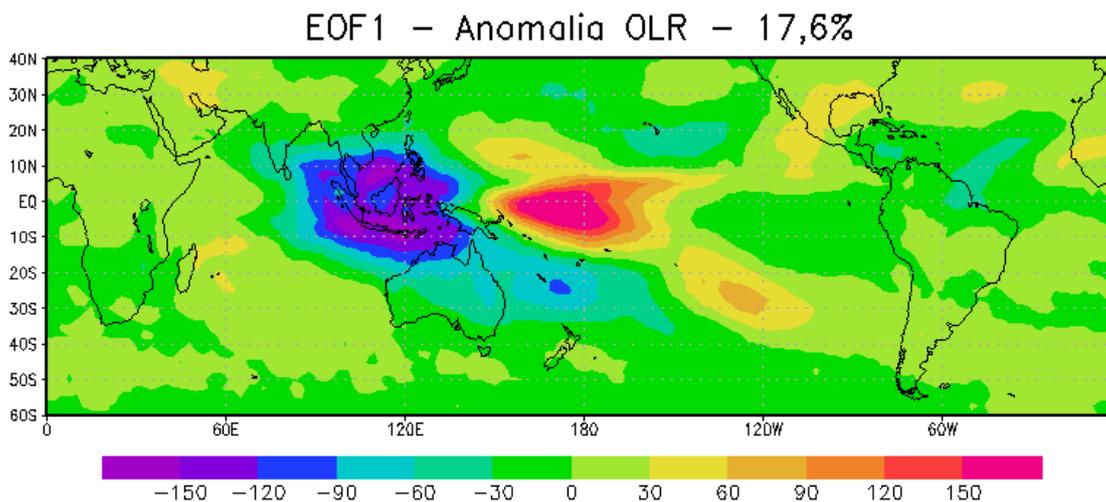


Figura 4.1: Padrão espacial do primeiro modo da EOF da anomalia de ROL para o período de 2000 a 2010 ao qual explica 17,6 % da variância total.

Para o segundo modo da EOF da anomalia de ROL (Figura 4.2), é possível observar a inversão dos padrões, ou seja, existe a presença de uma oscilação de fases opostas entre o Oceano Índico e parte da Indonésia e Oceano Pacífico, onde observam-se os valores máximos positivos na primeira e os máximos negativos, na segunda. É possível observar também o deslocamento para leste das anomalias negativas, caracterizando a OMJ, uma vez que as anomalias na convecção tropical estão associadas a OMJ e tendem a se

propagar zonalmente para leste (FERREIRA, 2012). No caso da AS, nota-se a relação oposta existente entre os padrões de convecção que ocorrem entre a região das ZCAS e a região do Oceano Índico. Kayano e Kousky (2002) utilizando CEOF, também encontraram anomalias positivas de ROL sobre o Oceano Índico e negativas sobre a América do Sul, no segundo modo. Este modo representa 14,3% da variância total encontrada. Juntos, EOF1 e EOF2 representam 31,9 % da variância encontrada em onze anos de estudo.

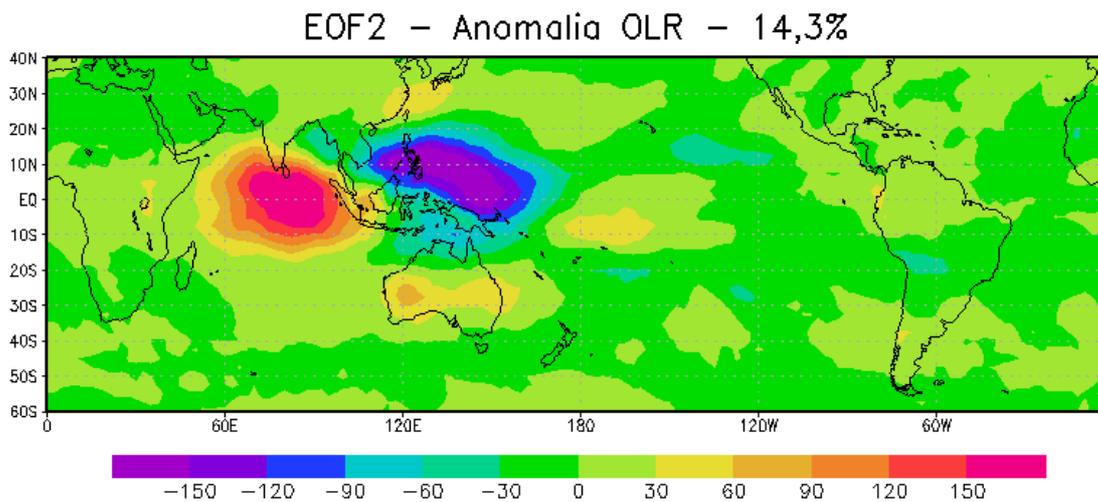


Figura 4.2: Padrão espacial do segundo modo da EOF da anomalia de ROL para o período de 2000 a 2010 ao qual explica 14,3 % da variância total

4.1.2 EOF – Vento Zonal 850 hPa (u850)

Com o intuito de diagnosticar padrões de circulação na baixa troposfera e dinâmica associada avalia-se nessa seção o padrão espacial das EOFs do vento zonal em 850 hPa. Nesse caso a OMJ é caracterizada pela presença de convergência em baixos níveis em sua estrutura, ou seja, os ventos anômalos equatoriais de leste estão presentes a frente da área de convecção intensa e os de oeste atrás. De acordo com a figura 4.1 a área de convecção intensa concentra-se sobre o Continente Marítimo, dessa forma, o primeiro modo das EOFs para as anomalias de vento zonal em 850 hPa (figura 4.9) caracteriza a OMJ, pois mostra predominância de ventos de Oeste sobre a região do

Oceano Índico e parte da Indonésia e, predominância de ventos de Leste sobre o Pacífico. Jones e Carvalho (2002) associaram as anomalias intrassazonais de oeste em baixos níveis com períodos de intensificação do regime de monções na AS. Este modo explica 7,1% da variância total.

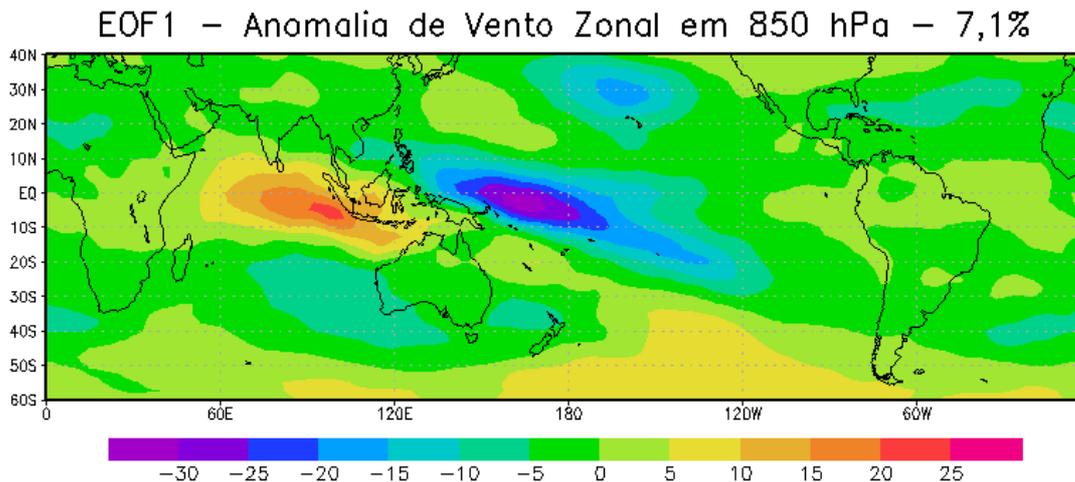


Figura 4.3: Padrão espacial do primeiro modo da EOF da anomalia de vento em 850hPa para o período de 2000 a 2010 ao qual explica a variância em 7,1% da variância total

Para o segundo modo da anomalia de vento zonal em 850 hPa (figura4,4) é possível observar a presença dos valores máximos positivos sobre a região das Filipinas e Indonésia, bem como sobre o Pacífico Central. As anomalias do vento zonal estão associadas a célula de circulação de Walker. Para a região da América do Sul o padrão mostra a predominância de ventos de leste. Karoly (1989) encontrou características semelhantes a essas, as quais demonstravam a fase fria do ENOS. Esse modo explica 5,9% da variância total.

Juntos, EOF1 e EOF2 representam 13% da variância encontrada em onze anos de estudo.

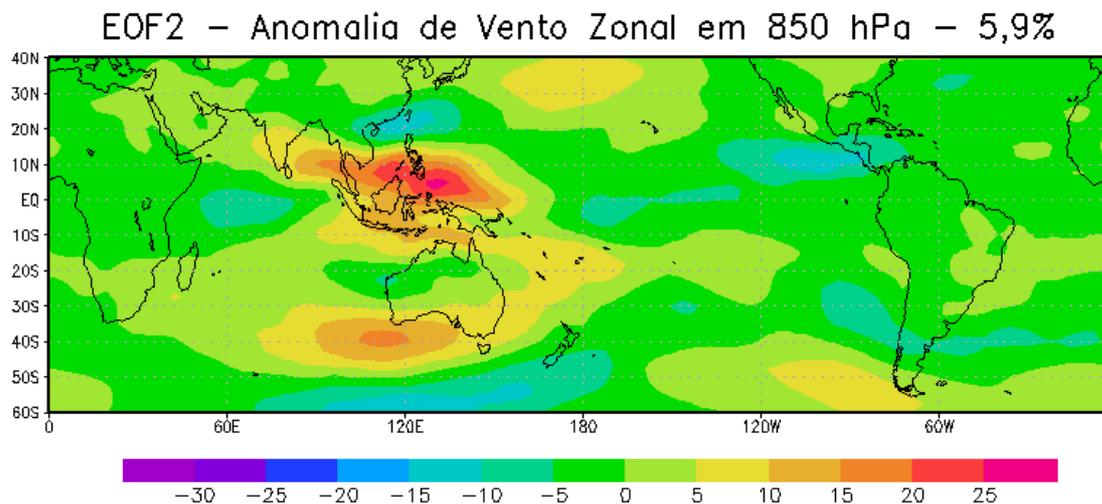


Figura 4.4: Padrão espacial do segundo modo da EOF da anomalia de vento em 850hPa para o período de 2000 a 2010 ao qual explica a variância em 5,9% da variância total

4.1.3 EOF – Vento Zonal 200 hPa (u200)

O primeiro modo da EOF do vento zonal em 200 hPa(figura 4.5) mostra que, em altos níveis, o padrão dos ventos se inverte. Nesse modo, os valores máximos negativos estão presentes sobre a região do Oceano Índico e os valores máximos positivos, sobre a região do Pacífico Central. Essa configuração é característica da divergência em altos níveis que está presente na estrutura da OMJ. Sobre a América do Sul observa-se a presença do Jato Subtropical. Esse modo explica 6,1% da variância total das anomalias de vento zonal em 200 hPa

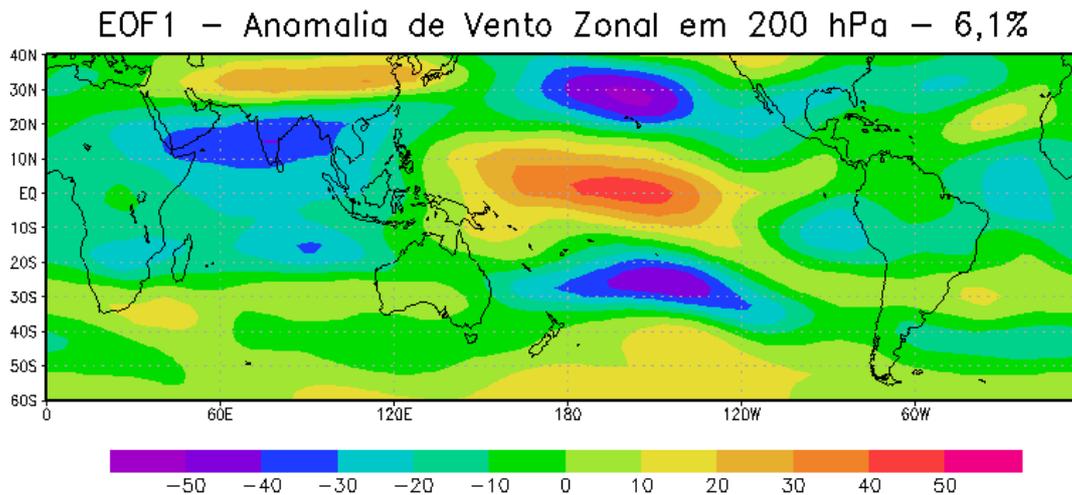


Figura 4.5: Padrão espacial do primeiro modo da EOF anomalia de vento em 200hPa para o período de 2000 a 2010 ao qual explica a variância em 6,1% da variância total

Para o segundo modo da EOF da anomalia de vento zonal em 200 hPa(figura 4.6), ao qual explica 5,5% da variância total, destaca-se a presença de ventos de oeste desde a região da Austrália, estendendo-se sobre o Pacífico Central, AS e Atlântico Tropical. Já os ventos de leste estendem-se desde a região da Indonésia até o Pacífico Equatorial. A presença do Jato Subtropical sobre a América do Sul também é destacada, bem como o padrão de divergência próximo a área da Indonésia e Pacífico Central, caracterizando mais uma vez a OMJ.

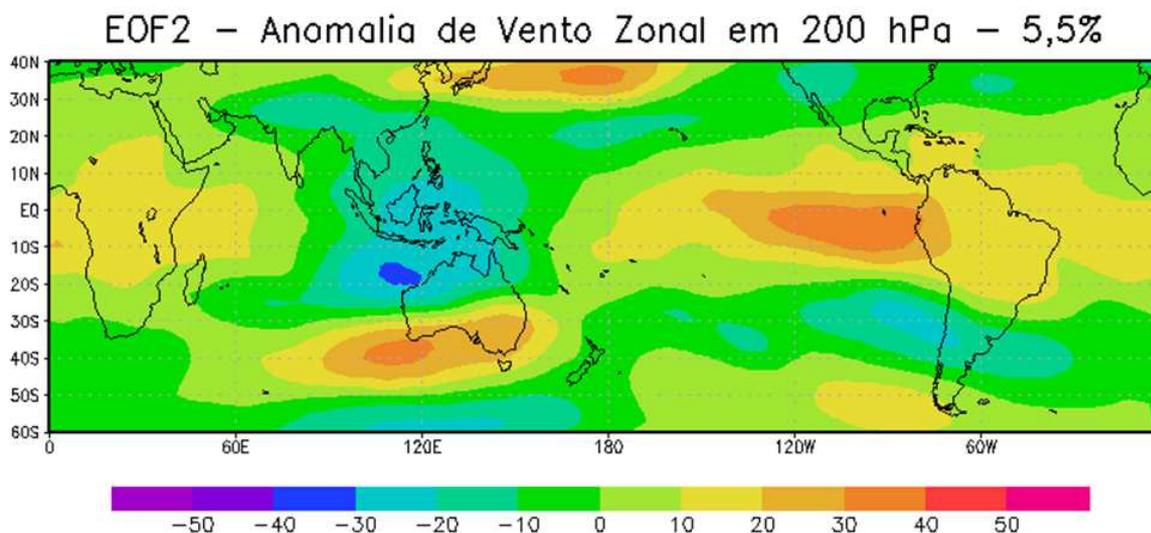


Figura 4.6: Padrão espacial do segundo modo da anomalia de vento em 200 hPa para o período de 2000 a 2010 ao qual explica a variância em 5,5% da variância total

Os padrões aqui encontrados representam a estrutura da OMJ, pois, as ondas equatoriais ocorrem em toda a troposfera, entre 30°N e 30°S (GEERTS; WHEELER, 1998), principalmente no Hemisfério Leste. As ondas de Rossby e Kelvin são ondas cujas estruturas são consideradas dinamicamente essenciais a OMJ. A figura 4.7 demonstra a estrutura tridimensional da OMJ onde, têm-se a leste do centro convectivo as ondas equatoriais de Kelvin, caracterizada pela presença de ventos em baixos (altos) níveis de leste (oeste). Para o oeste têm-se os ventos em baixos (altos) níveis de oeste (de leste), além do par de vórtices ciclônicos (anticiclônico) equivalente às ondas equatoriais de Rossby (MADDEN, 1986).

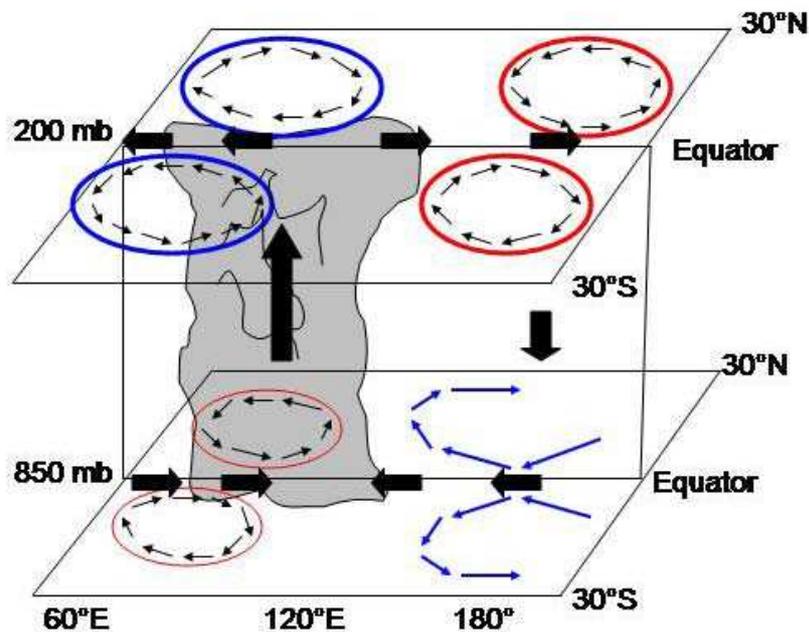


Figura 4.7: Esquema tridimensional da estrutura vertical da OMJ. Círculos em azul indicam circulações anticiclônicas. Círculos em vermelho indicam circulações ciclônicas. Setas indicam a direção do vento e os movimentos ascendentes e subsidentes.

Fonte: Gottschal

4.2 Diagrama Espaço-Fase

WH04 utilizaram o diagrama espaço-fase para ilustrar a progressão da OMJ através de diferentes fases que geralmente, coincidem com os locais ao longo da linha do equador. Originalmente, essa metodologia foi aplicada globalmente por WH04 para as latitudes de -15°S a 15°N . No presente estudo, a construção do diagrama também utilizou os índices RMM1 e RMM2, provenientes da EOF combinada de ROL, U850 e U200, mas entre -60°S e 40°N .

Cada ponto no diagrama espaço-fase indica um dia do ano e sua localização ao redor do globo. Fortes ciclos da OMJ podem ser observados quando os pontos estão afastados da origem formando grandes círculos. Por outro lado, ciclos mais fracos possuem pontos mais próximos a origem. Valores de amplitude menores que 1 são considerados dias em que a OMJ estava inativa

ou fraca. O presente estudo, como mencionado anteriormente, concentrou-se nas latitudes de 60° S a 40° N. Para que fosse possível observar a presença da OMJ sobre a AS com maior destaque o índice RMM foi recalculado. A figura 4.8 ilustra o diagrama espaço-fase para todo o período de estudo, de 2000 a 2010. O ponto em vermelho indica o dia em que a OMJ terminou. Destaca-se que a OMJ tem uma expressiva atuação e/ou frequência nos trópicos ao longo dos anos.

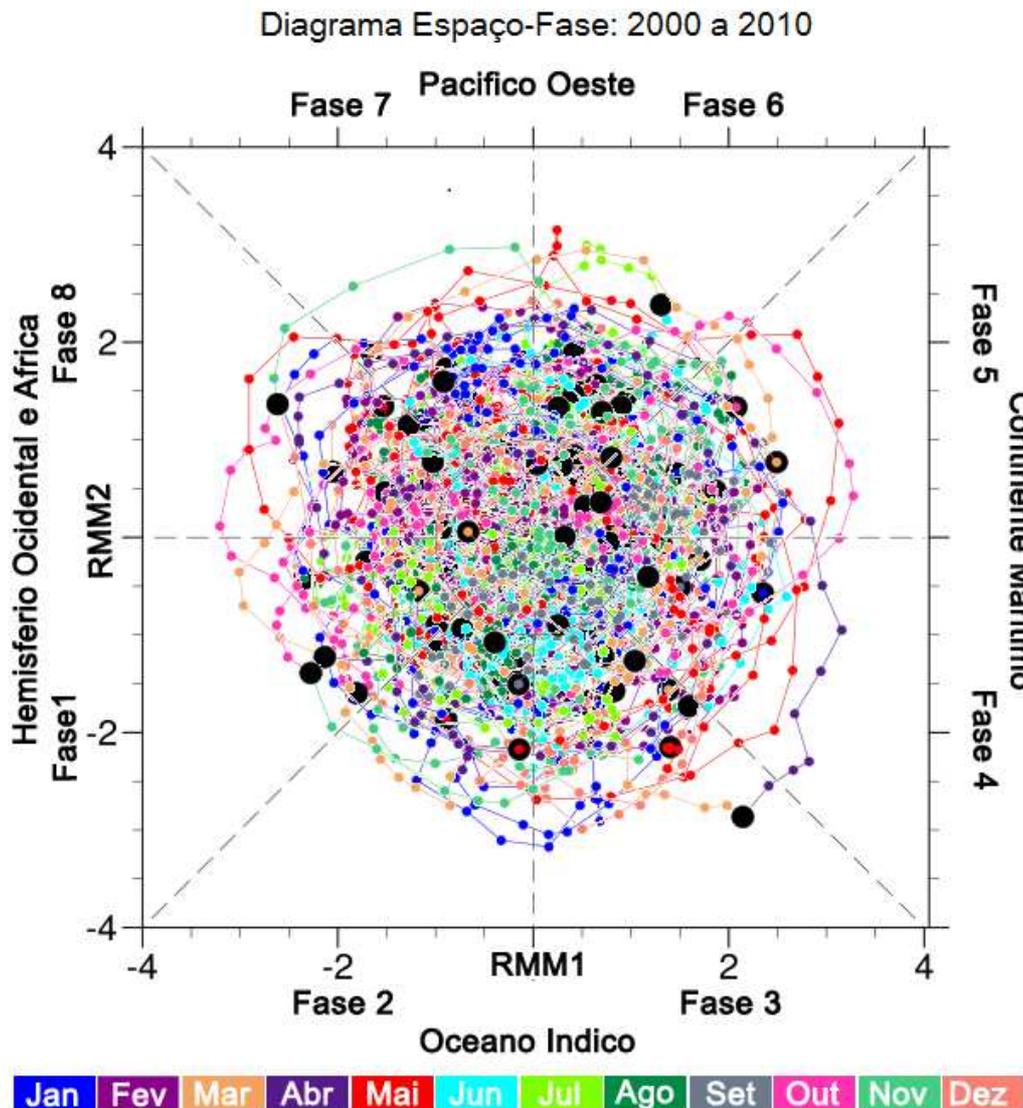


Figura 4.8: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o período de 2000 a 2010. As diversas fases indicam as regiões geográficas onde a OMJ está atuando e as cores os meses considerados.

Para uma melhor visualização dos resultados anteriores, foi feito um diagrama para cada ano do período de estudo. Pontos em destaque em preto indicam o início e o fim da oscilação para os determinados meses. Para uma melhor compreensão e síntese, somente os anos com maior significância em termos

de variabilidade interanual da OMJ serão ilustrados, os outros anos estarão presentes no apêndice A.

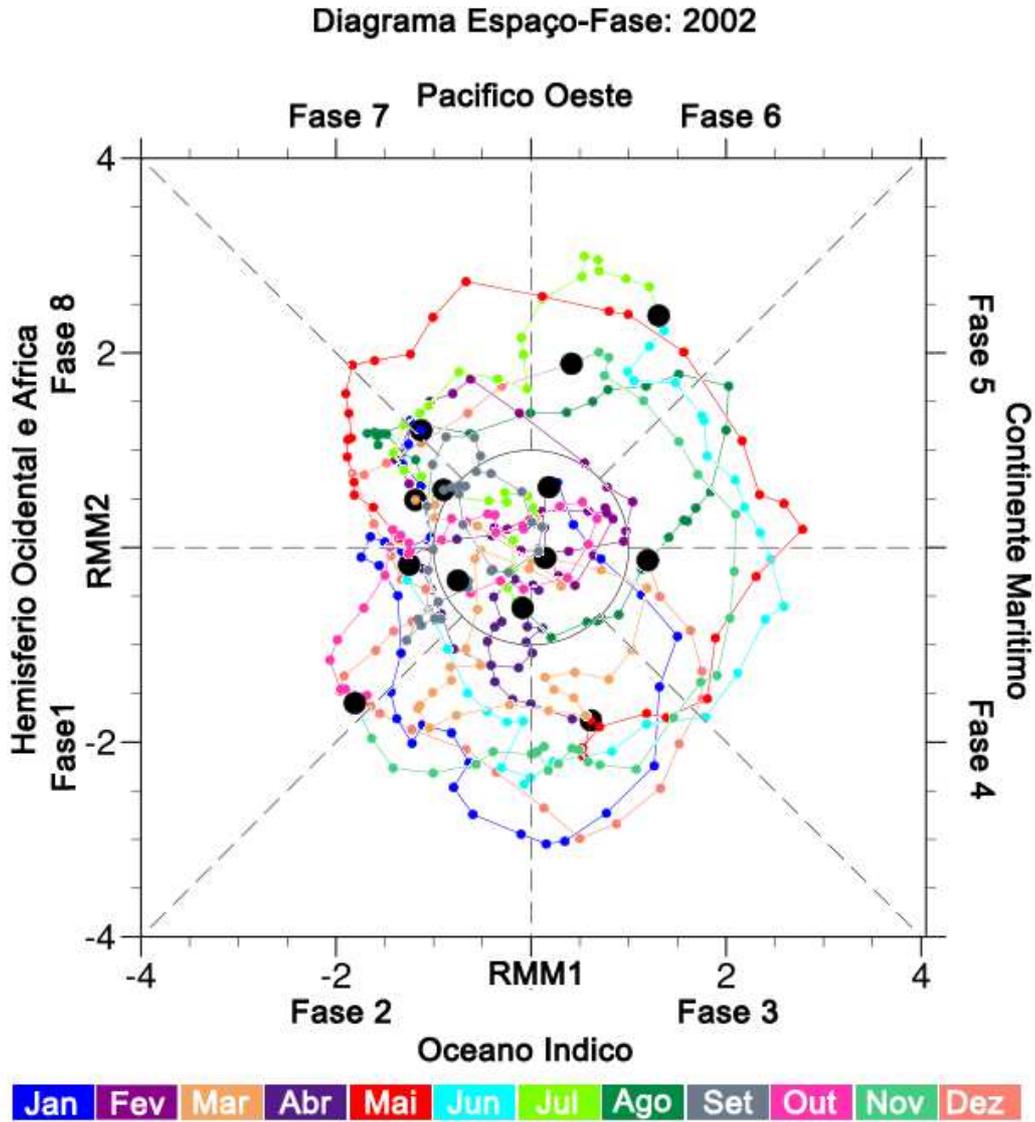


Figura 4.9: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2002.

O ano de 2002 foi o ano em que a OMJ teve mais dias ativos e, conseqüentemente, períodos mais longos. O mês de janeiro, por exemplo, possui somente 3 dias em que a OMJ não é considerada ativa. Já os meses de maio, junho e novembro todos os dias são considerados ativos. Além disso, o ano de 2002 contou com a presença do fenômeno El Niño, com sua atividade considerada fraca.

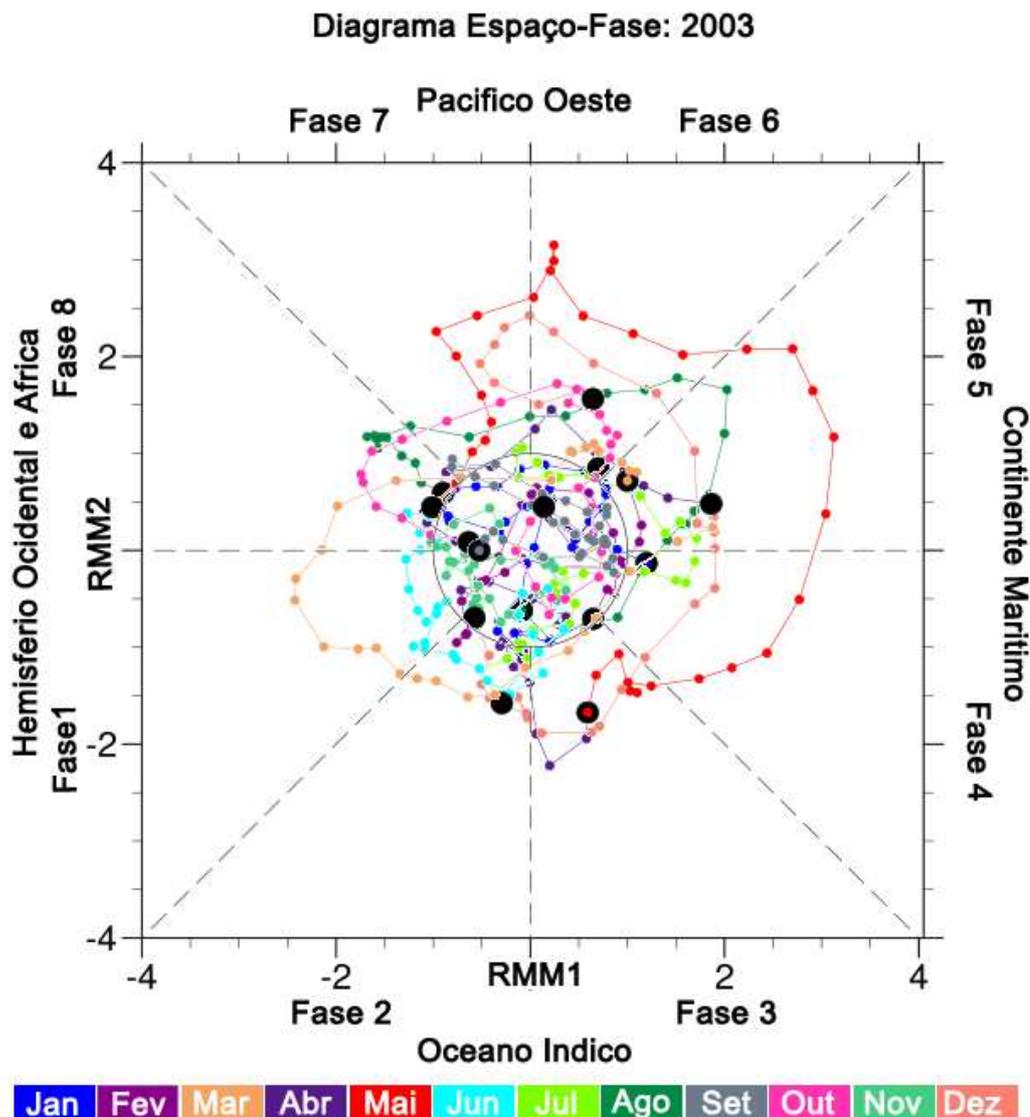


Figura 4.10: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2003.

O ano de 2003 foi considerado o ano em que a OMJ teve menos dias ativos. Isso se deve ao fato de que, neste ano, a atividade do El Niño foi considerada moderada, suprimindo a atividade convectiva da OMJ.

Para uma melhor compreensão dos diagramas, apresenta-se uma tabela (Tabela 1) onde constam os dias ativos, dias inativos e dias em que a OMJ estava presente sobre a fase 7 (AS). Tal representação é calculada através da equação (2). Por exemplo, para o dia 31 de dezembro de 2001, tem-se os valores -1,126391 e 1,204004 para o índice RMM1 e RMM2, respectivamente. Aplicando a equação (2), obtemos:

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\left(\frac{1,204004}{-1,126391} \right) \right]$$

Como, nesse caso $RMM1 < 0$ e $RMM2 > 0$, soma-se 360 ao resultado, obtendo-se 313,1 que equivale a longitude de $-46,9^\circ$.

Para um total de 4018 dias referente ao período de 2000 a 2010, 2494 dias foram considerados dias em que a OMJ estava ativa e desses, 295 dias em que ela esteve sobre a América do Sul (fase 7). Já para os anos em que a OMJ teve dias mais(menos) ativos durante a fase 7, 2001 e 2007, a presença da La Niña foi considerada moderada.

Hendon et al (1999) estudaram a variabilidade interanual da OMJ e encontraram que em anos que a atividade da OMJ aumenta, os períodos em que ela se encontra ativa tornam-se mais longos. Essa característica é evidente na figura 4.10. O ano de 2008 foi o segundo ano com mais dias ativos da OMJ e com ocorrências de condições de La Niña forte. Durante o período estudado não ocorreu expressiva variabilidade interanual das principais características da OMJ (dias ativos, dias inativos) exceto para os anos de 2003 e 2010.

Tabela 4.1: Tabela demonstrativa de dias ativos e inativos da OMJ.

Oscilação Madden Julian - 2000 a 2010				
Ano	Dias Ativos	Dias Inativos	Dias na fase 7	Dias Ativos na fase 7
2000-2010	2494	1594	443	295
2000	213	153	33	23
2001	243	122	61	43
2002	260	105	32	24
2003	188	177	41	24
2004	242	124	40	31
2005	216	149	34	22
2006	233	132	33	21
2007	215	150	37	19
2008	256	110	41	33
2009	235	130	56	35
2010	193	172	35	21
Média	227	145	40	27

4.3 Composição do Ciclo de Vida da OMJ

Para analisar os padrões espaciais globais da variabilidade atmosférica associada ao índice RMM, foram feitas composições das anomalias dos dados de ROL, u850 e V850, para as oito fases do ciclo de vida da OMJ. Cada fase envolve um período de 6 dias. Essas composições são uteis para o diagnóstico das condições atmosféricas ao longo do ciclo de vida da OMJ. O padrão espacial dessas composições é similar a estrutura da OMJ conforme documentado em inúmeros estudos, tais como WH04, mas no presente estudo incluiu-se as longitudes de 60° O e 20° L e utilizou-se as latitudes de 60° S a 40° N para uma melhor compreensão dos padrões de anomalias de ROL e vento que atuam na AS e Oceano Atlântico.

Utilizando-se campos das anomalias de ROL e de vento em 850 hPa, a figura 4.20 e 4.21 mostra a composição do ciclo de vida da OMJ para um período de 11 anos (2000 a 2010) totalizando 4018 dias. Somente os dias em que a amplitude da série temporal das componentes das EOFs era maior que 1 foram computados, ou seja, somente dias nos quais a OMJ se encontrava ativa,

totalizando 2373 dias. Para cada fase, tem-se em media, 297 dias onde a atividade dessa oscilação estava ativa.

Na fase 1 (287 dias) observa-se a presença de fortes anomalias negativas de ROL sobre o Continente Marítimo e Oceano Pacífico Oeste, que caracterizam a convecção ativa na região. Além disso, há evidências da presença da ZCPS no Oceano Pacífico a leste da Austrália. Sobre a AS observa-se o contrario, há a presença de anomalias de vento de leste e de anomalias positivas de ROL que caracterizam supressão de convecção, principalmente na região da ZCAS. Observa-se também no Continente Marítimo e vizinhanças convergência de massa em baixos níveis, implicando em movimentos verticais ascendentes no centro da região convectiva. Pela característica do campo de vento pode-se inferir a presença das ondas de Kelvin/Rossby a leste/oeste do centro convectivo.

Na fase 2 (329 dias) observa-se um ligeiro deslocamento da atividade convectiva para leste no Oceano Pacífico Oeste. A oeste do centro convectivo (no Oceano Índico) ocorre supressão e subsidência, associada com divergência em baixos níveis. Essa característica de convecção foi diagnosticada como uma gangorra convectiva por Castro (2002). Nesse período ainda há ausência de atividade convectiva em grande parte da AS, embora a fase desfavorável para atividade convectiva esteja mudando.

Na fase 3 (280 dias) a atividade convectiva enfraquece consideravelmente sobre o Continente Marítimo e Oceano Pacífico e começa a se formar sobre a América do Sul. Em contrapartida, a supressão sobre o Oceano Índico aumenta.

Na fase 4 (347 dias) as anomalias negativas de ROL começam a se estabelecer nos trópicos da AS, e de forma mais organizada no Oceano Pacífico, a leste do México, bem como no Noroeste da África. No Oceano Índico, ainda há presença de supressão e de divergência em baixos níveis.

Na fase 5 (287 dias), aproximadamente 30 dias após o máximo da atividade convectiva sobre o Continente Marítimo, a convecção está ativa sobre a AS na

região das ZCAS. Ao contrario do observado na fase 1, observa-se anomalias de vento de oeste nessa região. A nível global, com o deslocamento da atividade convectiva para leste, as anomalias positivas de ROL presentes sobre o Continente Marítimo e Oceano Pacífico diminuem de intensidade e se estendem para Nordeste na direção da América do Norte. Além disso, as anomalias de oeste do vento zonal sobre o Oceano Índico se intensificam. Nesta fase, em termos gerais, observa-se o inverso do que ocorreu durante a fase 1.

Na fase 6 (256 dias) as anomalias negativas de ROL voltam a se intensificar sobre o Oceano Índico enquanto na AS a atividade convectiva diminui significativamente. A medida que a OMJ avança, os ventos de oeste presentes na fase 5 propagam-se até que são substituídos pelos ventos de leste (MADDEN; JULIAN, 1972). Sobre a AS destaca-se um fluxo anômalo de oeste fraco na região equatorial.

A fase 7 (313 dias) é caracterizada por um núcleo da atividade convectiva mais intenso e maior sobre o Oceano Índico, enquanto as anomalias positivas de ROL sobre o Continente Marítimo enfraquecem. Na AS inicia-se a fase de supressão da atividade convectiva. Assim como as anomalias negativas de ROL se intensificaram, os ventos anômalos de leste e de oeste presentes no Oceano Índico, se intensificam, caracterizando a convergência em baixos níveis.

Na fase 8 (274 dias) as anomalias negativas de ROL se movem para leste e as anomalias positivas de ROL sobre a AS começam a se intensificar novamente, caracterizando o início do ciclo.

Importante destacar que na fase 1, quando a atividade convectiva é máxima no Continente Marítimo e a supressão domina ao longo da região das ZCAS e na fase 5, quando ocorre o oposto, as anomalias de vento no Pacífico Equatorial em 850 hPa são respectivamente de leste e oeste. Além disso, essas duas fases são caracterizadas pela presença de um trem de ondas que se propagam de leste para oeste sobre o Oceano Pacífico Sul, mas se inclinam para

nordeste ao atingir a AS. Essa característica da OMJ está associada com a Oscilação do Pacífico Sul – América do Sul, conhecida na literatura como PSA (Oliveira, 2012).

Madden e Julian (1972) ao descreverem sobre uma célula de circulação global de larga escala encontraram uma configuração semelhante a descrita acima. Para uma melhor compreensão da composição do Ciclo de Vida da OMJ apresenta-se uma breve análise dos períodos de Verão e Inverno. Para a primeira, foram selecionados somente os meses de Novembro a Abril e para a segunda, os meses de Maio a Outubro.

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: 2000 a 2010

Fase 1 e 2

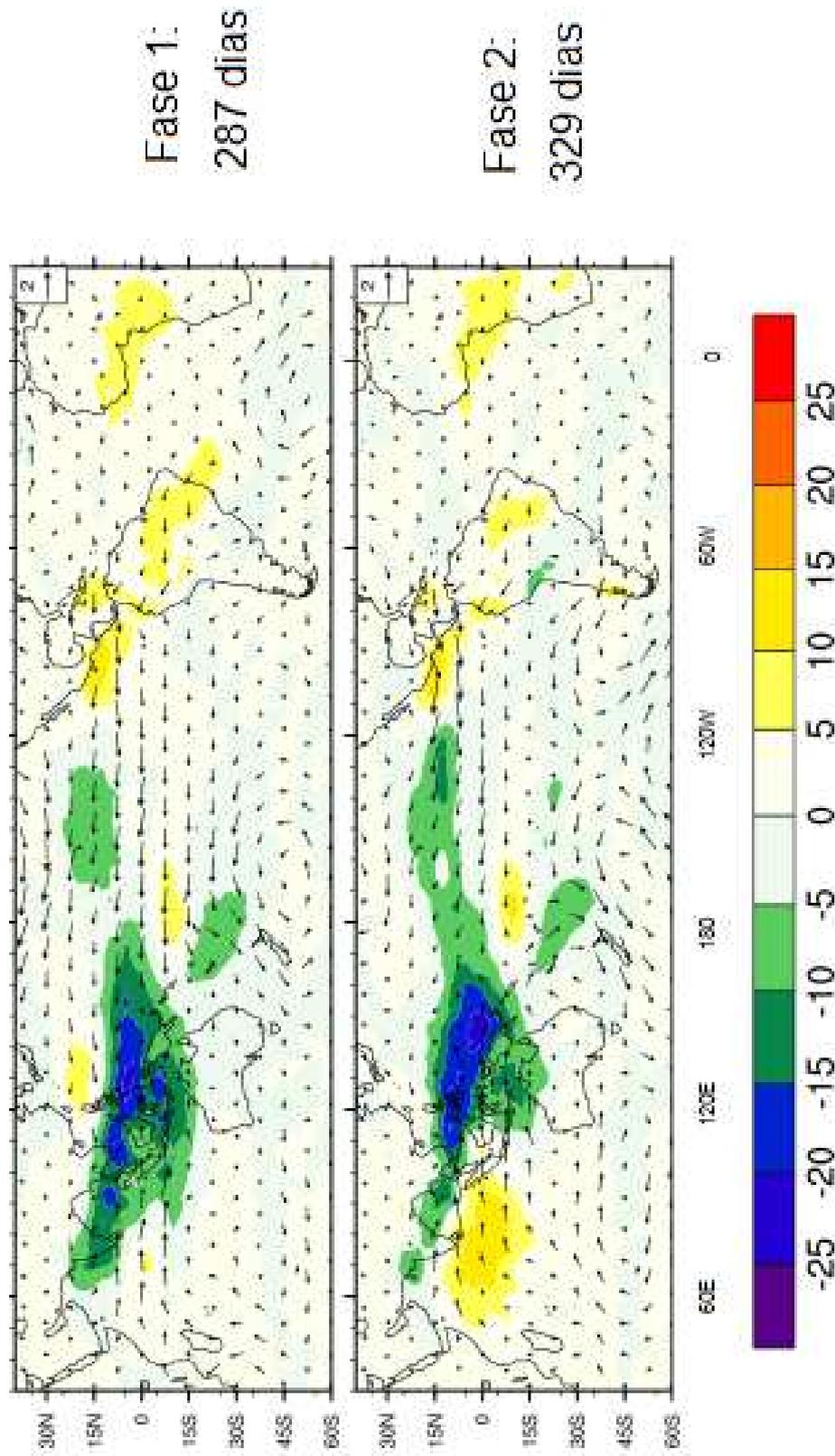


Figura 4.11: Fase 1 e 2 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para o período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m^2 .

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: 2000 a 2010

Fase 3 e 4

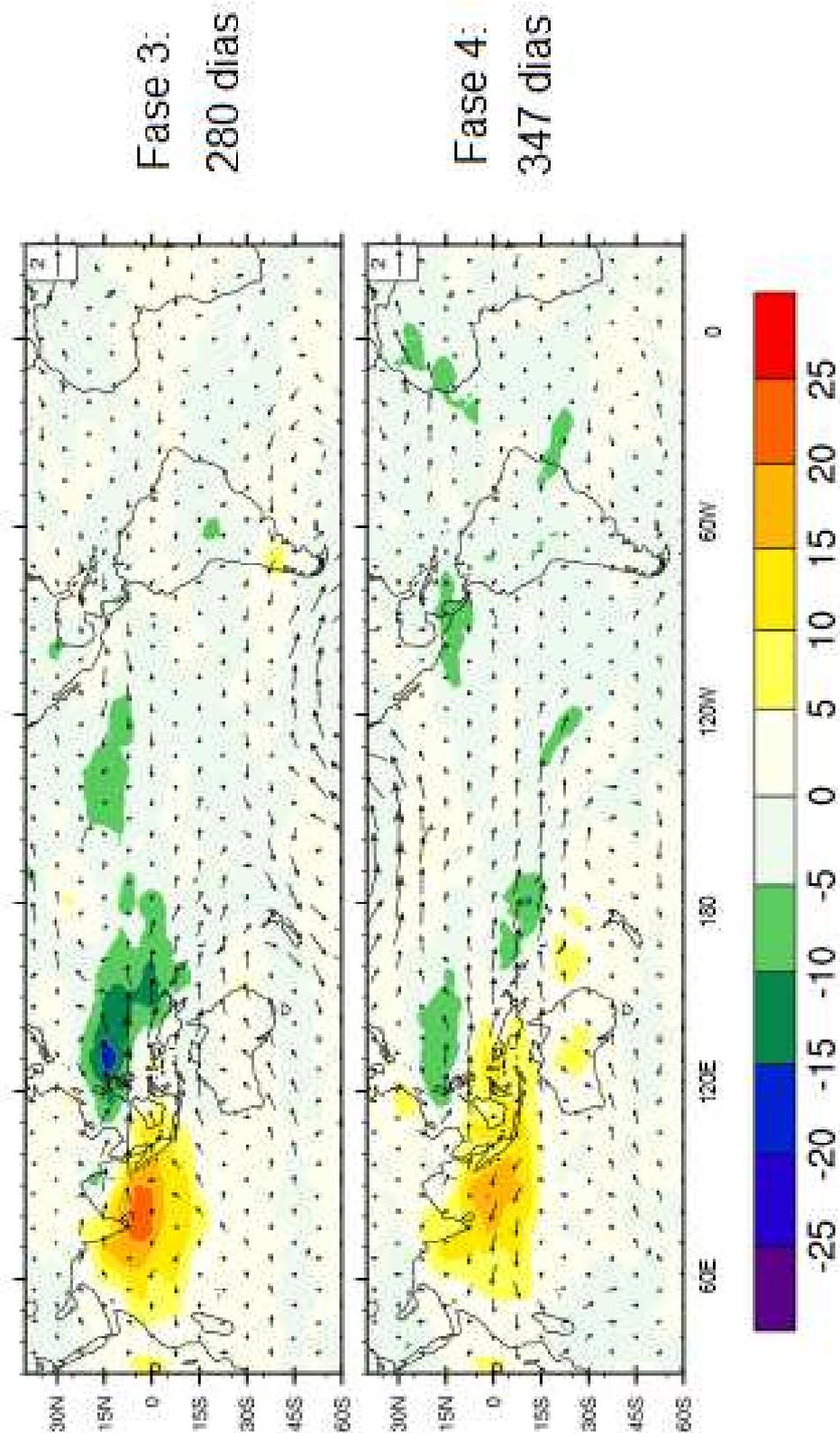


Figura 4.12: Fase 3 e 4 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u_{850} e v_{850}) para o período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m^2 .

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: 2000 a 2010

Fase 5 e 6

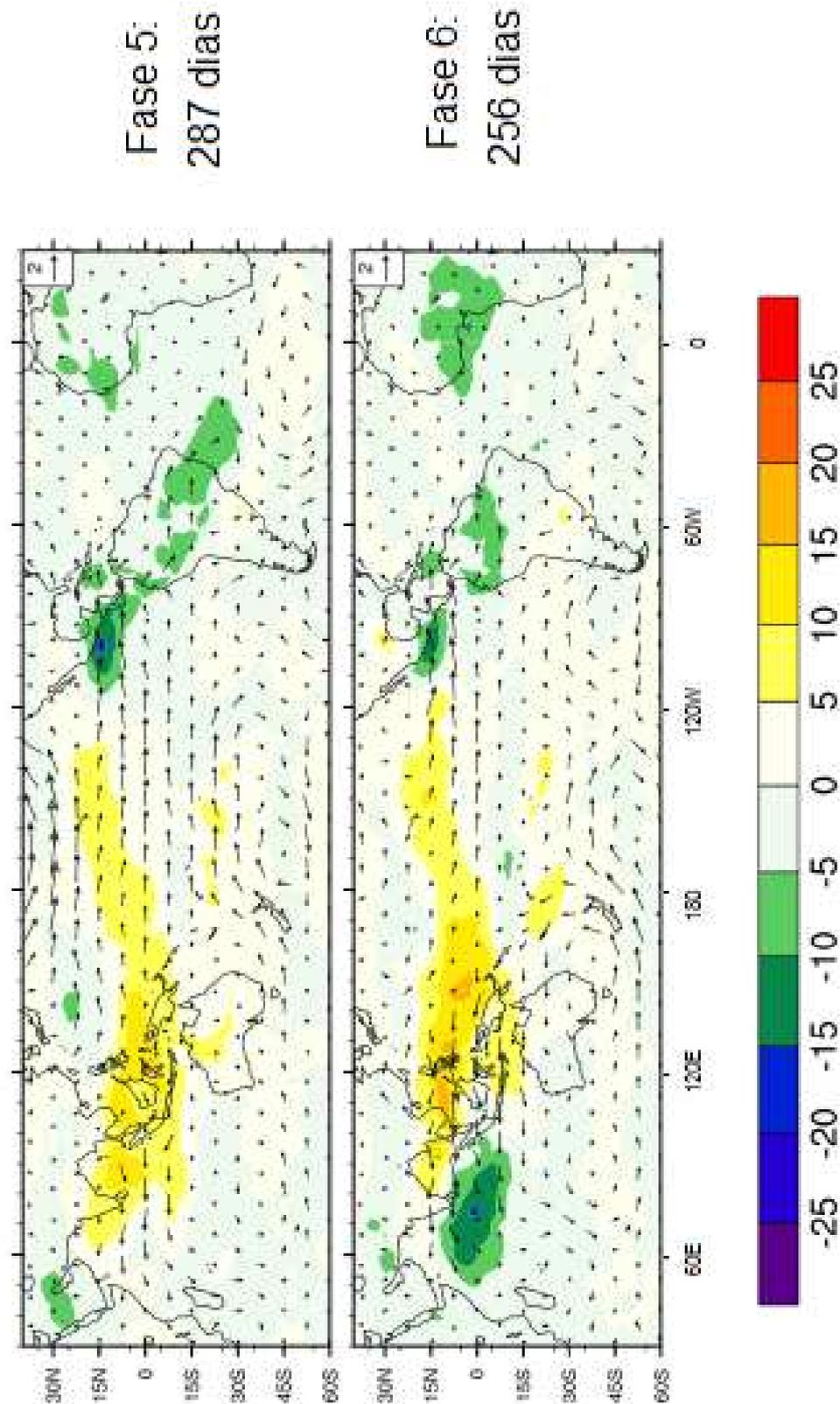


Figura 4.13: Fase 5 e 6 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u50 e v50) para o período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m^2 .

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: 2000 a 2010

Fase 7 e 8

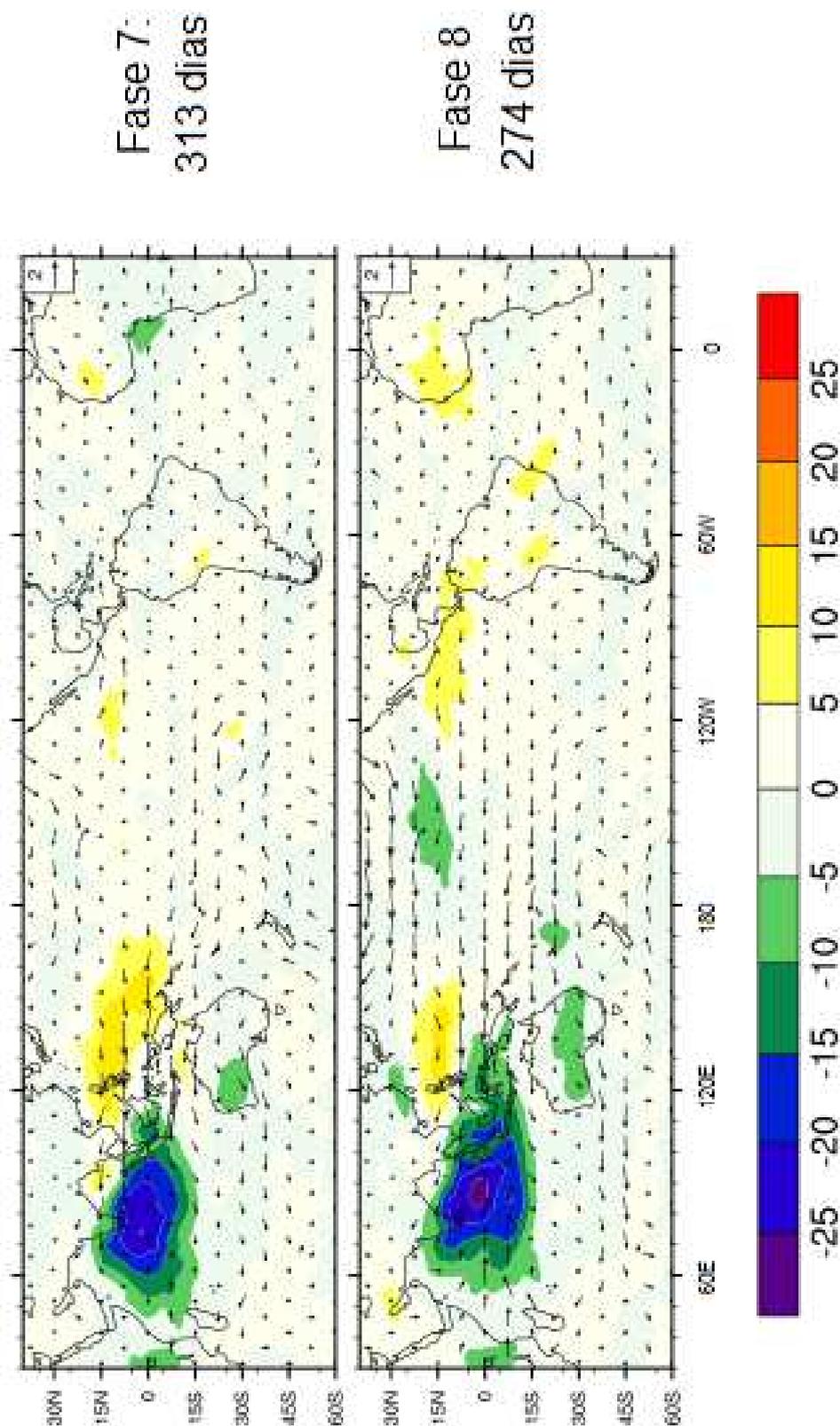


Figura 4.14: Fase 7 e 8 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para o período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de OLR em W/m^2 .

4.3.1 Variabilidade Sazonal

Nesta seção apresenta-se de forma sintetizada as principais características das 8 fases ciclo de vida da OMJ durante os períodos de verão(figura 4.22 e 4.23) e inverno austral(4.24 e 4.25). De um modo geral essas características refletem o comportamento médio discutido anteriormente. Além disso, destaca-se:

- a) No verão austral a atividade convectiva e áreas de subsidência são mais organizadas do que a observada durante o inverno tanto no Continente Marítimo e vizinhanças como ao longo da ZCAS.
- b) As anomalias negativas de ROL são mais organizadas e evidentes ao longo da ZPCS durante o verão e na 1ª e 2ª fase do ciclo de vida da OMJ durante o inverno.
- c) Durante o verão, na fase 5, período em que a ZCAS se estabelece, as anomalias de vento de leste no Oceano Pacífico Equatorial se estendem de 15°S até cerca de 15° N. Por outro lado, anomalias de leste persistem ao longo da ZCAS. Observa-se ainda a presença de um trem de ondas tipo PSA no Oceano Pacífico Sul. Esse trem de ondas apresenta um caráter barotrópico(ver figura B3, apêndice B). Em síntese, nessa fase destacam-se:
 - Anomalias de vento de Noroeste e anomalias de ROL associadas a ZCAS;
 - Trem de Ondas no Oceano Pacífico Sul (CASTRO, 2002) e
 - Anomalias de leste no Oceano Pacífico Equatorial;
- d) No verão, no Oceano Pacífico Sul, a fase 1 é caracterizada pela presença de dois grandes centros de anomalias anticiclônicas, na baixa troposfera enquanto que fortes anomalias de oeste prevalecem no Oceano Pacífico Equatorial. Nesse período os trópicos da AS são caracterizados por forte supressão da atividade convectiva e anomalias de oeste da região da ZCAS.

- e) Durante o verão, nas fases 1 e 5, o campo das anomalias de vento na baixa e alta troposfera (vide apêndice B) associado a OMJ no Oceano Pacífico Sul (trópicos e subtropicais) apresentam uma estrutura barotrópica(baroclínica). Esses resultados concordam com Knutson e Weickmann (1987) e Roballo (2013).
- f) A costa Oeste dos EUA é essencialmente afetada pela OMJ durante o verão. No inverno ela influencia a atividade dos ciclones tropicais no Oceano Pacífico leste (GOTTSHALCK, 2008). Além disso, observa-se uma banda com anomalias negativas de ROL no Oceano Atlântico que se estende para nordeste em direção a África durante o verão.

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: Novembro a Abril - 2000 a 2010 Fase 1 e 2

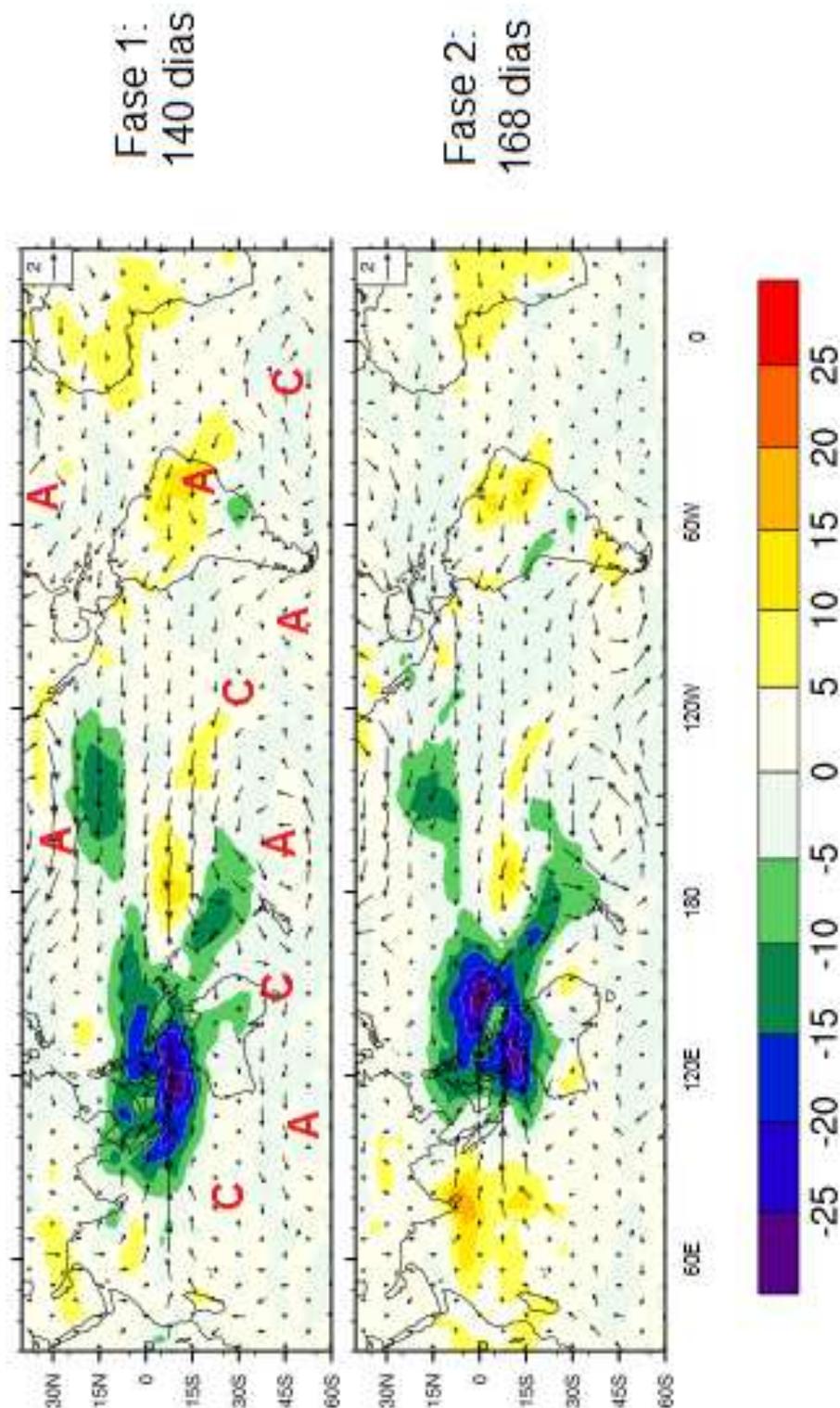


Figura 4.15: Fase 1 e 2 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para os meses de Novembro a Abril do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao número de dias em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m^2 . As letras A e C referem-se a circulações Anticiclônicas e Ciclônicas, respectivamente.

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: Novembro a Abril - 2000 a 2010 Fase 3 e 4

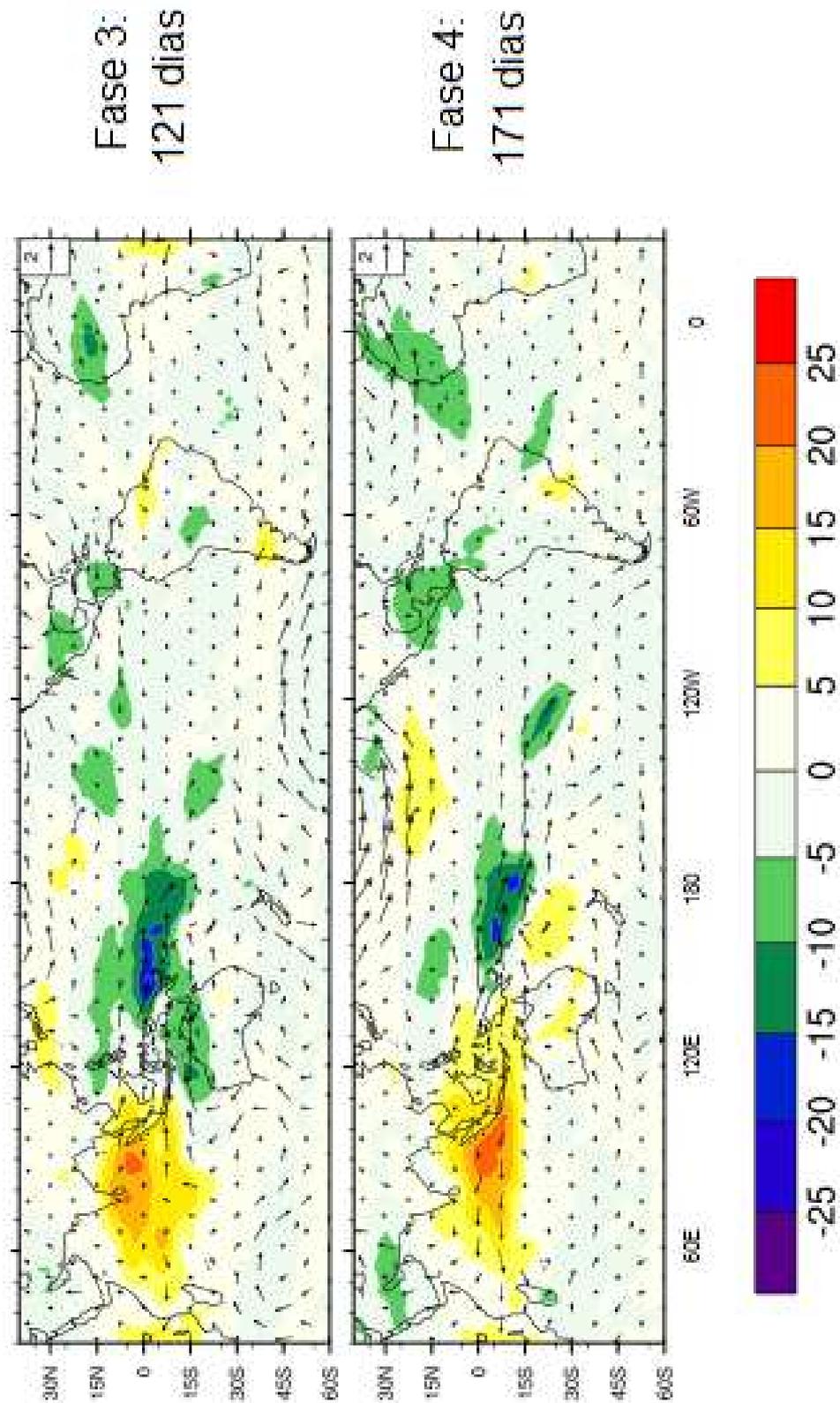


Figura 4.16: Fase 3 e 4 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para os meses de Novembro a Abril do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m^2 .

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: Novembro a Abril - 2000 a 2010

Fase 5 e 6

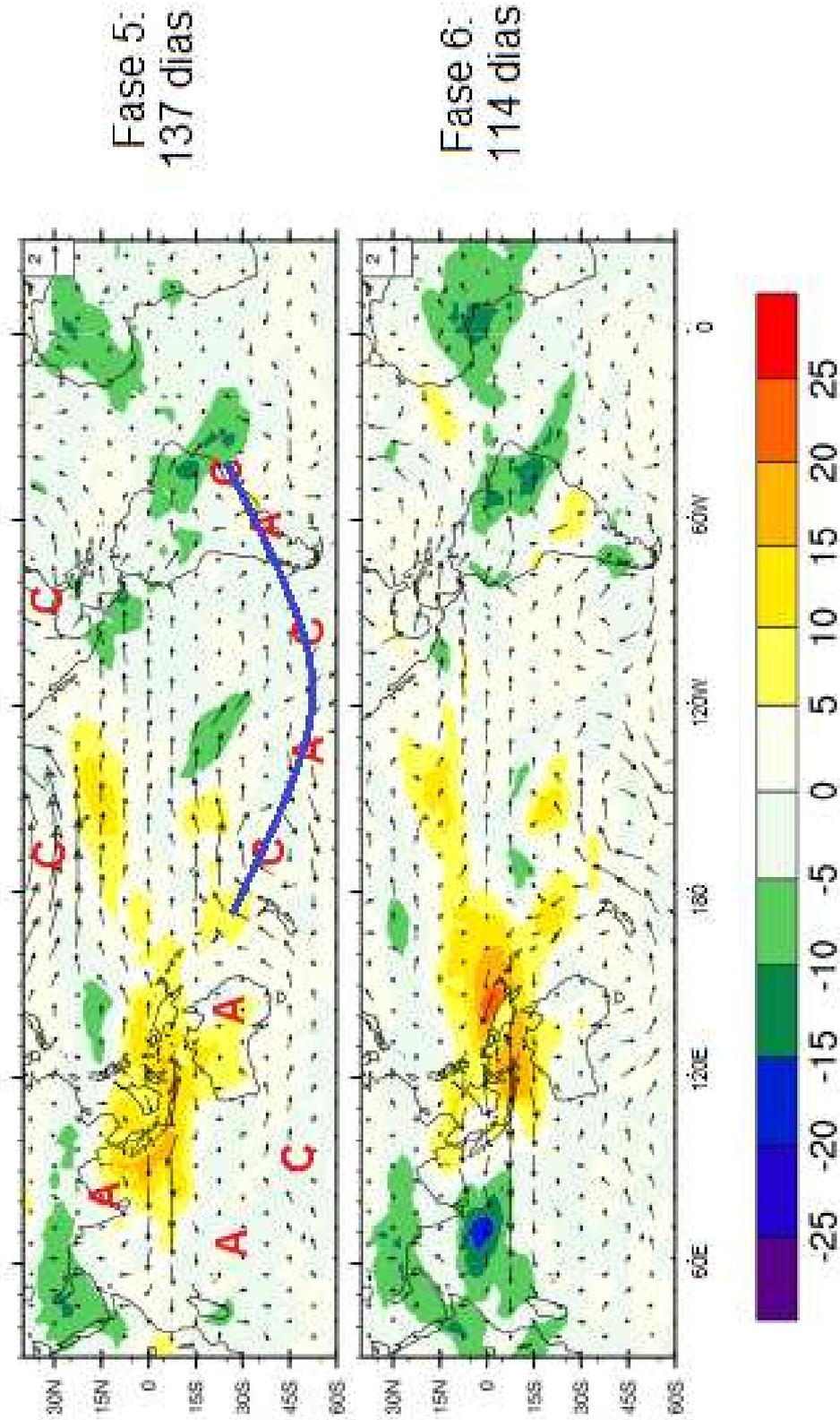


Figura 4.17: Fase 5 e 6 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para os meses de Novembro a Abril do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m^2 . As letras A e C referem-se a circulações Anticiclônicas e Ciclônicas, respectivamente.

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: Novembro a Abril - 2000 a 2010 Fase 7 e 8

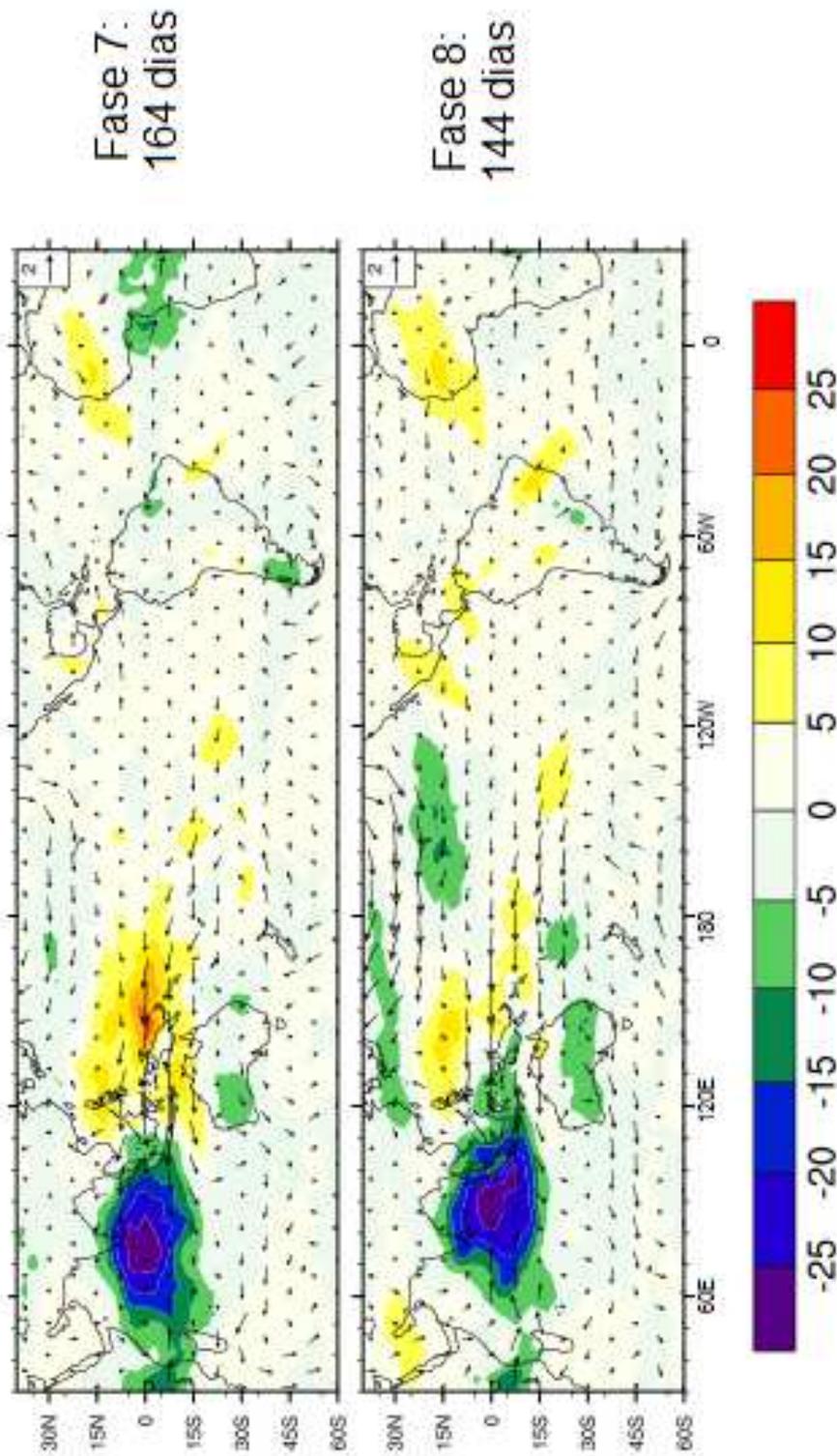


Figura 4.18: Fase 7 e 8 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para os meses de Novembro a Abril do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m^2 .

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: Maio a Outubro - 2000 a 2010 Fase 1 e 2

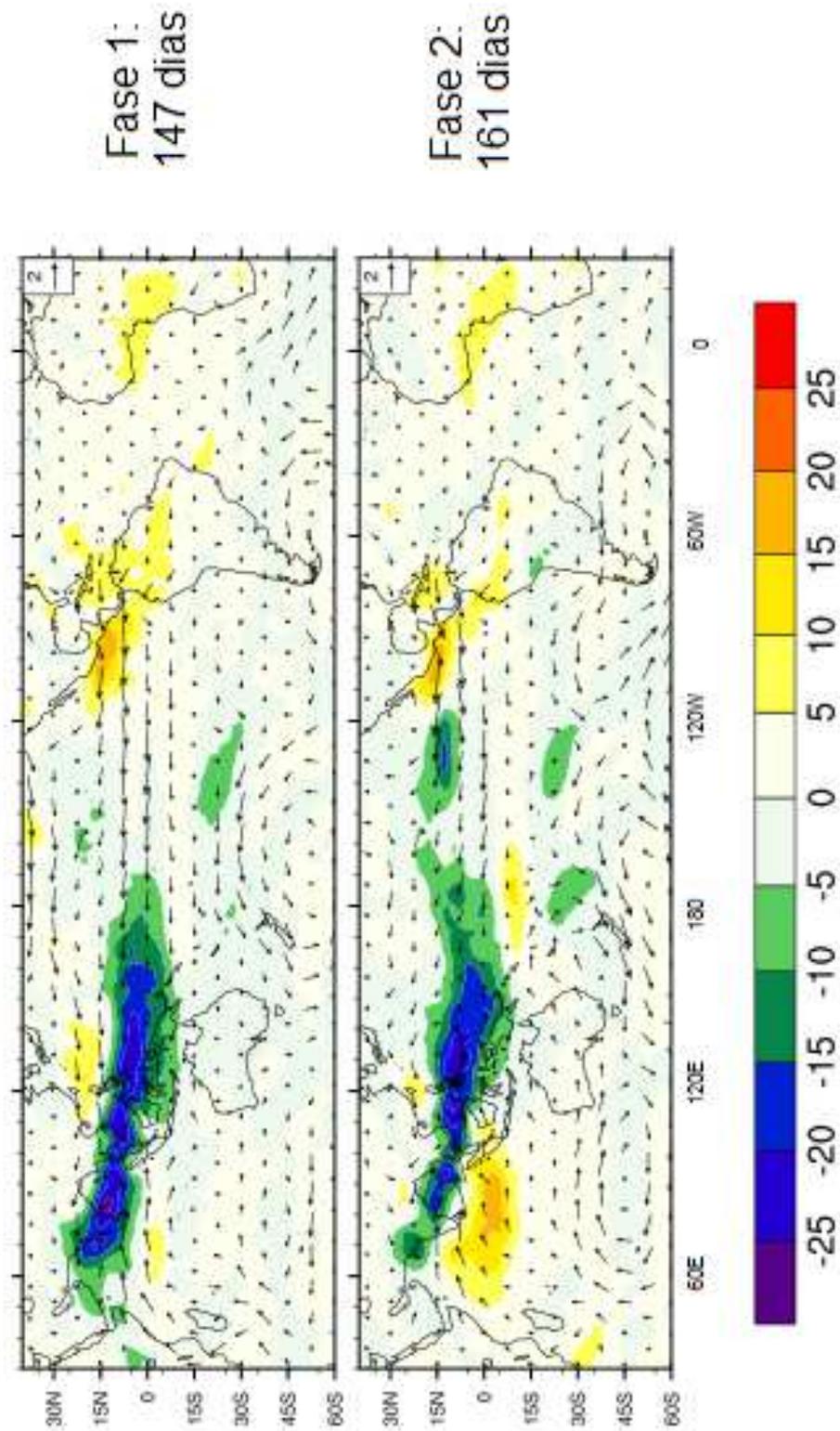


Figura 4.19: Fase 1 e 2 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m^2 .

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: Maio a Outubro - 2000 a 2010 Fase 3 e 4

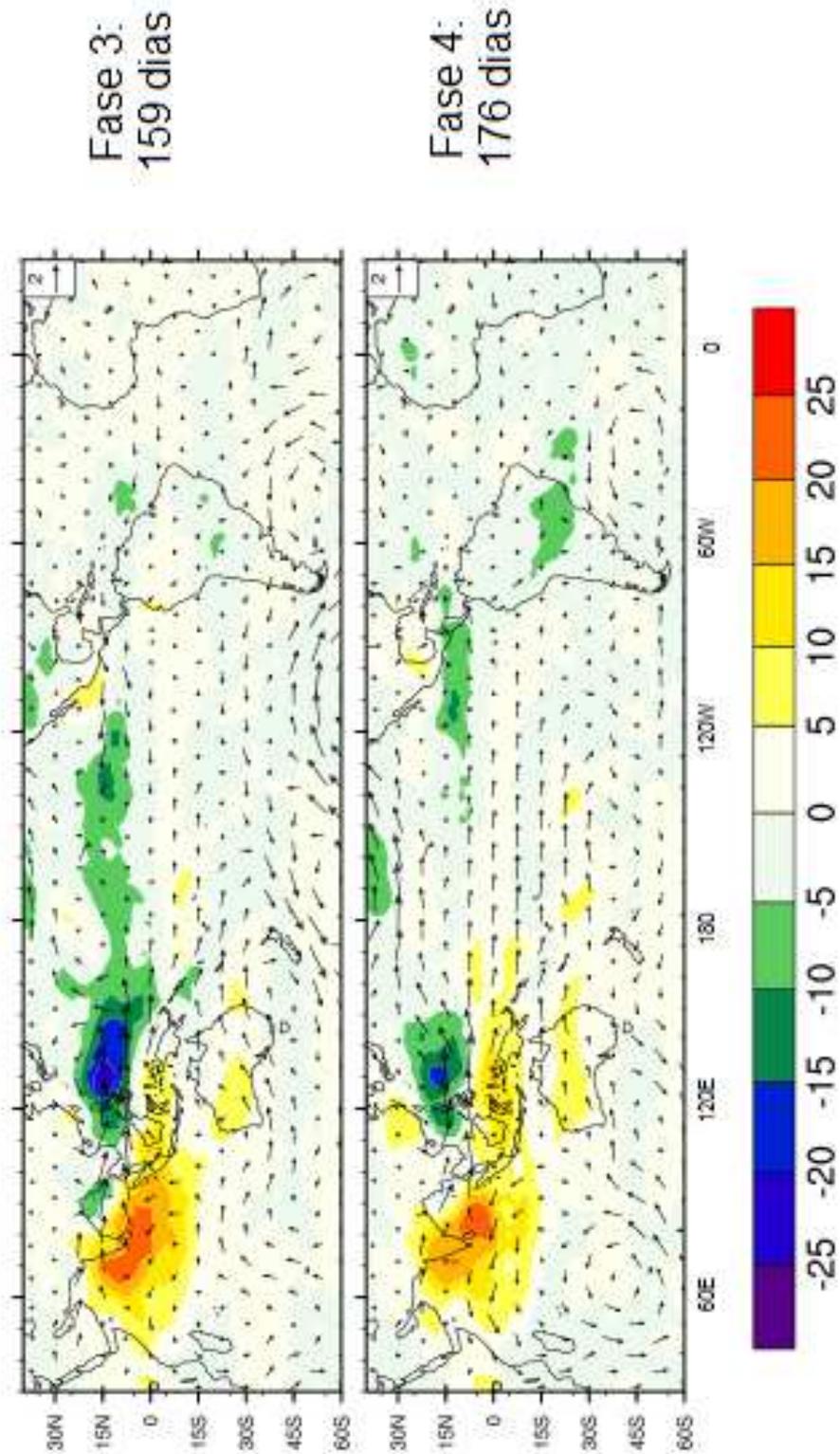


Figura 4.20: Fase 3 e 4 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u_{850} e v_{850}) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m^2 .

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: Maio a Outubro - 2000 a 2010 Fase 5 e 6

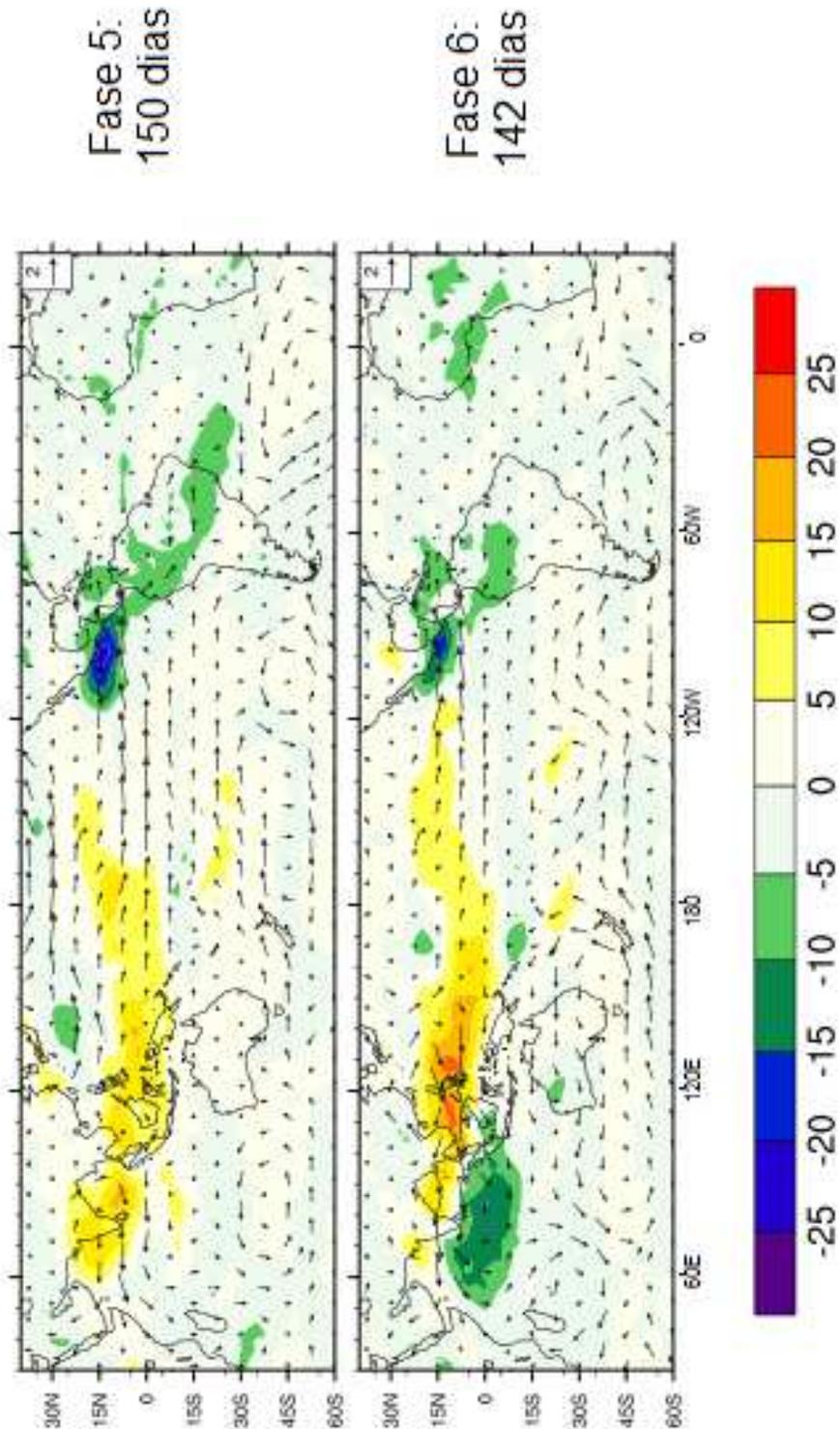


Figura 4.21: Fase 5 e 6 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u850 e v850) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m^2 .

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: Maio a Outubro - 2000 a 2010 Fase 7 e 8

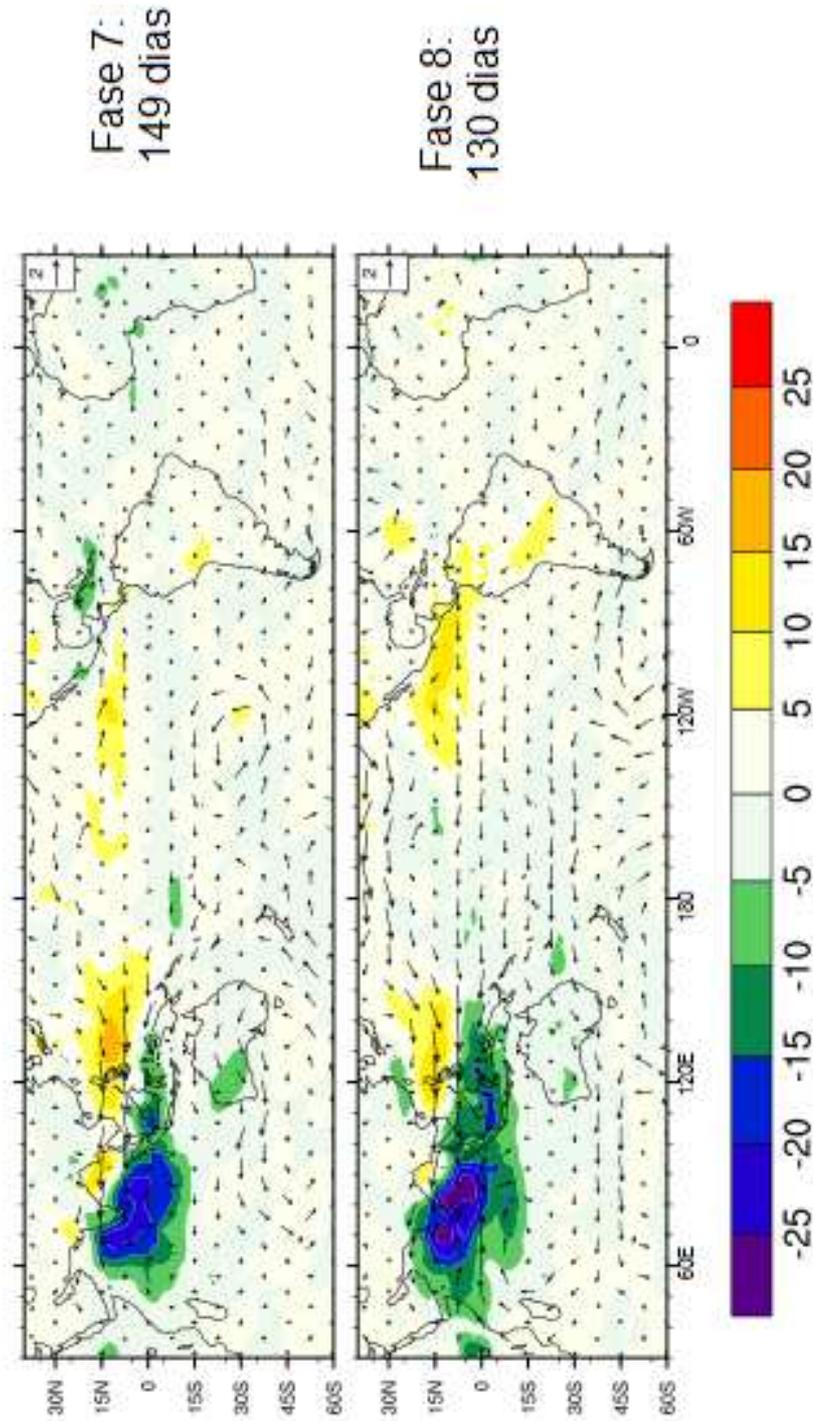


Figura 4.22: Fase 7 e 8 da composição do ciclo de vida da OMJ (OLR, u_{850} e v_{850}) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao período em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se às anomalias de ROL em W/m^2 .

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presença da OMJ e sua influência sobre a América do Sul, bem como a implementação de uma metodologia para monitorá-la foi investigada neste estudo. Inicialmente foi feita a análise por meio de EOFs das variáveis combinadas ROL, u_{850} e u_{200} . Posteriormente, a técnica RMM foi adaptada para a região da AS para o monitoramento da OMJ. Além disso, foi analisada a composição do ciclo de vida da OMJ durante todo o período de 2000 a 2010 e também a sua variabilidade sazonal.

A análise dos EOFs das anomalias de ROL mostra o padrão espacial de nebulosidade (atividade convectiva) característico da OMJ. No primeiro modo compara-se a presença de uma área acoplada de intensificação e supressão de convecção propagando-se para leste a partir do Oceano Índico. O segundo modo mostra o deslocamento para leste da célula de convecção e a inversão dos padrões de convecção.

No que se refere ao campo de vento zonal em 850 hPa, o primeiro modo do EOF revela a presença de ventos anômalos equatoriais de leste sobre o Oceano Índico e de oeste sobre o Oceano Pacífico, característica principal associada a convergência em baixos níveis presente na célula de convecção da OMJ. O segundo modo dessa variável destaca a associação entre as anomalias do vento zonal e a célula de circulação de Walker.

Os resultados mostram que a principal característica do primeiro modo do EOF do vento zonal em 200 hPa é a inversão do padrão da circulação dos ventos em altos níveis, indicando a presença de divergência onde, sobre o Oceano Índico tem-se ventos de oeste e sobre o Oceano Pacífico, ventos de leste. O movimento divergente em altos níveis, associado ao movimento convergente em baixos níveis, juntamente com uma célula de convecção é uma das características da OMJ. O segundo modo tem como destaque a presença do Jato Subtropical sobre a AS, bem como o deslocamento para leste da célula divergente.

Outra característica inferida na análise das funções EOF é a presença dos padrões das ondas de Rossby e Kelvin, que são estruturas essenciais a OMJ.

A análise do diagrama espaço-fase durante o período de estudo possibilitou entender e visualizar de uma melhor maneira o movimento de leste da OMJ bem como sua atuação sobre a AS. A adequação do índice RMM envolvendo latitudes subtropicais mostrou-se importante para diagnosticar a estrutura do campo de vento.

A análise da variabilidade anual da OMJ por meio do diagrama espaço-fase possibilitou diagnosticar os anos em que ela estava mais ativa e menos ativa, bem como os anos em que apresentava um ciclo de vida (período) maior ou menor. Além disso, através do índice RMM foi possível detectar a localização e a amplitude da OMJ para cada dia durante o período estudado e, dessa maneira, exemplificar situações onde houve a influência da OMJ. A análise da variabilidade interanual da OMJ possibilitou entender melhor sua atuação e desenvolvimento.

As composições do ciclo de vida da OMJ foram analisadas com o objetivo de verificar os padrões espaciais globais da variabilidade atmosférica associada ao índice RMM. Através da análise de suas características gerais foi possível observar seu desenvolvimento desde seu início, quando a atividade convectiva é máxima sobre o Continente Marítimo e Oceano Índico, bem como quando ocorre a inversão dos padrões, até o início do ciclo novamente. Dessa forma, foi possível observar sua influência sobre diversas partes do globo e em seus sistemas atuantes. A análise sazonal dessas composições indicou que durante o verão Austral, tanto a atividade convectiva e áreas de subsidência na região do Continente Marítimo e na região da ZCAS quanto às anomalias negativas de ROL ao longo da ZPCS são mais intensas, organizadas e evidentes do que no inverno. Além disso, através dessa análise também foi possível observar as influências exercidas pela OMJ ao redor do globo, como é o caso do Oeste dos EUA que é mais afetado por ela durante o verão.

As análises da OMJ apresentadas neste estudo possibilitaram verificar sua variabilidade temporal, interanual e espacial ao redor do globo, além de avaliar as características da circulação atmosférica associada. Estes resultados podem ser agregados ao monitoramento climático e a previsão em médio prazo no Brasil, como condição inicial, pois torna-se possível identificar a localização da OMJ e sua amplitude, melhorando a previsão a ser feita.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, Leila MV; JONES, Charles; LIEBMANN, Brant. The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 88-108, 2004.

CASTRO CUNNINGHAM, Christopher Alexander; DE ALBUQUERQUE CAVALCANTI, Iracema Fonseca. Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. **International Journal of Climatology**, v. 26, n. 9, p. 1165-1180, 2006.

CASTRO, C. A. C. **Interações trópicos-extratrópicos na escala de tempo intra-sazonal durante o verão austral e seus efeitos na América do Sul**. 2009. 162 p. (INPE-16604-TDI/1590). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1905/2005/08.03.21.22.50>>. Acesso em: 09 mar. 2015.

DE SOUZA, E. B.; KAYANO, M. T.; AMBRIZZI, T. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 81, n. 3-4, p. 177-191, 2005.

DE SOUZA, Everaldo B.; AMBRIZZI, Tércio. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden–Julian oscillation. **International journal of climatology**, v. 26, n. 13, p. 1759-1776, 2006.

FERREIRA, S. A. **Variabilidade da monção da América do Sul**. 2013. 207 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2013/04.08.12.45-TDI). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2013. Disponível em:<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3DSAUIJ2>>. Acesso em: 09 mar. 2015. GOTTSCHALCK, J.; KOUSKY, V.; HIGGINS, W.; L'HEUREUX, M. **MJO summary**. p.20. 2005. Disponível em: <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/>>

GOTTSCHALCK, J.; Meet the MJO. **Intermountain West Climate Summary**, p. 03-24, May 2008.

HACK, L. P.; NEVES, S.; HUTTER, M. H. As mais recentes calamidades pluviais ocorridas em Petrópolis: os episódios de 2001 e 2003. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UERJ, 2003.

HENDON, Harry H.; SALBY, Murry L. The life cycle of the Madden-Julian oscillation. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 51, n. 15, p. 2225-2237, 1994.

HENDON, Harry H.; ZHANG, Chidong; GLICK, John D. Interannual variation of the Madden-Julian oscillation during austral summer. **Journal of Climate**, v. 12, n. 8, p. 2538-2550, 1999.

JONES, Charles; CARVALHO, Leila MV. Changes in the activity of the Madden-Julian Oscillation during 1958-2004. **Journal of Climate**, v. 19, n. 24, p. 6353-6370, 2006.

JONES, Charles; CARVALHO, Leila MV. Stochastic simulations of the Madden-Julian oscillation activity. **Climate dynamics**, v. 36, n. 1-2, p. 229-246, 2011.

JONES, Charles; CARVALHO, Leila. Will global warming modify the activity of the Madden-Julian Oscillation?. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 137, n. 655, p. 544-552, 2011.

KAYANO, M.T.; KOUSKY, V.E.; STUDZINSKI, C.D.; DIAS, P.L.S. As Variações intrasazonais da precipitação no Brasil durante o verão de 1989/1990. **Climanálise**, v.5, n.4, p.40-50, 1990.

KAYANO, M. T.; KOUSKY, V. E. Sobre o monitoramento das oscilações intrasazonais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 7, n. 2, p. 593-802, 1992.

KAYANO, M. T.; KOUSKY, V. E. Intraseasonal (30–60 day) variability in the global tropics: principal modes and their evolution. **Tellus A**, v. 51, n. 3, p. 373-386, 1999.

KAYANO, M. T.; JONES, C.; SILVA DIAS, P. L.; Variabilidade Intrassazonal. In: CAVALCANTI, I.D.A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M.G.A.J.; SILVA DIAS, M.A.F. (Orgs.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Ofic. Textos. 2009. p. 338-351.

KESSLER, William S. EOF Representations of the Madden-Julian Oscillation and Its Connection with ENSO*. **Journal of Climate**, v. 14, n. 13, p. 3055-3061, 2001.

KILADIS, G. N.; STRAUB, K. H.; HAERTEL, P. T. Zonal and vertical structure of the Madden-Julian oscillation. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 62, n. 8, p. 2790-2809, 2005.

KNUTSON, T.R.; WEICKMANN, K. M. 30-60 Day Atmospheric Oscillations: Composite Life Cycles of convection and Circulation Anomalies. **Monthly Weather Review**, v.115, n.7, p.1407-1436. 1987.

- KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250-mb circulation for the South América sector. **Journal of Climate**, v.7, n.7, p.1131-1143. 1994.
- LIN, J. L.; KILADIS, G. N.; MAPES, B. E.; WEICKMANN, K. M.; SPERBER, K. R.; LIN, W.; WHEELER, M. C.; SCHUBERT, S. D.; GENIO, A. D.; DONNER, L. J. et al. Tropical Intraseasonal Variability in 14 IPCC AR4 climate models. Part i: Convective Signals. **Journal of Climate**, v.19, n.12, p.2665-2690, 2006.
- LO, Fiona; HENDON, Harry H. Empirical extended-range prediction of the Madden-Julian oscillation. **Monthly weather review**, v. 128, n. 7, p. 2528-2543, 2000.
- MACEDO JUNIOR, C.; COLTRI, P. P.; SOARES, S. C. **Características da Zona de Convergência do Atlântico Sul e suas possíveis influências da Agricultura**. 2008. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/8995>.
- MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 29, n. 6, p. 1109-1123, 1972.
- MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 28, n. 5, p. 702-708, 1971.
- MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Observations of the 40-50-day tropical oscillation-A review. **Monthly Weather Review**, v. 122, n. 5, p. 814-837, 1994.
- MAHARAJ, E. A.; WHEELER, M. C. Forecasting an index of the Madden-oscillation. **International journal of climatology**, v. 25, n. 12, p. 1611-1618, 2005.
- MALONEY, E. D.; HARTMANN, D. L. Frictional moisture convergence in a composite life cycle of the Madden-Julian oscillation. **Journal of climate**, v. 11, n. 9, p. 2387-2403, 1998.
- MATTHEWS, A. J. Propagation mechanisms for the Madden-Julian Oscillation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 126, n. 569, p. 2637-2651, 2000.
- MENDONÇA, J. E. Aquecimento afeta sistema do clima no Oceano Índico. **Planeta Sustentável**, Editora Abril, 2013. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/blog/planeta-urgente/aquecimento-afeta-sistema-do-clima-no-oceano-indico/>

NASCIMENTO, W. A.; BRITO, J. I. B. Verificação da atuação da oscilação de 30-60 dias no Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002. Foz do Iguaçu (PR). **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2002.

OBREGON, G. O.; SILVA DIAS, P. L.; FERREIRA, N.J. Variabilidade intrassazonal da vortacidade nas vizinhanças da América do Sul no verão de 1979/1980. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6., 1990, Salvador(BA). **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1990. p. 264-268.

OBREGON-PARRAGA, G. O. **Dinâmica da variabilidade climática da precipitação sobre a América do Sul**. 2003. (INPE-8604-TDI/789). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/marciana/2003/03.24.07.14>>. Acesso em: 09 mar. 2015..

OLIVEIRA, C. P. **Interação da oscilação de Madden Julian com as Ondas de Leste Africanas e sua relação com a mudança dos padrões de ventos que atingem o norte da América do Sul**. 2013. Tese (Doutorado em Meteorologia). - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, 174p. 2013.

POHL, B.; MATTHEWS, A. J. Observed changes in the lifetime and amplitude of the Madden-Julian oscillation associated with interannual ENSO sea surface temperature anomalies. **Journal of climate**, v. 20, n. 11, p. 2659-2674, 2007.

SILVA, A. E. **Variabilidade da circulação e transporte de umidade no regime de monção da América do Sul**. 2009. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, 159 p, 2009.

VENEGAS, S. A. Statistical methods for signal detection in climate. **Danish Center for Earth System Science Report**, v. 2, p. 96, 2001.

VITORINO, M, I.; DA SILVA DIAS, P. L.; FERREIRA, N. J. Observational study of the seasonality of the submonthly and intraseasonal signal over the tropics. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 93, n. 1-2, p. 17-35, 2006.

WEICKMANN, K. M.; LUSSKY, G. R.; KUTZBACH, J. E. Intraseasonal (30-60 day) fluctuations of outgoing longwave radiation and 250 mb streamfunction during northern winter. **Monthly Weather Review**, v. 113, n. 6, p. 941-961, 1985.

WHEELER, M. C.; WEICKMANN, K. M. et al. MJO simulation diagnostics. **J. Climate**, v. 22, p. 3006–3030, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1175/2008JCLI2731.1>. Acesso em 09 de março de 2015.

WHEELER, M. C.; HENDON, H. H. An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction. **Monthly Weather Review**, v. 132, n. 8, p. 1917-1932, 2004.

ZHANG, C. Madden-Julian oscillation. **Reviews of Geophysics**, v. 43, n. 2, 2005.

ZHANG, C.; DONG, M.. Seasonality in the Madden-Julian oscillation. **Journal of climate**, v. 17, n. 16, p. 3169-3180, 2004.

APENDICE A

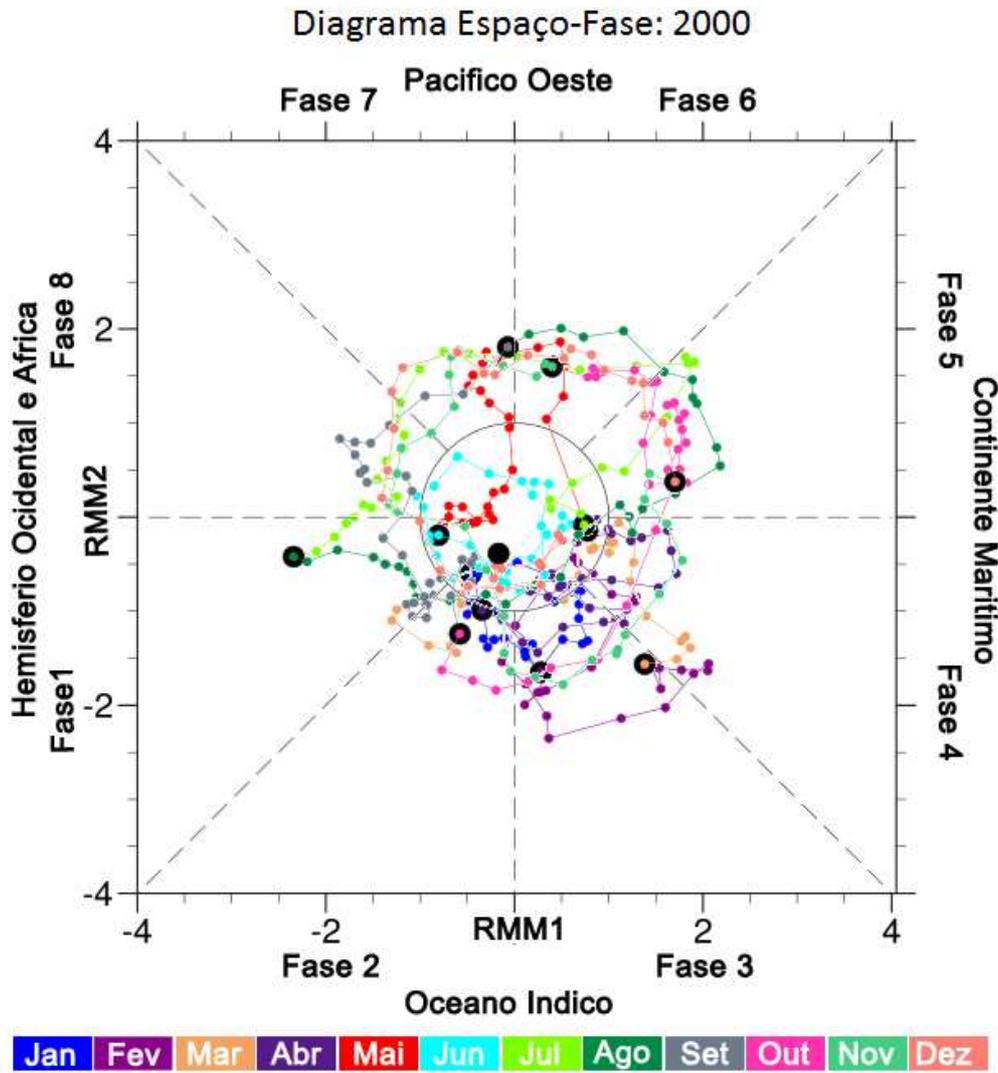


Figura A.1: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2000.

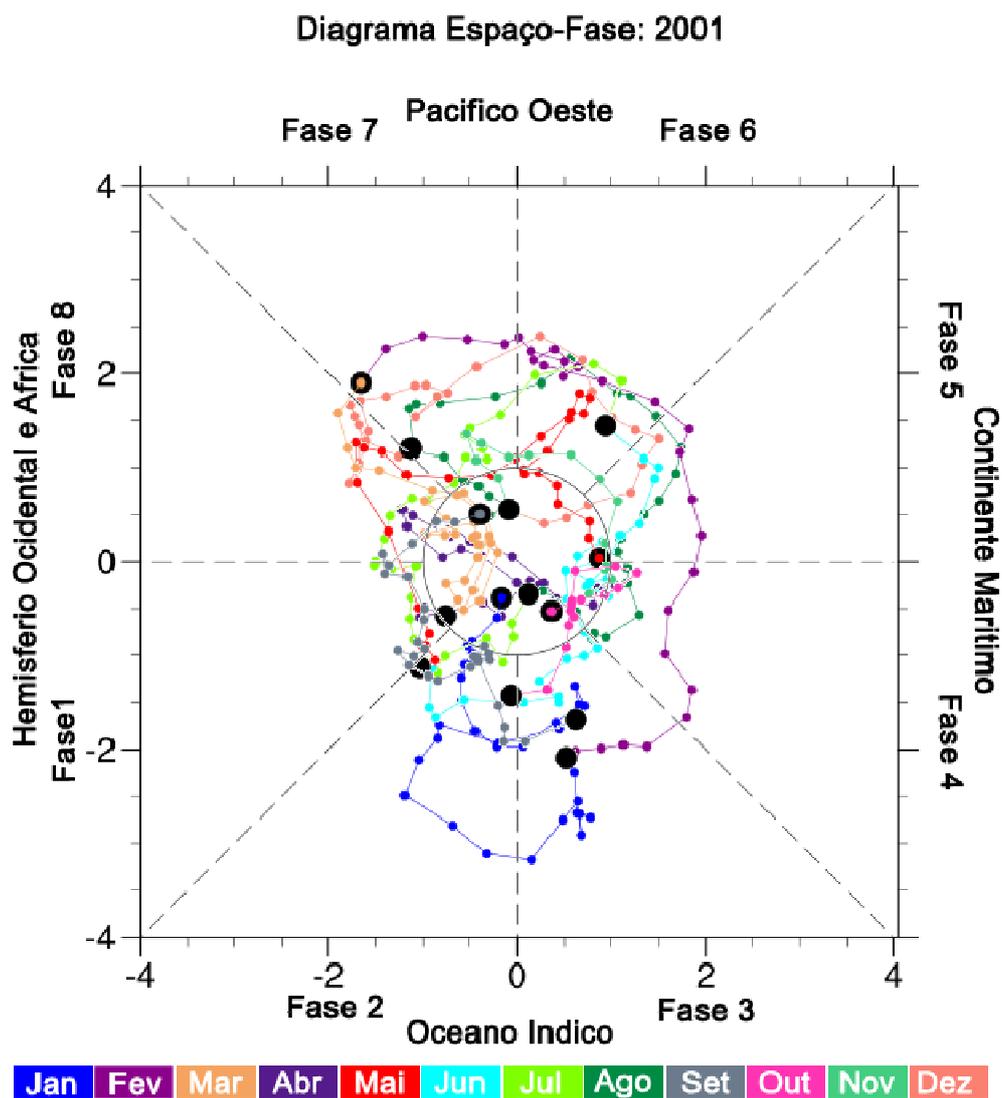


Figura A.2: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2001.

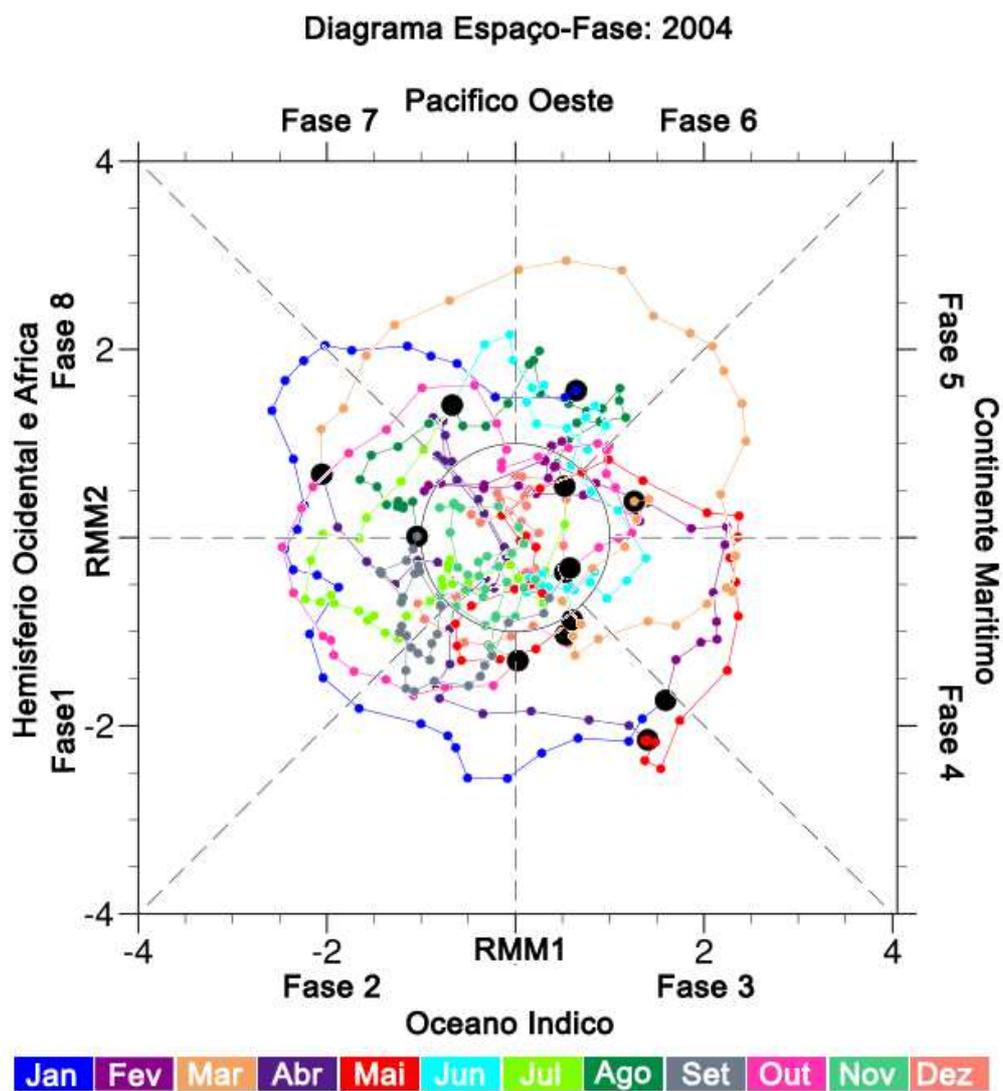


Figura A.3: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2004

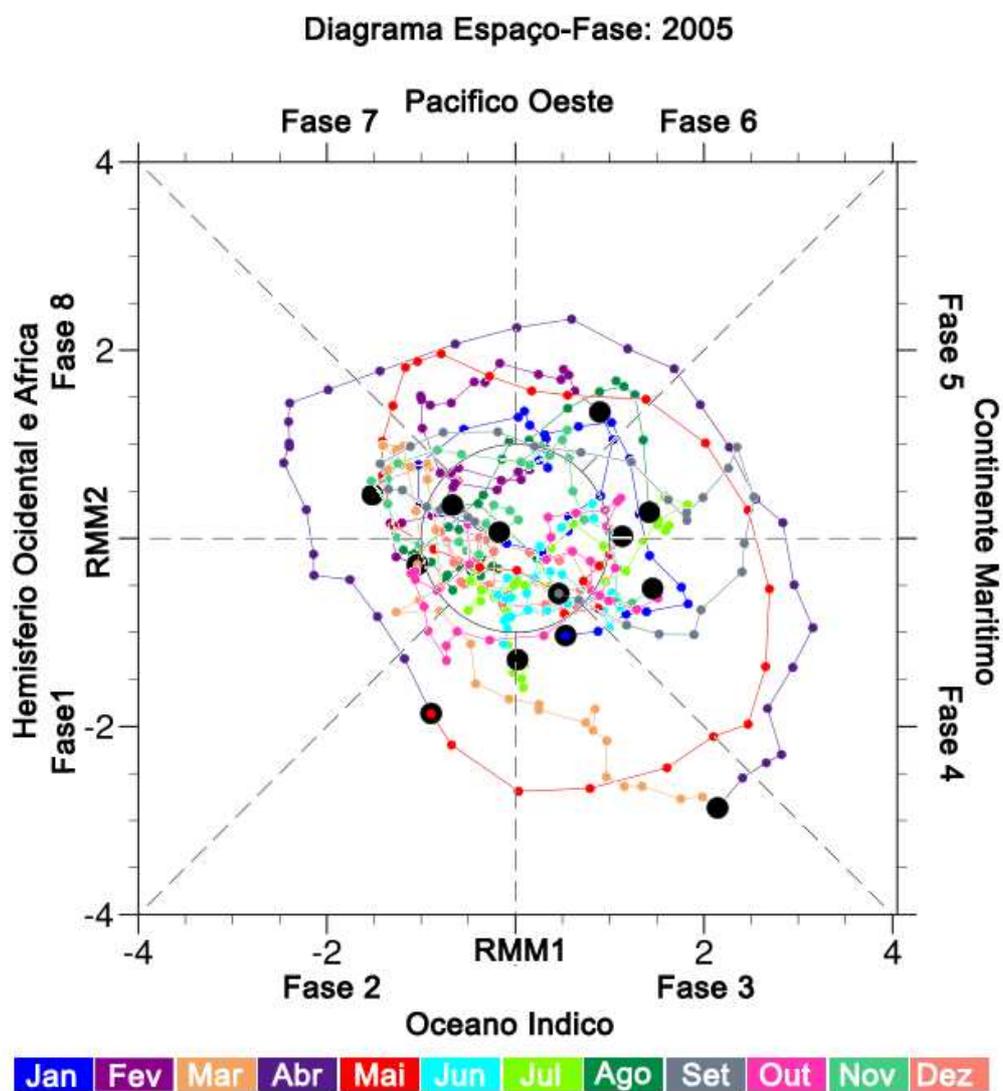


Figura A.4: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2005

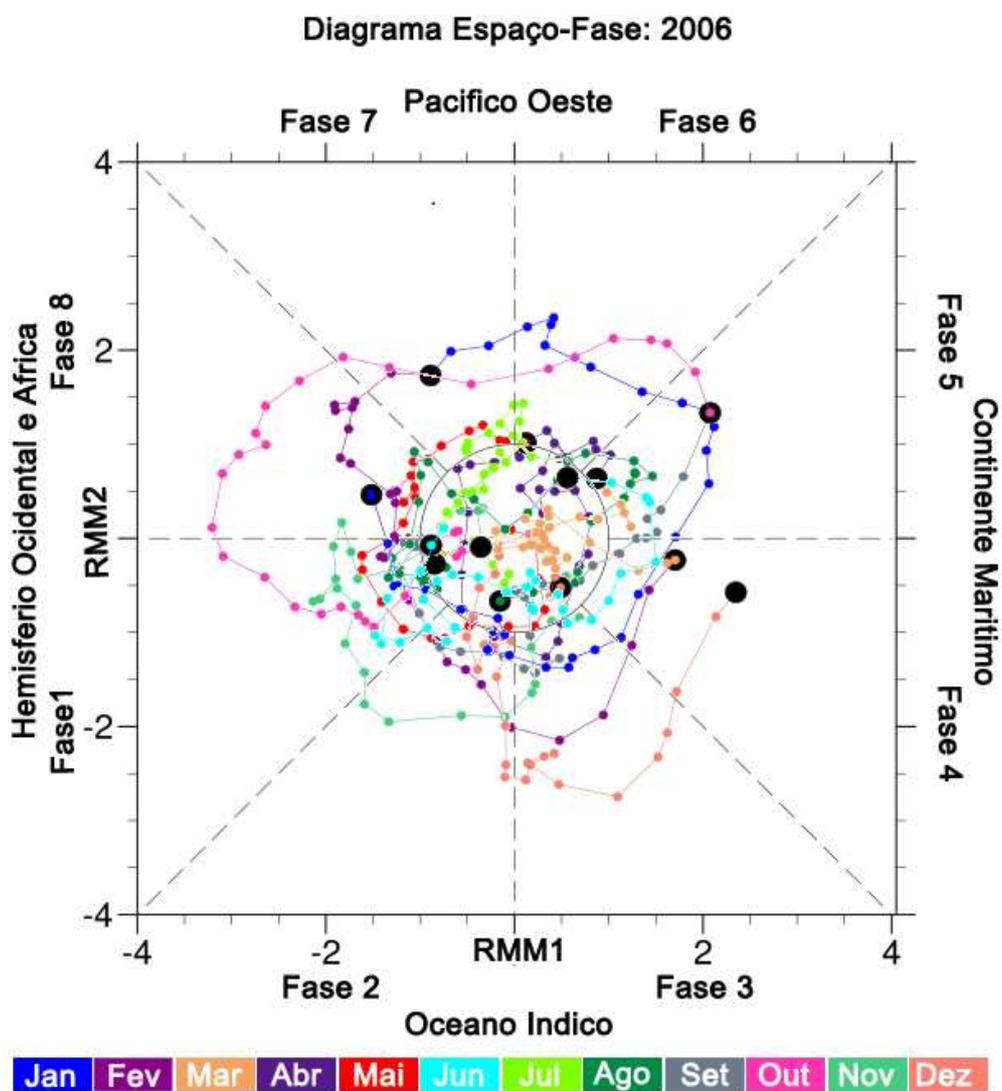


Figura A.5: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2006

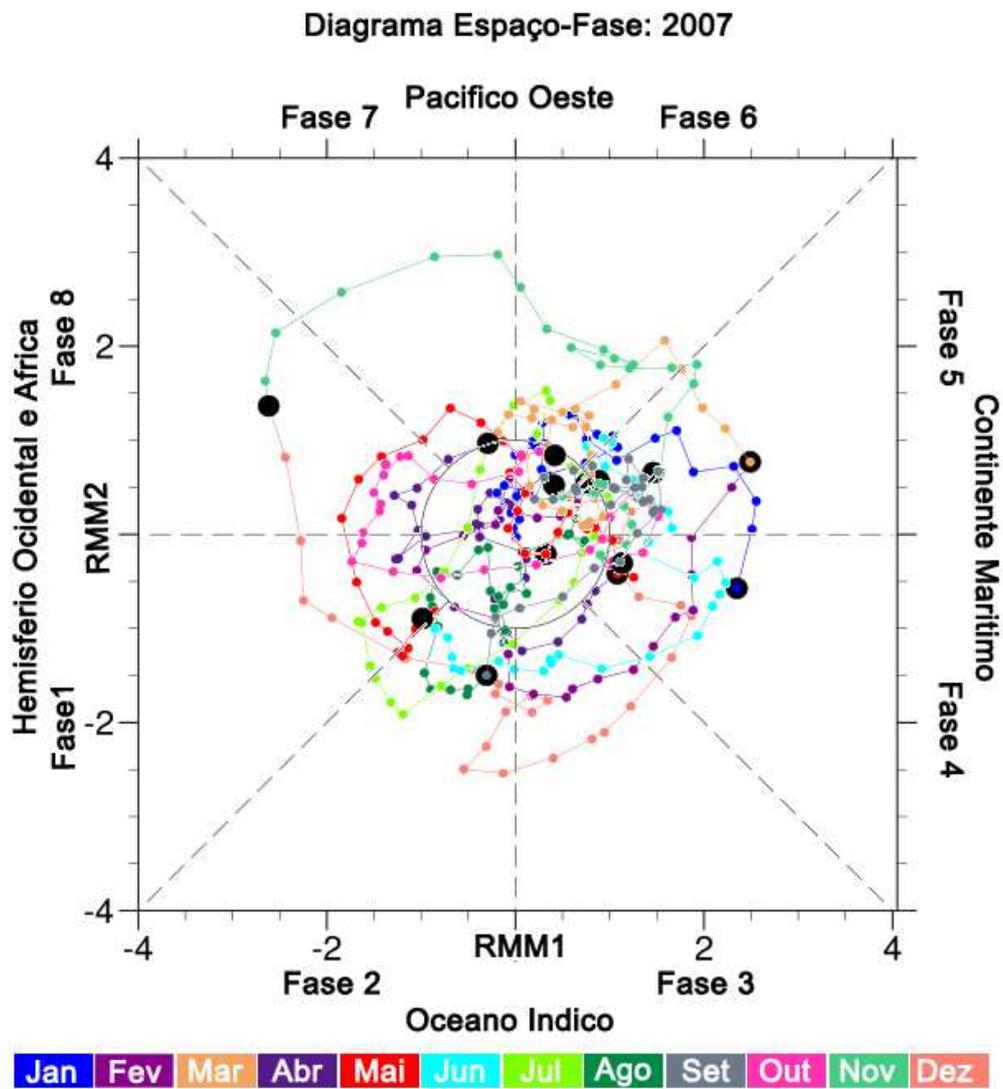


Figura A.6: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2007

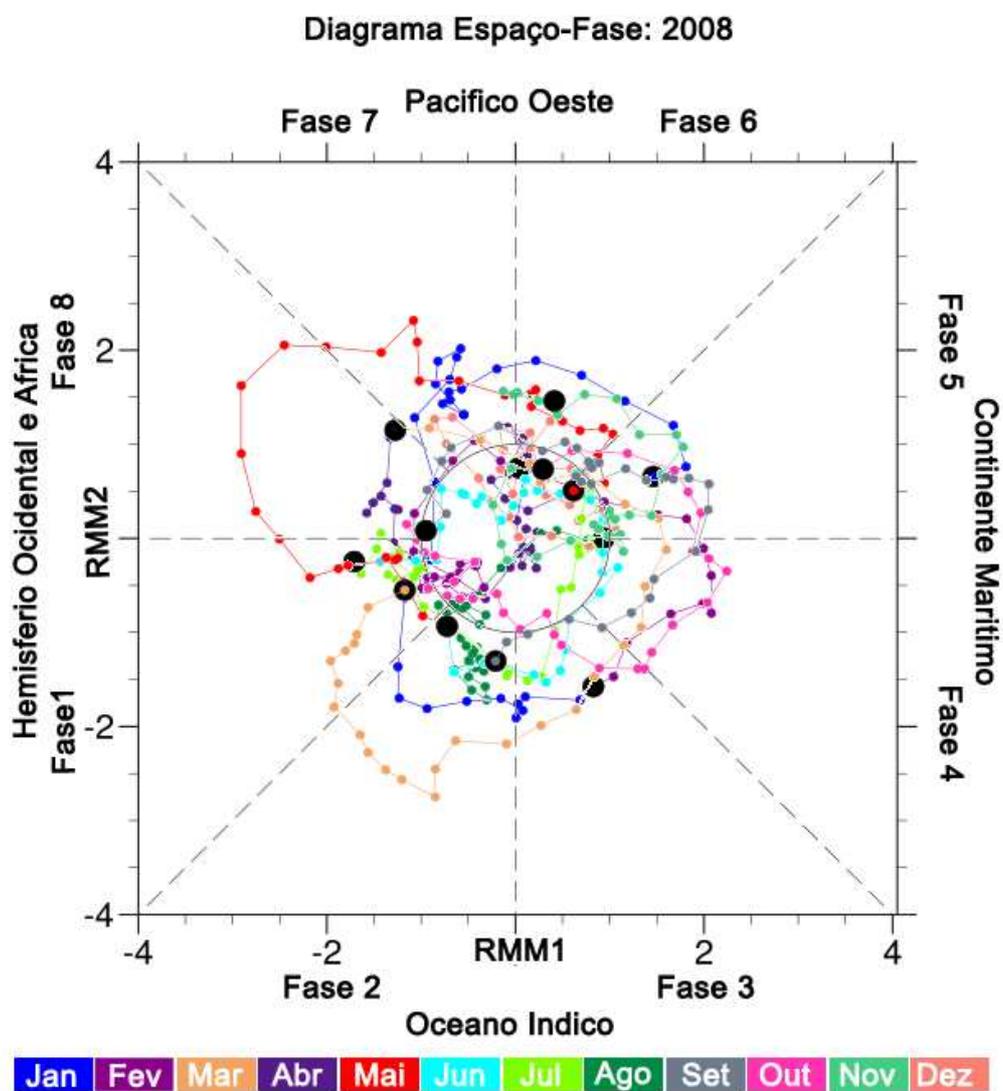


Figura A.7: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2008

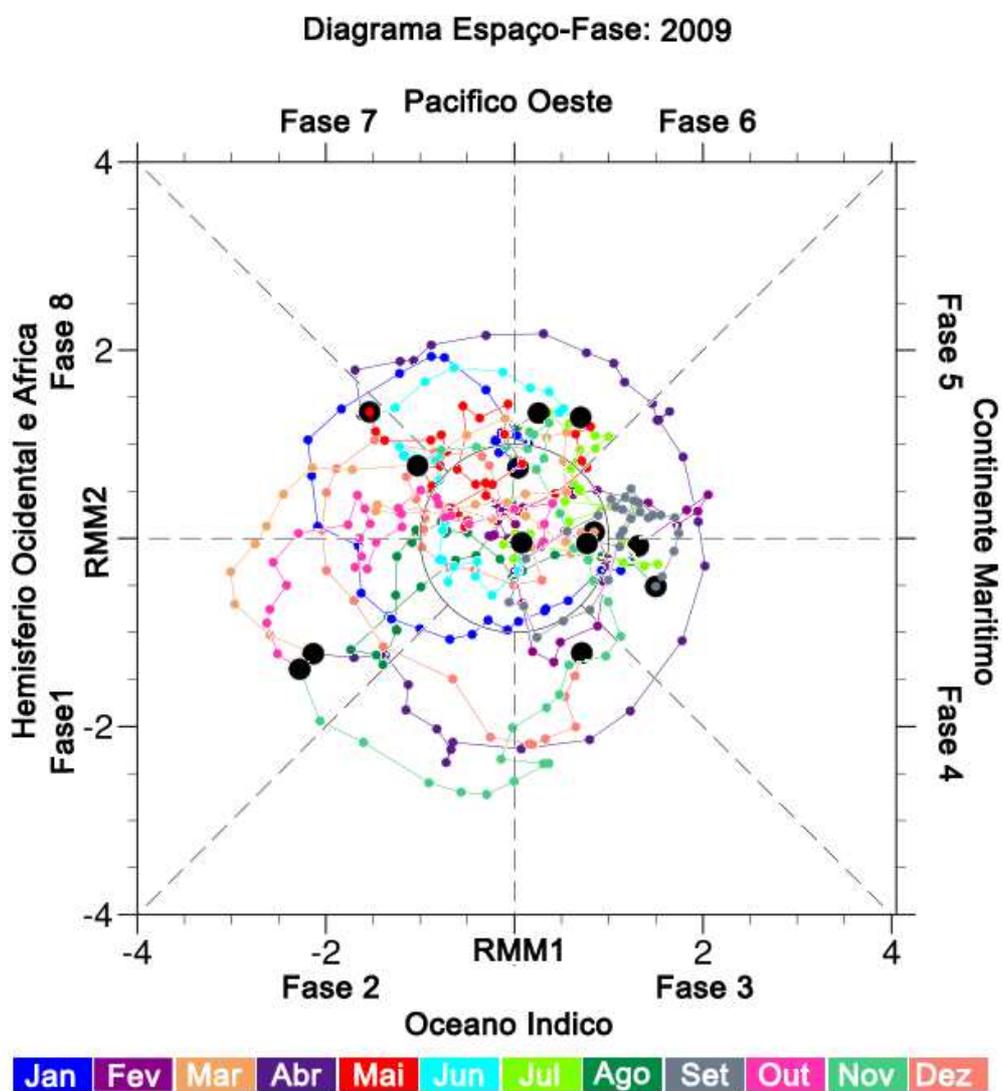


Figura A.8: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2009

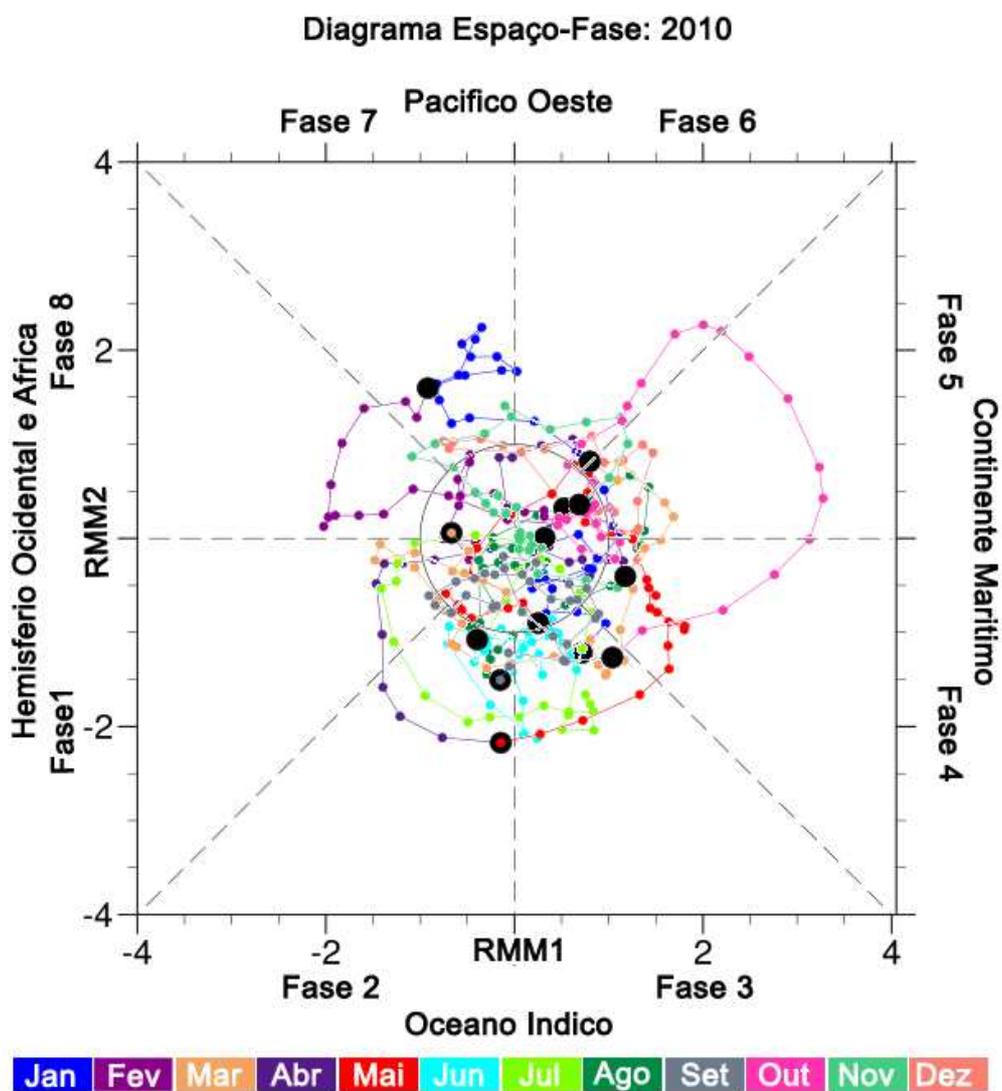
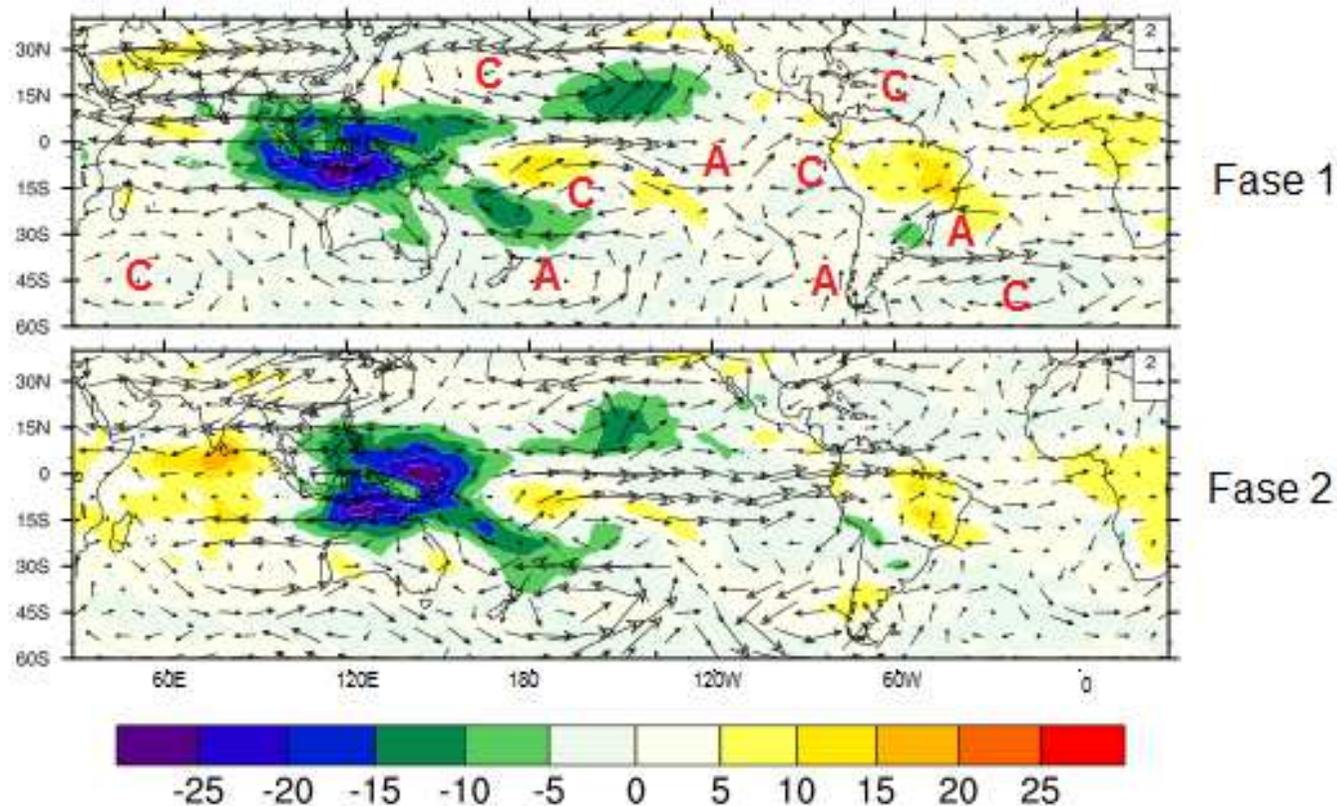


Figura A.9: Diagrama espaço-fase obtido por meio da aplicação da técnica RMM entre 60° S e 40° N, para o ano 2010.

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: Novembro a Abril - 2000 a 2010 Fase 1 e 2 - 250 hPa



APENDICE B

Figura B.1: Fase 1 e 2 da Composição do Ciclo de Vida da OMJ (OLR, u_{250} e 250) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao número de dias em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m^2 . As letras A e C referem-se a circulações Anticiclônicas e Ciclônicas, respectivamente.

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: Novembro a Abril - 2000 a 2010 Fase 3 e 4 - 250 hPa

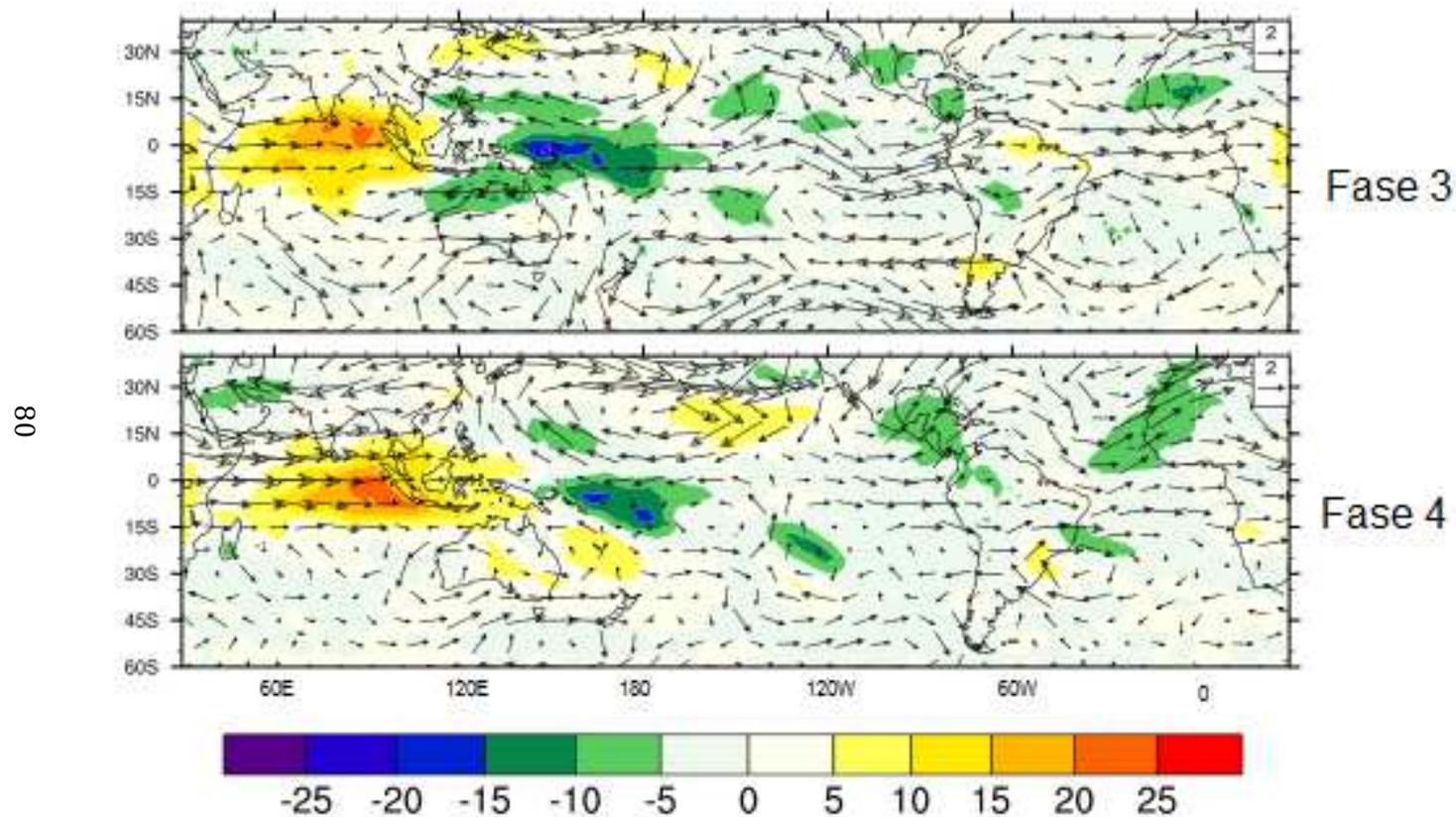


Figura B.2: Fase 1 e 2 da Composição do Ciclo de Vida da OMJ (OLR, u_{250} e 250) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao número de dias em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m^2 .

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: Novembro a Abril - 2000 a 2010 Fase 5 e 6 - 250 hPa

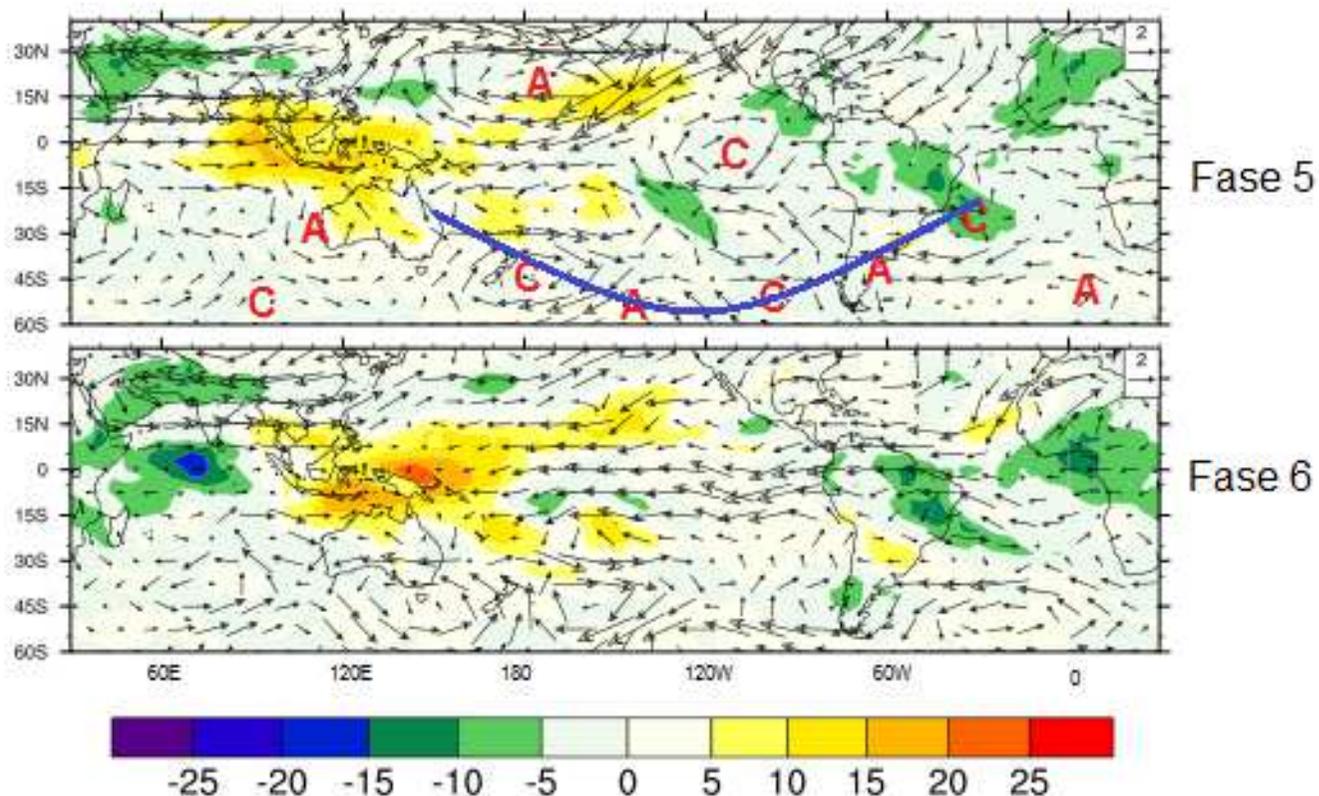


Figura B.3: Fase 1 e 2 da Composição do Ciclo de Vida da OMJ (OLR, u250 e 250) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao número de dias em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m².

Composição do Ciclo de Vida da OMJ: Novembro a Abril - 2000 a 2010 Fase 7 e 8 - 250 hPa

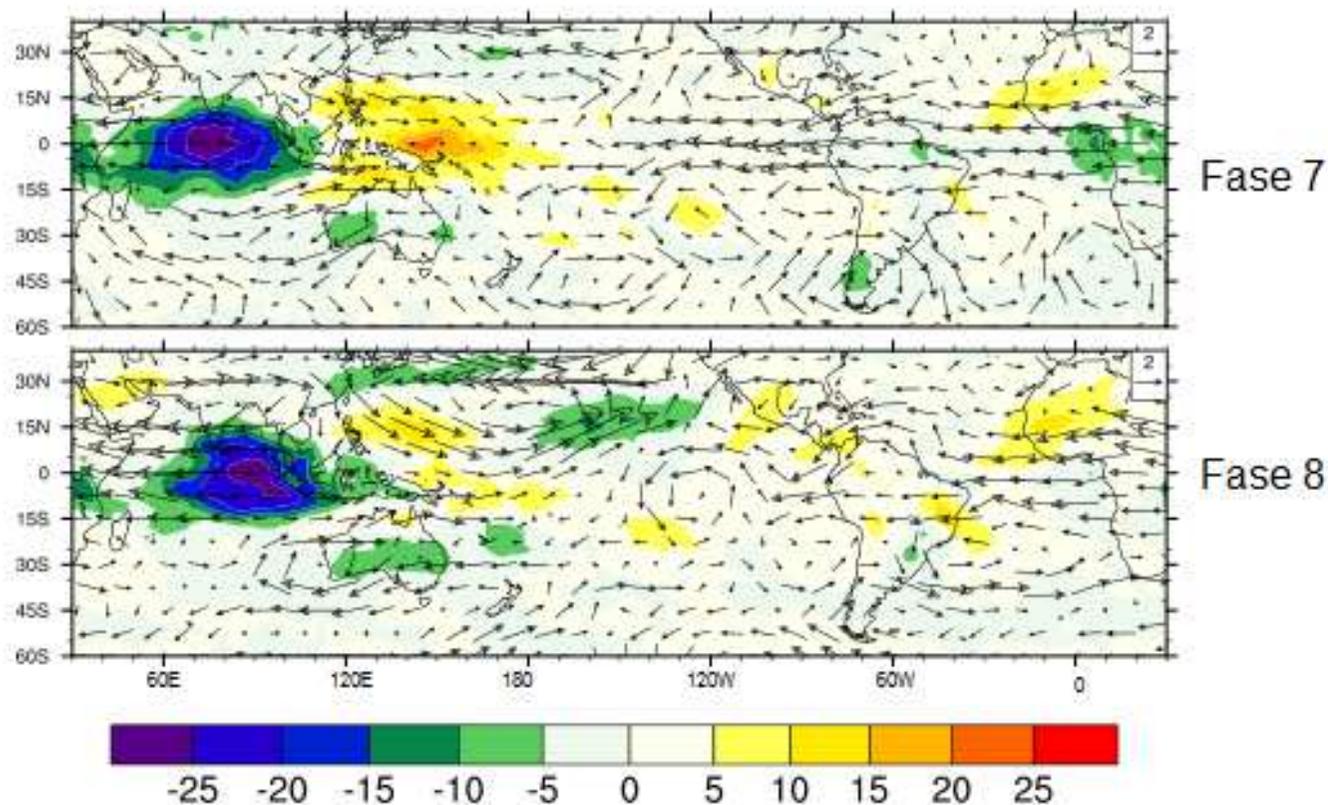


Figura B.4: Fase 1 e 2 da Composição do Ciclo de Vida da OMJ (OLR, u250 e 250) para os meses de Maio a Outubro do período de 2000 a 2010. Os dias em cada fase referem-se ao número de dias em que a OMJ atuou nas fases associadas. A legenda em cores refere-se as anomalias de ROL em W/m².