



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.24.21.46-TDI

**INFLUÊNCIAS REMOTAS NA PREVISIBILIDADE,
ESTRUTURA E CICLO DE VIDA DA ZONA DE
CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL**

Felipe Marques de Andrade

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada
pelo Dr. José Antônio Aravéquia, aprovada em 22 de fevereiro de 2011

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/398H4P8>>

INPE
São José dos Campos
2011

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

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):

Presidente:

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

Membros:

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

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

Dr^a Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

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

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

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

Deicy Farabello - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivéca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.24.21.46-TDI

**INFLUÊNCIAS REMOTAS NA PREVISIBILIDADE,
ESTRUTURA E CICLO DE VIDA DA ZONA DE
CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL**

Felipe Marques de Andrade

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada
pelo Dr. José Antônio Aravéquia, aprovada em 22 de fevereiro de 2011

URL do documento original:

<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/398H4P8> >

INPE
São José dos Campos
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

An21i Andrade, Felipe Marques de.
Influências remotas na previsibilidade, estrutura e ciclo de vida da Zona de Convergência do Atlântico Sul / Felipe Marques de Andrade. – São José dos Campos : INPE, 2011.
xxvi+149 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/02.24.21.46-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

Orientador : Dr. José Antônio Aravéquia.

1. ZCAS. 2. OMJ . 3. Teleconexões atmosféricas. 4. Ondas de Rossby. 5. Modelo barotrópico. 6. Ondeletas. I.Título.

CDU 620.1

Copyright © 2011 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2011 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

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

Dr. Dirceu Luis Herdies



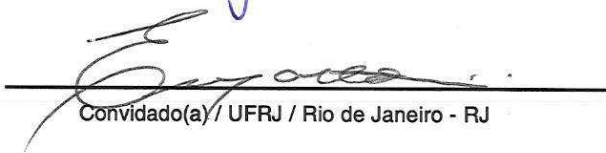
Presidente / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. José Antônio Aravéquia



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Edilson Marton



Convidado(a) / UFRJ / Rio de Janeiro - RJ

Aluno (a): Felipe Marques de Andrade

São José dos Campos, 22 de fevereiro de 2011

O MESTRE DOS MESTRES

Que o “Mestre dos Mestres” lhe ensine que nas falhas e lágrimas se esculpe a sabedoria.

Que o “Mestre da Sensibilidade” lhe ensine a contemplar as coisas simples e a navegar nas águas da emoção.

Que o “Mestre da Vida” lhe ensine a não ter medo de viver e a superar os momentos mais difíceis da sua história.

Que o “Mestre do Amor” lhe ensine que a vida é o maior espetáculo no teatro da existência.

Que o “Mestre Inesquecível” lhe ensine que os fracos julgam e desistem, enquanto os fortes compreendem e têm esperança.

Análise da inteligência de Cristo. Jesus, o maior educador da história. Volume 1 (Augusto J. Cury, 2006)

*Dedico a minha mãe, **Regina**, por todo apoio, compreensão e carinho.
Com Amor.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder a oportunidade de descobrir através dos meus estudos os Seus pensamentos escondidos nas entrelinhas da natureza.

A meu avô, Sr. Jorge, por me ajudar e me apoiar sempre.

A minha namorada, Fernanda, por ser minha amiga e companheira em todos os momentos.

A minha família e amigos por estarem sempre me apoiando e acreditando na realização de mais um sonho.

Ao Dr. José A. Aravéquia, pelos ensinamentos e a disponibilidade em ajudar em todos os momentos.

Ao Dr. Edilson Marton, por ser um grande incentivador nesta minha jornada.

Aos meus grandes amigos da minha turma de mestrado. Obrigado por estar com vocês nesta trajetória.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de estudos concedida.

RESUMO

Neste estudo é feita uma investigação sobre a modulação espacial das anomalias de convecção em episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) registrados pelos boletins mensais da Climanálise do CPTEC/INPE em 19 verões (verão estendido – outubro a março) compreendidos entre o período de 1990 e 2009. Estes eventos são divididos em três diferentes categorias, as quais são referidas como padrão Sul, Central e Norte dependendo da localização geográfica dos valores mais negativos das anomalias de Radiação de Onda Longa Emergente no topo da Atmosfera (AROLE). A identificação das regiões remotas que modulam a variabilidade intrassazonal responsável pelo desenvolvimento de cada padrão de ZCAS é feita através da análise de ondeleta cruzada e de coerência entre as séries temporais de AROLE não-filtrada extraídas de pontos remotos e a série temporal de AROLE não-filtrada obtida de um ponto base em cada área de manifestação da ZCAS. A influência do sinal intrassazonal precursor na Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) é destacada em todos os padrões, indicando possivelmente que a transferência de energia através da teleconexão ZCPS-ZCAS ocorre em defasagens que se estendem desde 2 dias até 15 dias, dependendo da escala de tempo do modo de variabilidade. Este resultado está de acordo com as informações dos campos de função de influência, calculados com um modelo barotrópico divergente, que indicam a fonte de calor na ZCPS como sendo a principal forçante remota responsável pela teleconexão trópico-extratropical que contribui para a modulação intrassazonal da ZCAS. A principal diferença verificada entre os três modos de variabilidade da ZCAS abordados neste estudo foi a influência direta da oscilação de Madden-Julian na modulação intrassazonal dos episódios localizados ao norte da climatologia, mostrando que estes eventos podem ser influenciados tanto no contexto de teleconexão trópico-trópico quanto no de teleconexão trópico-extratropical através da propagação de ondas de Rossby resultantes da fonte de convecção na região tropical e subtropical da ZCPS. Em contrapartida, os eventos deslocados ao sul da posição climatológica podem ser mais influenciados pelos distúrbios intrassazonais extratropicais resultantes da convecção acentuada na porção subtropical da ZCPS.

REMOTE INFLUENCES ON SOUTH ATLANTIC CONVERGENCE ZONE PREDICTABILITY, STRUCTURE AND LIFE CYCLE

ABSTRACT

In this study is made an investigation about spatial modulation of anomalous convection in South Atlantic Convergence Zone (SACZ) events which are reported according to CPTEC/INPE Climanálise monthly bulletins in 19 summers (extended summer – October to March), ranging from 1990 to 2009. These events are divided in three different categories, which are called South, Central and North pattern according to more negatives values position of Outgoing Longwave Radiation Anomalies (AOLR) on atmospheric top. Remote regions that produce intraseasonal variability, which are responsible to develop each SACZ pattern, are identified through cross wavelet and wavelet coherence analyses between unfiltered AOLR time series from remote points and unfiltered AOLR time series from a base point in each SACZ developing area. The influence of intraseasonal former signal on South Pacific Convergence Zone (SPCZ) is highlighted in all SACZ patterns, possibly showing that energy transference through SPCZ-SACZ teleconnection pattern happens in lags ranging from 2 days to 15 days, according to variability pattern time scale. The influence functions fields were calculated with a divergent barotropic model, showing that heat source in SCPZ would be the principal remote forcing responsible to produce SACZ intraseasonal modulation through tropics-extratropics atmospheric teleconnection. The principal difference verified in three SACZ variability patterns analyzed in this study was direct influence of Madden-Julian Oscillation on intraseasonal modulation of SACZ events occurring in the northernmost position, showing that these events can be influenced by tropics-tropics teleconnections and by tropics-extratropics teleconnections through Rossby wave propagation from tropical and subtropical heat source on SPCZ. On the other hand, it was noticed that SACZ events occurring in the southernmost position can be more influenced by an extratropical intraseasonal wavetrain resulting due to deep convection on SPCZ subtropical portion.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Primeiros três autovetores obtidos das EOF das AROLE filtradas em 30-90 dias. (a) EOF1 explica 27,2% da variância; (b) EOF2 16,7%; e (c) EOF3 11,2%.....	10
Figura 3.1 - Média da ROLE no período de novembro a fevereiro considerando a climatologia mensal de cada mês. Linha preta representa aproximadamente a posição climatológica da ZCAS.	26
Figura 3.2 - Mapa ilustrativo da localização das três áreas de estudo dos episódios de ZCAS. A área sul é representada com a letra S, a central com C e a norte com a letra N. A linha preta ilustra a posição climatológica da ZCAS.....	27
Figura 3.3 - Relação do ângulo de fase entre duas séries temporais.	37
Figura 4.1 - Gráfico ilustrando a frequência de ocorrência mensal de episódios para cada padrão de ZCAS nos meses de outubro a março do período de 1990 a 2009.....	43
Figura 4.2 - Composição da média dos 28 eventos ao longo de seus respectivos períodos de ocorrência para a AROLE (a) não-filtrada; (b) filtrada em 10-90 dias; e (c) filtrada em 2-10 dias; (d) EOF4 da AROLE filtrada em 30-90 dias (Fonte: Cunningham e Cavalcanti, 2006). Os contornos sólidos espessos indicam a linha do zero em todas as figuras. Em (d) o intervalo das anomalias é de 2 W/m^2 e os quadrados em preto representam posições preferenciais de manifestação da ZCAS..	47
Figura 4.3 - Composições dos 28 eventos para as anomalias de ROLE (sombreado), linha de corrente e vetor vento em 200 hPa filtradas em 30-60 dias para defasagens de (a) -30 dias; (b) -25 dias; (c) -20 dias; (d) -15 dias; (e) -10 dias; (f) -5 dias; e (g) 0 dia antes do início de cada evento. Apenas AROLE mais positivas (negativas) do que $2 (-2) \text{ W/m}^2$ são mostradas em sombreado escuro (claro).....	50
Figura 4.4 - (a) Temperatura de brilho média para o período de duração do evento S9 (Fonte: CPTEC/INPE); e (b) Média da AROLE não-filtrada no período de S9. O contorno sólido espesso em (b) é a linha do zero e o ponto de Lat. x Lon. para obtenção da série temporal é destacado com (+)..	53
Figura 4.5 - Análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto base $25^{\circ}\text{S}/47^{\circ}\text{W}$. (a) Série temporal da AROLE normalizada pelo desvio padrão; (b) Espectro de potência normalizado; (c) Potência média global; e (d) Partição da variância para bandas de 2-10, 10-30 e 30-60 dias. O círculo vermelho em (a) ilustra o período de duração de S9.....	54
Figura 4.6 - Diagrama de Hovmöller para a média de AROLE não-filtrada entre: (a) $10^{\circ}\text{S}-10^{\circ}\text{N}$; (b) $25^{\circ}\text{S}-10^{\circ}\text{S}$; e (c) $35^{\circ}\text{S}-25^{\circ}\text{S}$. Setas tracejadas e círculos são para destacar possíveis trajetórias de propagação e persistência dos sinais convectivos em determinadas regiões, respectivamente. Sombreado em azul (vermelho) indica convecção (inibição) anômala	56

Figura 4.7 - Análise de ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto na África equatorial e a AROLE não-filtrada em um ponto base na área sul da ZCAS. (a) Espectro cruzado de potência e ângulo de fase (vetores); e (b) Coerência da ondeleta e ângulo de fase (vetores).....	58
Figura 4.8 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto na Indonésia equatorial e a AROLE não-filtrada em um ponto na área sul da ZCAS	59
Figura 4.9 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no norte da Austrália e a AROLE não-filtrada em um ponto na área sul da ZCAS.....	60
Figura 4.10 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no centro-oeste do Pacífico sul tropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área sul da ZCAS.....	61
Figura 4.11 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no sul da Austrália e a AROLE não-filtrada em um ponto na área sul da ZCAS.....	62
Figura 4.12 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no centro-oeste do Pacífico sul subtropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área sul da ZCAS.....	63
Figura 4.13 - Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto 30°S/160°W (ZCPS). O círculo vermelho em (a) ilustra aproximadamente o período de 15 a 20 dias antes do início do evento S9.....	64
Figura 4.14 - (a) FI da anomalia de Z considerando estado básico climatológico de Janeiro para o ponto de interesse em 28°S/60°W; e (b) Média da anomalia de Z em 200 hPa no período de duração do evento S9. Em (b) contornos tracejados e sombreados em azul indicam anomalias negativas. Em (a) o ponto de interesse é indicado pelo ponto preto.....	67
Figura 4.15 - (a) Média da AROLE não-filtrada dos últimos 10 dias antes do início do evento S9; e (b) Fonte de massa positiva derivada da média da AROLE não-filtrada para o período descrito em (a).....	67
Figura 4.16 - Média da AROLE não-filtrada para os últimos (a) 40 dias; (b) 30 dias; e (c) 20 dias antes do dia inicial do evento S9.....	68
Figura 4.17 - Altura Geopotencial em 200 hPa (contornos em m/gp) dados pela integração dos resultados de FI com a fonte de massa derivada da média de AROLE não-filtrada dos 10 últimos dias antes do início do evento S9, selecionada por áreas da forçante (sombreado). A escala de cores é similar a da Fig. 4.15.(b).....	70

Figura 4.18 - Anomalias de ROLE (sombreado), vetor vento e linhas de corrente em 200 hPa filtradas em 30-60 dias para: (a) 20 dias; (b) 15 dias; (c) 10 dias; e (d) 0 dia antes do início do evento S9.....	73
Figura 4.19 - AROLE filtrada em 2-10 dias para (a) 1 dia antes do início do evento S9; (b) para o dia inicial do evento; e (c) Média da AROLE filtrada em 10-30 dias para o período de duração do evento S9.....	74
Figura 4.20 - Composição da média dos 31 eventos ao longo de seus respectivos períodos de ocorrência para a AROLE (a) não-filtrada; (b) filtrada em 10-90 dias; e (c) filtrada em 2-10 dias; (d) EOF3 da AROLE filtrada em 30-90 dias (Fonte: Cunningham e Cavalcanti (2006)). Os contornos sólidos espessos indicam a linha do zero em todas as figuras. Em (d) o intervalo das anomalias é de 2 W/m^2 e os quadrados em preto representam posições preferenciais de manifestação da ZCAS.....	78
Figura 4.21 - Composições dos 31 eventos para as anomalias de ROLE (sombreado), linha de corrente e vetor vento em 200 hPa filtradas em 30-60 dias em defasagens de (a) -30 dias; (b) -25 dias; (c) -20 dias; (d) -15 dias; (e) -10 dias; (f) -5 dias; e (g) 0 dia antes do início de cada evento. Apenas AROLE mais positivas (negativas) do que $2 (-2) \text{ W/m}^2$ são mostradas em sombreado escuro (claro).....	80
Figura 4.22 - (a) Temperatura de brilho média para o período de duração do evento C19 (Fonte: CPTEC/INPE); e (b) Média da AROLE não-filtrada ao longo do período de ocorrência do evento C19. O contorno sólido espesso em (b) é a linha do zero e o ponto de Lat. x Lon. para obtenção da série temporal é destacado com (+)	83
Figura 4.23 - Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto base em $17^{\circ}\text{S}/37^{\circ}\text{W}$. O círculo vermelho em (a) ilustra o período de duração do evento C19.....	84
Figura 4.24 - Como na Fig. 4.6.....	86
Figura 4.25 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no Índico central equatorial e a AROLE não-filtrada em um ponto na área central da ZCAS.....	89
Figura 4.26 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no oeste do Pacífico equatorial e a AROLE não-filtrada em um ponto na área central da ZCAS.....	89
Figura 4.27 - Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto $0/170^{\circ}\text{E}$. O círculo vermelho em (a) ilustra aproximadamente o período de 15 a 20 dias antes do início do evento C19.....	90
Figura 4.28 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no oeste do Pacífico sul tropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área central da ZCAS.....	92

Figura 4.29 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no Pacífico sul central tropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área central da ZCAS.....	92
Figura 4.30 - Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto 15°S/145°W. O círculo vermelho em (a) ilustra aproximadamente o período de 15 a 20 dias antes do início do evento C19.....	93
Figura 4.31 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no Pacífico sul central subtropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área central da ZCAS.....	94
Figura 4.32 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no centro-leste do Pacífico sul subtropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área central da ZCAS.....	95
Figura 4.33 - Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto 30°S/145°W. O círculo vermelho em (a) ilustra aproximadamente o período 15 a 20 dias antes do início do evento C19.....	96
Figura 4.34 - (a) FI da anomalia de Z considerando estado básico climatológico de Novembro para o ponto de interesse em 28°S/30°W; (b) Média da anomalia de Z em 200 hPa no período de duração do evento C19; e (c) Como na letra (a), mas considerando estado básico climatológico de Janeiro. Em (b) contornos tracejados e sombreados em azul indicam anomalias negativas. Em (a) e (c) o ponto de interesse é indicado pelo ponto preto.....	97
Figura 4.35 - (a) Média da AROLE não-filtrada dos últimos 10 dias antes do início do evento C19; e (b) Fonte de massa positiva derivada da média de AROLE não-filtrada para o período descrito em (a).....	99
Figura 4.36 - Média da AROLE não-filtrada para os últimos (a) 40 dias; (b) 30 dias; e (c) 20 dias antes do dia inicial do evento C19.....	100
Figura 4.37 - Altura Geopotencial em 200 hPa (contornos em mgp) dados pela integração dos resultados de FI com a fonte de massa derivada da AROLE média dos 10 últimos dias antes do início do evento C19, selecionada por áreas da forçante (sombreado). A escala de cores é similar a da Fig. 4.35.(b).....	101
Figura 4.38 - Anomalias de ROLE (sombreado), vetor vento e linhas de corrente em 200 hPa filtradas em 30-60 dias para: (a) 20 dias; (b) 15 dias; (c) 10 dias; e (d) 0 dia antes do início do evento C19.....	105
Figura 4.39 - AROLE filtrada em 2-10 dias para (a) 1 dia antes do início do evento C19; (b) para o dia inicial do evento; e (c) Média da AROLE filtrada em 10-30 dias para o período de duração do evento C19.....	106

- Figura 4.40 - Composição da média dos 22 eventos ao longo de seus respectivos períodos de ocorrência para a AROLE (a) não-filtrada; (b) filtrada em 10-90 dias; e (c) filtrada em 2-10 dias; (d) EOF2 da AROLE filtrada em 30-90 dias (Fonte: Cunningham e Cavalcanti (2006)). Os contornos sólidos espessos indicam a linha do zero em todas as figuras. Em (d) o intervalo das anomalias é de 2 W/m^2 e os quadrados em preto representam posições preferenciais de manifestação da ZCAS.....109
- Figura 4.41 - Composições dos 22 eventos para as anomalias de ROLE (sombreado), linha de corrente e vetor vento em 200 hPa filtradas em 30-60 dias em defasagens de (a) -30 dias; (b) -25 dias; (c) -20 dias; (d) -15 dias; (e) -10 dias; (f) -5 dias; e (g) 0 dia antes do início de cada evento. Apenas AROLE mais positivas (negativas) do que $2 (-2) \text{ W/m}^2$ são mostradas em sombreado escuro (claro).....112
- Figura 4.42 - (a) Temperatura de brilho média para o período de duração do evento N16 (Fonte: CPTEC/INPE); e (b) Média da AROLE não-filtrada no período do evento N16. O contorno sólido espesso em (b) é a linha do zero e o ponto de Lat. x Lon. para obtenção da série temporal é destacado com (+).....114
- Figura 4.43 - Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto base em $12^{\circ}\text{S}/37^{\circ}\text{W}$. O círculo vermelho em (a) ilustra o período de duração do evento N16.....116
- Figura 4.44 - Como na Fig. 4.6.....117
- Figura 4.45 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no oeste do Pacífico equatorial e a AROLE não-filtrada em um ponto na área norte da ZCAS.....120
- Figura 4.46 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no Pacífico central equatorial e a AROLE não-filtrada em um ponto na área norte da ZCAS.....121
- Figura 4.47 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no oeste do Pacífico sul tropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área norte da ZCAS.....122
- Figura 4.48 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no centro-leste do Pacífico sul tropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área norte da ZCAS.....123
- Figura 4.49 - Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto $15^{\circ}\text{S}/130^{\circ}\text{W}$. O círculo vermelho em (a) ilustra o período de 5 a 10 dias antes do pico de máxima amplitude negativa de AROLE observada ao longo do período de duração do evento N16.....124
- Figura 4.50 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no centro do Pacífico sul subtropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área norte da ZCAS.....125

Figura 4.51 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no centro-leste do Pacífico sul subtropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área norte da ZCAS.....	126
Figura 4.52 - Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto 30°S/150°W. O círculo vermelho em (a) ilustra o período de 10 a 15 dias antes do início do evento N16.....	126
Figura 4.53 - (a) FI da anomalia de Z considerando estado básico climatológico de janeiro para o ponto de interesse em 28°S/40°W; e (b) Média da anomalia de Z em 200 hPa no período de duração do evento N16. Em (b) contornos tracejados e sombreados em azul indicam anomalias negativas. Em (a) o ponto de interesse é indicado pelo ponto preto.....	129
Figura 4.54 - (a) Média da AROLE não-filtrada dos últimos 10 dias antes do início do evento N16; e (b) Fonte de massa positiva derivada da média de AROLE não-filtrada para o período descrito em (a).....	129
Figura 4.55 - Média da AROLE não-filtrada para os últimos (a) 40 dias; (b) 30 dias; e (c) 20 dias antes do dia inicial do evento N16.....	130
Figura 4.56 - Altura Geopotencial em 200 hPa (contornos em mgp) dados pela integração dos resultados de FI com a fonte de massa derivada da AROLE média dos 10 últimos dias antes do início do evento N16, selecionada por áreas da forçante (sombreado). A escala de cores é similar a da Fig. 4.54.(b).....	131
Figura 4.57 - Anomalias de ROLE (sombreado), vetor vento e linhas de corrente em 200 hPa filtradas em 30-60 dias para: (a) 20 dias; (b) 15 dias; (c) 5 dias; e (d) 0 dia antes do início do evento N16.....	135
Figura 4.58 - AROLE filtrada em 2-10 dias para (a) 1 dia antes do início do evento N16; (b) para o dia inicial do evento; e (c) Média da AROLE filtrada em 10-30 dias para o período de duração do evento N16.....	136

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1 – Descrição do conjunto de dados utilizados.....	24
Tabela 4.1 - Número de ocorrência mensal de episódios de ZCAS para os meses de outubro a março do período de 1990 a 2009.....	42
Tabela 4.2 - Episódios de ZCAS ocorridos na área sul.....	45
Tabela 4.3 - Episódios de ZCAS ocorridos na área central.....	75
Tabela 4.4 - Episódios de ZCAS ocorridos na área norte.....	107

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AROLE	- Anomalia de ROLE
AS	- América do Sul
CPTEC	- Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
CT	- Convecção tropical
CWT	- Continuous Wavelet Transform
ENOS	- El Niño – Oscilação Sul
EOF	- Empirical Orthogonal Function
FI	- Função de Influência
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MBED	- Modelo barotrópico espectral divergente
mgp	- Metro geopotencial
m/s	- Metro por segundo
NCAR	- National Centers for Environmental Prediction
NCEP	- National Center for Atmospheric Research
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
OMJ	- Oscilação de Madden-Julian
PNA	- Pacific-North American Pattern
PSA	- Pacific-South American Pattern
ROLE	- Radiação de onda longa emergente
TSM	- Temperatura da Superfície do Mar
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical
ZCPS	- Zona de Convergência do Pacífico Sul
ZCS	- Zona de Convergência Subtropical
ZPS	- Zona de Precipitação Subtropical
W/m ²	- Watt por metro ao quadrado

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Zonas de convergência subtropicais.....	3
2.2 Variabilidade intrassazonal e a modulação da ZCAS: Aspectos gerais.....	6
2.3 Oscilação de Madden-Julian	7
2.4 Ondas de Rossby e as teleconexões trópico-extratropical.....	11
3 DADOS E MÉTODOS	23
3.1 Dados.....	23
3.2 Métodos de análise	24
3.2.1 Aspectos gerais	24
3.2.2 Cálculo das anomalias	25
3.2.3 Determinação dos padrões de variabilidade da ZCAS	25
3.2.4 Modelo barotropical divergente e as funções de influência.....	29
3.2.5 Análise de ondeletas	33
3.2.5.1 Transformada de ondeleta contínua.....	33
3.2.5.2 Ondeleta cruzada, coerência e ângulo de fase	34
3.2.6 Filtro de Lanczos	38
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
4.1 Análise estatística dos padrões de ZCAS	41
4.2 Padrão Sul.....	44
4.2.1 Comportamento médio	46
4.2.1.1 Distribuição horizontal da AROLE	46
4.2.1.2 Oscilação de 30-60 dias	48
4.2.2 Estudo de caso: ZCAS S9.....	52
4.3 Padrão Central.....	75
4.3.1 Comportamento médio.....	76
4.3.1.1 Distribuição horizontal da AROLE.....	76
4.3.1.2 Oscilação de 30-60 dias.....	78

4.3.2 Estudo de caso: ZCAS C19.....	82
4.4 Padrão Norte.....	107
4.4.1 Comportamento médio.....	108
4.4.1.1 Distribuição horizontal da AROLE.....	108
4.4.1.2 Oscilação de 30-60 dias.....	110
4.4.2 Estudo de caso: ZCAS N16.....	114
5 CONCLUSÕES.....	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145

1 INTRODUÇÃO

A variabilidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um tópico extremamente interessante, pois abrange a manifestação e a interação de oscilações atmosféricas em diferentes escalas de tempo e espaço, conferindo certo grau de complexidade no assunto. Esta linha de pesquisa tem mostrado que ao longo de uma mesma estação de verão a ZCAS apresenta diferentes estruturas espaciais, destacando a ação de distintos padrões de variabilidade intrassazonais que podem modular o aspecto físico e energético do fenômeno.

Climatologicamente a ZCAS é caracterizada como uma persistente faixa de nuvens com orientação noroeste-sudeste que conecta o sul da região Amazônica com a porção oeste do Atlântico sul subtropical apresentando uma duração mínima de pelo menos quatro dias com comportamento quase-estacionário durante o verão austral (QUADRO, 1993). Imagens de satélite, campos de radiação de onda longa emergente no topo da atmosfera (ROLE) e de precipitação auxiliam na identificação sinótica e climatológica deste sistema.

O interesse em estudar especificamente o comportamento intrassazonal da ZCAS vem do fato de que este é o sistema atmosférico de grande escala dominante durante o verão austral sobre a América do Sul (AS), sendo responsável por modular grande parte da quantidade de precipitação nas regiões tropicais e subtropicais ao longo de uma mesma estação do ano (CARVALHO et al., 2004). O estudo da variabilidade intrassazonal está associado com a influência de padrões de teleconexões atmosféricas que mostram como anomalias que ocorrem em algumas regiões podem afetar o clima e o tempo em regiões remotas. Destaca-se no contexto das teleconexões do tipo trópico-trópico a influência da oscilação de Madden-Julian (OMJ) sobre o comportamento espacial da ZCAS (CASTRO, 2009). Alguns estudos observacionais também têm abordado a importância das teleconexões do tipo trópico-extratropical sobre a modulação da ZCAS, enfatizando principalmente as relações existentes entre a propagação tropical da OMJ, o estabelecimento do escoamento anômalo extratropical

resultante e o conseqüente desenvolvimento preferencial da ZCAS em uma determinada localização geográfica (CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006).

Uma melhoria no potencial de previsibilidade da estrutura espacial da ZCAS, tanto em intensidade quanto em posicionamento, necessita, por exemplo, de uma investigação mais detalhada dos mecanismos físicos remotos que estariam modulando o fenômeno. Neste sentido, o objetivo principal desse estudo é identificar quais regiões remotas do globo comportam-se eficientemente como forçantes da variabilidade intrassazonal responsáveis em modular a ZCAS em todo o ciclo de vida. Esta linha de pesquisa é analisada basicamente através do uso das funções de influência calculadas com um modelo barotrópico divergente, permitindo verificar as regiões em que as anomalias de convecção contribuem para o desenvolvimento de distúrbios extratropicais que, conseqüentemente, propagam-se em direção as áreas de manifestação da ZCAS. O conhecimento com certo tempo de antecedência do sinal intrassazonal precursor que posteriormente atinge a área de manifestação da ZCAS é fundamental para um aperfeiçoamento da previsão de médio e longo prazo desse fenômeno. Por este motivo, justifica-se o uso da análise de ondas para determinação de como os principais modos de variabilidade variam no tempo, permitindo rastrear juntamente com a análise das funções de influência as trajetórias preferenciais de propagação nos trópicos e extratropicais das oscilações intrassazonais que promovem o desenvolvimento da ZCAS.

A escolha desta metodologia buscará auxiliar na previsibilidade e no entendimento do ciclo de vida das diferentes estruturas espaciais da ZCAS, verificando qual o índice de acerto a médio e longo prazo.

O Capítulo 2 descreve uma revisão bibliográfica que aborda as principais características das zonas de convergência subtropicais, com ênfase na ZCAS, além de trabalhos diretamente relacionados com os mecanismos de teleconexões intrassazonais do tipo trópico-trópico e trópico-extratropical que influenciam na formação da ZCAS. No Capítulo 3 apresentam-se os dados a serem utilizados e os métodos de análise, enquanto no Capítulo 4 mostram-se os resultados obtidos. Finalmente no Capítulo 5, apresentam-se as conclusões da pesquisa e as recomendações para estudos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo inicialmente apresenta-se uma revisão sobre as características intrínsecas das zonas de convergência subtropicais estudadas por Kodama (1992; 1993), destacando especialmente as características associadas com a ZCAS. Posteriormente são discutidos os principais aspectos da variabilidade atmosférica intrassazonal enfatizando o processo de geração e propagação das ondas de Rossby no contexto de teleconexões do tipo trópico-extratropical. As influências da propagação da OMJ relacionadas com a manifestação da ZCAS também são descritas.

2.1 Zonas de convergência subtropicais

Kodama (1992; 1993) investigou o comportamento das principais Zonas de Precipitação Subtropicais (ZPS) em ambos os hemisférios, as quais ele denominou de Zonas de Convergência Subtropicais (ZCS), pois apresentaram características intrínsecas que diferiram das clássicas zonas frontais polares e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Segundo Kodama (1992), as zonas de precipitação contidas no cinturão subtropical são responsáveis pela modulação de grande parte da quantidade de precipitação durante o verão de ambos os hemisférios quando estão ativas. Kodama (1992) analisou especificamente as principais características das porções subtropicais das ZCS e verificou que apenas três sistemas apresentaram uma estrutura bem definida com amplos valores anuais de precipitação durante a fase ativa. Estas ZCS são referidas como ZCAS, Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e Zona Frontal de Baíu ou “Baíu Frontal Zone”. Segundo Stretten (1973), a ZCAS se manifesta na porção oeste do Atlântico sul subtropical, enquanto a ZCPS na região centro-oeste do Pacífico sul. A “Baíu Frontal Zone” tem o seu desenvolvimento na parte leste da Ásia e oeste do Pacífico norte (KATO E KODAMA, 1992).

Dentre as principais características apresentadas pelas ZCS, Kodama (1992) destacou a importante presença da corrente de jato na dianteira de um cavado que se propaga em direção aos subtropicais na média e alta troposfera localizado a sudeste (nordeste) do máximo de convecção tropical (CT) no hemisfério sul (norte), contribuindo para intensificação da frontogênese em superfície. Oliveira (1986)

comentou que a incursão de sistemas frontais oriundos de latitudes médias auxilia na intensificação da CT na Amazônia e Brasil central em diferentes bandas latitudinais, especialmente entre 35°S e 20°S. Posteriormente, Quadro (1993) e Figueroa (1999) verificaram que um dos principais mecanismos que auxilia no estabelecimento e manutenção de um episódio de ZCAS é a interação de um sistema frontal com a CT do Brasil central, possibilitando a organização da estrutura noroeste-sudeste da faixa de nuvens. Figueroa (1999) em seu estudo observacional e de modelagem dos principais sistemas de circulação de verão atuantes sobre a AS observou que as oscilações transientes de número de onda zonal 5 e 6 apresentam influências sobre a ZCAS com período médio entre 8 e 10 dias, confirmando a importância dos sistemas frontais no desenvolvimento deste fenômeno.

Além da interação dos sistemas frontais com a CT e com a corrente de jato fluindo em altos níveis, o escoamento em direção ao Pólo na borda sudoeste (noroeste) das altas subtropicais do hemisfério sul (norte) apresenta um papel importante para o transporte de umidade proveniente da região tropical em direção as porções subtropicais das zonas de convergência analisadas por Kodama (1992). Segundo Kodama (1992), este escoamento é intensificado quando o gradiente de pressão para leste aumenta entre a baixa térmica associada ao regime de monção de verão e a alta subtropical. O autor ainda comentou que quando uma das características descritas anteriormente não está presente, a ZPS aparece menos ativa e com persistência reduzida, não sendo referida como ZCS.

Quadro (1993) investigou episódios de ZCAS que ocorreram durante o período de 1980 a 1989 entre os meses de dezembro e fevereiro utilizando alguns critérios para a seleção dos episódios, como por exemplo, a análise de imagens de satélite para a identificação de persistentes faixas de nuvens quase-estacionárias com orientação noroeste-sudeste conectando o sul da bacia Amazônica com a porção oeste do Atlântico sul subtropical, apresentando permanência de pelo menos quatro dias em uma determinada região. Ele também utilizou dados meteorológicos de superfície e altitude, além de informações de persistência de precipitação para identificação dos casos de ZCAS. Através de todas estas informações, Quadro (1993) constatou que a ZCAS climatologicamente se estaciona entre o norte do Paraná e o sul da Bahia, podendo se

manifestar em outras localizações com menor frequência de ocorrência. Os episódios selecionados por Quadro (1993) foram divididos em três pântadas (onde uma pântada representa uma média temporal de 5 dias de uma determinada variável), sendo a segunda representativa do máximo de atividade convectiva na região da ZCAS, referida como pântada central. Os campos meteorológicos analisados foram temperatura do ar, vorticidade relativa, altura geopotencial, vetor vento, velocidade vertical, divergência horizontal, umidade relativa e específica e temperatura potencial equivalente. A partir desta análise, Quadro (1993) selecionou as pântadas representativas da manifestação da ZCAS que apresentaram as seguintes características, destacadas principalmente na pântada central:

- (A) Presença de um sistema frontal, oriundo de latitudes médias, na região subtropical do Atlântico sul, contribuindo para fortalecer ou ativar a CT no continente e, conseqüentemente, organizar a faixa de nuvens com orientação noroeste-sudeste;
- (B) Convergência de umidade tropical e subtropical na baixa e média troposfera na região onde se localiza a faixa de nuvens;
- (C) Faixa de movimento ascendente na média troposfera na dianteira de um cavado quase-estacionário que se propaga em direção aos subtropicais na média e alta troposfera apresentando uma orientação noroeste-sudeste;
- (D) Presença da corrente de jato subtropical em altos níveis fluindo na dianteira do cavado, auxiliando na intensificação da frontogênese em superfície e na caracterização baroclínica da porção subtropical da ZCAS;
- (E) Presença de um gradiente de temperatura potencial equivalente na média troposfera e de razão de mistura na baixa troposfera ligeiramente ao sul da banda de nuvens. Caracterização da ZCAS como uma delimitação de duas massas de ar que evidenciam aspectos termodinâmicos distintos, indicando a presença de instabilidade convectiva;
- (F) Ocorrência de precipitação persistente com a mesma orientação da ZCAS;
- (G) Faixa de vorticidade anticiclônica em 200 hPa ao longo da ZCAS em associação com a liberação de calor latente na região da faixa de nuvens.

Algumas destas características também foram observadas por Kodama (1992; 1993) em seu estudo sobre as ZCS, o que contribui para uma análise intrínseca mais

detalhada do ponto de vista observacional e de modelagem destes sistemas de circulação de verão, especialmente a ZCAS.

2.2 Variabilidade intrassazonal e a modulação da ZCAS: Aspectos gerais

Figuerola (1999) verificou que a ZCAS se estabelece e se mantém basicamente pela interação da CT de monção com a incursão de um sistema frontal nos subtrópicos do Atlântico sul, apresentando um período médio de 8 a 10 dias. A modulação e manutenção da ZCAS, segundo o mesmo autor, também estão associadas especialmente com a manifestação das oscilações intrassazonais nas escalas de tempo de 20-30 dias e 30-60 dias. Diversos estudos apresentando diferentes metodologias destacaram a importância destas oscilações na formação, no desenvolvimento e na dissipação da ZCAS (CASARIN E KOUSKY, 1986; GRIMM E SILVA DIAS, 1995; NOGUÉS-PAEGLE E MO, 1997; NOGUÉS-PAEGLE et al., 2000; MO E NOGUÉS-PAEGLE, 2001; CASTRO, 2009; entre outros). Casarin e Kousky (1986) foram um dos pioneiros a identificarem uma estrutura de teleconexão na escala de tempo de 30-60 dias entre o centro-oeste do Pacífico sul tropical (região de atuação da ZCPS) e a ZCAS. Eles constataram que associado ao padrão de teleconexão ZCPS-ZCAS existia a presença de um dipólo de atividade convectiva entre o sul do Brasil e a região da ZCAS, um aspecto posteriormente verificado em outras escalas de tempo (NOGUÉS-PAEGLE E MO, 1997; LIEBMANN et al., 1999; CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006).

As teleconexões atmosféricas que afetam o comportamento da ZCAS podem se manifestar tanto na atmosfera tropical quanto na extratropical (KOUSKY E KAYANO, 1992; 1994; FIGUEROA, 1999; LIEBMANN et al., 1999; CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006; entre outros). Cunningham e Cavalcanti (2006) investigaram as teleconexões existentes entre a atividade convectiva anômala na região da Indonésia e a variabilidade intrassazonal do posicionamento da ZCAS. Os autores determinaram os principais modos de variabilidade das anomalias de ROLE (AROLE) sobre a AS e adjacências nas bandas temporais de 2-10 dias e 30-90 dias, onde observaram que a incursão de um sistema frontal nos subtrópicos nem sempre resulta no estabelecimento de um episódio de ZCAS, sugerindo a importância da relação de fase apropriada entre as oscilações de alta e baixa frequência, possibilitando o desenvolvimento de eventos

mais intensos e persistentes. Além destas observações, eles também verificaram que um episódio de ZCAS que se manifesta ao sul da climatologia ou na própria posição climatológica demonstrou ser mais influenciado por trens de ondas planetárias vindos do Pacífico sul. Em contrapartida, um episódio deslocado ao norte da climatologia revelou ser preferencialmente modulado pela atividade intrassazonal da OMJ. Esta flutuação intrassazonal foi extensivamente investigada nas últimas décadas devido à sua importante influência sobre o comportamento da atividade convectiva tropical global (WEICKMANN et al., 1985; KOUSKY E KAYANO, 1992; 1994; MADDEN E JULIAN, 1972; 1994; entre outros).

2.3 Oscilação de Madden-Julian

A oscilação dominante da atmosfera tropical na escala de tempo intrassazonal é a OMJ, sendo caracterizada como uma célula de circulação zonal termicamente direta que afeta o comportamento da atividade convectiva tropical intrassazonal em escalas de tempo compreendidas entre 30-60 dias (WEICKMANN et al., 1985; KNUTSON E WEICKMANN, 1987; MADDEN E JULIAN, 1972; 1994). Weickmann et al. (1985) e Knutson e Weickmann (1987) estudaram as principais características associadas a OMJ e sugeriram a atuação de um padrão zonal de número de onda 1 dominante nos trópicos influenciando no comportamento convectivo tropical global.

A estrutura vertical da OMJ revela um comportamento oposto entre os baixos e altos níveis quando se analisa a componente zonal do vento. Ao longo da trajetória de propagação tropical da oscilação verifica-se que quando os ventos de oeste predominam em baixos níveis, os ventos de leste predominam em altos níveis e vice-versa, como discutido por Madden e Julian (1972). Madden e Julian (1972) utilizaram dados de radiossondagem de estações meteorológicas ao longo do cinturão tropical para a realização de uma análise espectral dos dados de vento, temperatura e pressão e detectaram um padrão de oscilação intrassazonal na região tropical, especialmente entre o leste do Índico e oeste do Pacífico tropical em escalas de tempo entre 40-50 dias.

Diversos estudos destacaram os aspectos do ciclo de vida desta flutuação que, inicialmente, apresenta um deslocamento para leste a partir do centro-oeste do Índico tropical em direção a Indonésia, revelando um enfraquecimento ao atravessar o continente marítimo, onde posteriormente se fortalece quando alcança o oeste do Pacífico sul (KNUTSON E WEICKMANN, 1987). Knutson e Weickmann (1987) sugeriram que quando a OMJ alcança o leste da linha de data o sinal anômalo da atividade convectiva tropical enfraquece e, conseqüentemente, desaparece na região onde se encontram valores climatológicos de temperatura da superfície do mar (TSM) relativamente baixos, o que não contribui para a manifestação da CT. Eles constataram que embora o sinal da CT não seja evidente no leste do Pacífico sul, existem condições dinâmicas favoráveis, como verificado pela evolução temporal do potencial de velocidade na alta troposfera relacionado com a divergência horizontal do vento. Hsu e Lee (2005) complementaram este resultado propondo um mecanismo físico que explica o salto da CT na região leste do Pacífico. Eles propuseram que uma onda de Kelvin equatorial forçada pela convecção profunda no oeste do Pacífico tropical deveria se propagar através das regiões mais frias e secas do Pacífico leste e disparar a atividade convectiva na AS. Esta propagação da OMJ influencia na modulação e persistência da ZCAS (CARVALHO et al., 2004; CASTRO, 2009).

Kousky e Kayano (1994) obtiveram cinco padrões intrassazonais de função ortogonal empírica (“Empirical Orthogonal Function - EOF”) para as anomalias intrassazonais de ROLE e de vento, onde observaram que diferentes fases da OMJ sobre a AS podem influenciar na modulação da ZCAS. Carvalho et al. (2004) e Cunningham e Cavalcanti (2006) verificaram que quando a CT está inibida sobre a Indonésia, verifica-se um aumento da convecção no centro-leste da AS tropical em associação com a manifestação e persistência da ZCAS. A fase final do ciclo de vida da OMJ mostra que após disparar a CT no leste da AS tropical, a célula de circulação zonal alcança a porção tropical da África e encaminha-se em direção ao centro-oeste do Índico onde completa o seu ciclo de vida e inicia uma nova propagação tropical (WEICKMANN et al., 1985; KNUTSON E WEICKMANN, 1987; MADDEN E JULIAN, 1994; CASTRO, 2009).

Weickmann et al. (1985) e Knutson e Weickmann (1987) verificaram que o sinal da OMJ mais intenso aparece concentrado entre o leste do Índico e o oeste do Pacífico, principalmente durante o verão de ambos os hemisférios. Este sinal mais destacado revela a manifestação de uma das principais características da OMJ, identificada como dipólo zonal de AROLE que influencia remotamente diferentes regiões tropicais (WEICKMANN et al., 1985; CASTRO, 2009) e extratropicais do globo terrestre (MO e HIGGINS, 1998; MO e NOGUÉS-PAEGLE, 2001; CASTRO, 2009). Castro (2009) obteve padrões de EOF para as AROLE filtradas na banda intrassazonal de 30-90 dias, os quais ele associou com diferentes estágios do ciclo de vida da OMJ. No primeiro padrão de EOF (Fig. 2.1.(a)), uma área sobre a região central da AS, se estendendo zonalmente em direção ao oeste do Atlântico subtropical, apresenta o mesmo sinal contido na porção centro-oeste do Pacífico sul, que parece estar conectado com a ZCPS. Em contrapartida, o sinal no leste do Índico é oposto, caracterizando a presença da variabilidade intrassazonal da CT entre estas regiões. O autor relacionou este padrão de convecção com os estudos de Nogués-Paegle et al. (2000), que investigaram a importância de diferentes modos intrassazonais que afetam na modulação da precipitação durante o verão austral sobre a AS em escalas de tempo médio de 22 dias e 40 dias, referidos como modo 22 e modo 40, respectivamente. O segundo modo de EOF (Fig. 2.1.(b)) apresenta sinais opostos de AROLE entre o Pacífico oeste e o leste do Índico/nordeste do Brasil, onde Castro (2009) sugeriu relações com o estudo de Weickmann et al. (1985). O terceiro modo de variabilidade das AROLE em 30-90 dias (Fig. 2.1.(c)) mostra atividade convectiva (ou ausência dela) principalmente na região de formação da ZCPS. Os sinais opostos das duas bandas noroeste-sudeste localizadas sobre o Pacífico sul indicaria deslocamentos da ZCPS. Sobre a AS este autovetor ressalta sinais opostos entre parte do sudeste do Brasil e as áreas ao norte e ao sul.

De uma maneira geral, Castro (2009) verificou que estes modos de variabilidade das AROLE intrassazonais podem estar representando estágios evolutivos do ciclo de vida da OMJ, com influências sobre a ZCPS e ZCAS, seja no contexto de teleconexão trópico-trópico ou no de trópico-extratropical.

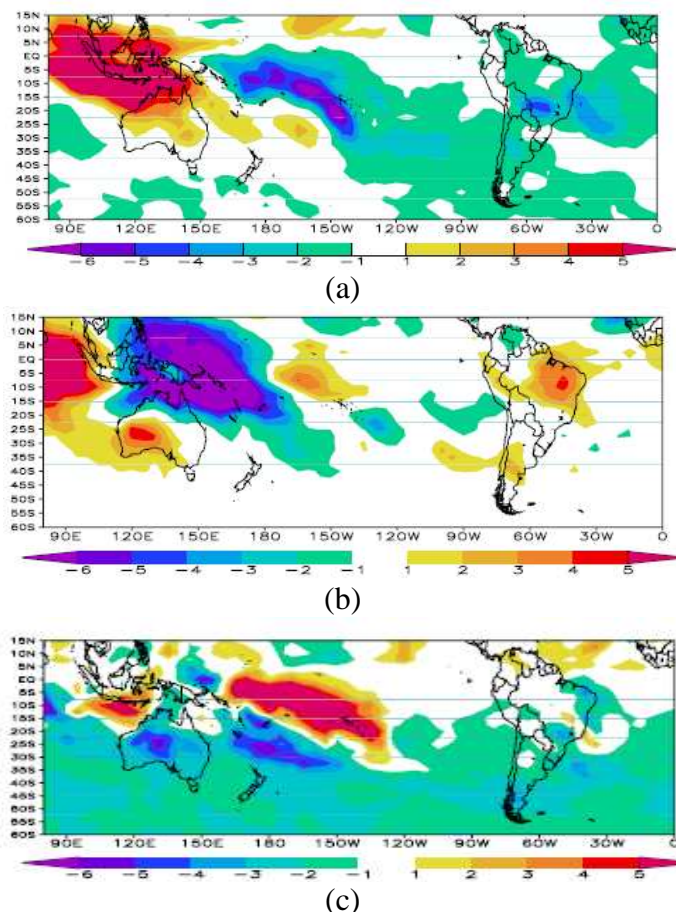


Figura 2.1 – Primeiros três autovetores obtidos das EOF das AROLE filtradas em 30-90 dias. (a) EOF1 explica 27,2% da variância; (b) EOF2 16,7%; e (c) EOF3 11,2%.

Fonte: Castro (2009).

Weickmann et al. (1985), Knutson e Weickmann (1987) e Kiladis e Weickmann (1992) descrevem os aspectos globais da OMJ em associação com as interações trópicotrópico e trópicotrópico através das relações entre o campo de ROLE, potencial de velocidade e função corrente. Eles constataram que a propagação regular para leste das anomalias de CT está relacionada com o deslocamento tropical das regiões de divergência e convergência na alta troposfera, indicando a presença de um padrão de onda zonal 1. Kiladis e Weickmann (1992) estudaram especificamente as influências das atividades convectivas tropicais anômalas em três escalas temporais distintas durante o inverno boreal e constataram que na banda de 30-70 dias os sinais são zonalmente alongados com números de onda 0, 1 e 2 dominantes. De acordo com os autores, a presença de anomalias de convecção concentradas na região tropical contribui para o desenvolvimento no hemisfério sul de anticiclones (ciclones) a oeste-sudoeste (leste-nordeste) deste máximo de convecção, principalmente nas escalas temporais de

mais baixa frequência (30-70 dias e 14-30 dias). Kiladis e Weickmann (1992) ainda comentaram que a interação “trópico-extratropical” se estabelece melhor nestas escalas de tempo de mais baixa frequência na região leste do Índico/Indonésia e oeste do Pacífico, enquanto que a interação “extratropical-trópico” configura-se melhor em bandas temporais de mais alta frequência, como por exemplo, na escala de tempo de 7-16 dias na região da AS e Atlântico sul. Kiladis e Weickmann (1992) destacaram também que a CT pode induzir divergência em altos níveis e a formação de ondas de Rossby, de gravidade, de Kelvin ou mistas Rossby-Gravidade que afetam o comportamento da circulação tropical e extratropical.

2.4 Ondas de Rossby e as teleconexões trópico-extratropical

As ondas planetárias ou ondas de Rossby são ondulações atmosféricas de grande escala nos ventos de oeste e estão relacionadas com a rotação e a forma esférica da Terra (RHINES, 2003). De acordo com Rhines (2003) e Holton (2004), os exemplos mais simples de geração de ondas de Rossby ocorrem em uma atmosfera barotrópica, que está associada com gradiente térmico nulo e, conseqüentemente, independência do vento geostrófico com a altura, o que não favorece a ocorrência do cisalhamento vertical do vento. Rhines (2003) comentou que estas ondas de escala planetária são forçadas basicamente pela perturbação dos ventos de oeste ao encontrarem topografias que apresentam amplas extensões meridionais, como por exemplo, a Cordilheira dos Andes no hemisfério sul e o Himalaia no hemisfério norte. Rhines (2003) ainda destacou a importância das forçantes de ondas de Rossby relacionadas com o aquecimento diferencial entre os continentes e os oceanos e as interações não-lineares na atmosfera.

Diversos estudos observacionais, teóricos e de modelagem verificaram que o aquecimento anômalo na região tropical e subtropical pode afetar no padrão de circulação global da atmosfera (HOSKINS E KAROLY, 1981; GRIMM, 1992; KILADIS E WEICKMANN, 1992; GRIMM E SILVA DIAS, 1995; ARAVÉQUIA E SILVA DIAS, 2004). Uma das possíveis implicações é a geração de ondas de Rossby forçadas pela divergência anômala na alta troposfera como um resultado da intensa liberação de calor latente que contribui para o aquecimento e expansão da coluna de ar (GRIMM E SILVA DIAS, 1995).

A especificação da divergência anômala na alta troposfera para a obtenção da componente rotacional do vento nos extratropicos nem sempre auxilia em evidenciar fontes e sumidouros de ondas de Rossby. Na região extratropical, por exemplo, a divergência e a vorticidade são ambas componentes da mesma onda (teoria quase-geostrófica) e fixar uma enquanto se calcula a outra não indica qual é a causa e o efeito (GRIMM E SILVA DIAS, 1995). Entretanto, nos trópicos este procedimento é válido, pois a divergência em altos níveis está ligada a liberação de calor latente e é mais independente do escoamento rotacional, como destacado por Grimm e Silva Dias (1995). Aravéquia e Silva Dias (2004), por exemplo, calcularam as funções de influência de um modelo barotrópico divergente para identificação das fontes unitárias de calor responsáveis pela geração de ondas de Rossby que modularam as anomalias de precipitação em uma determinada região de interesse.

A utilização de modelos barotrópicos para investigação da geração do escoamento rotacional nos extratropicos tem como base a equação da vorticidade, que postula que a mudança da vorticidade absoluta seguindo o movimento horizontal é um resultado aproximado da concentração ou diluição da vorticidade planetária causada pela convergência ou divergência do escoamento horizontal, respectivamente (HOLTON, 2004). A equação da vorticidade pode ser expressa de acordo com a equação (2.1), considerando análise de escala sinótica onde os termos têm os significados usuais (HOLTON, 2004).

$$\frac{D_h(\xi)}{Dt} = -\xi \bar{\mathbf{V}} \cdot \bar{\mathbf{V}}, \quad (2.1)$$

onde $\xi = (\zeta + f)$ é a vorticidade absoluta.

A formulação em (2.1) está relacionada com a geração e propagação de ondas de Rossby (SHIMIZU E CAVALCANTI, 2010). Considerando que o escoamento horizontal ($\bar{\mathbf{V}}$) pode ser expresso como uma soma da componente rotacional ($\bar{\mathbf{V}}_\psi$) e da divergente ($\bar{\mathbf{V}}_\chi$), $\bar{\mathbf{V}} = \bar{\mathbf{V}}_\psi + \bar{\mathbf{V}}_\chi$, a equação da vorticidade é descrita como na equação (2.2).

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + (\vec{V}_\psi + \vec{V}_\chi) \cdot \vec{\nabla} \xi = -\xi D, \quad (2.2)$$

onde $D = \vec{\nabla} \cdot \vec{V} = \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)$.

Manipulando a equação (2.2) tem-se a relação que destaca as fontes de ondas de Rossby pela parte rotacional e divergente do vento horizontal (equação 2.3).

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \vec{V}_\psi \cdot \vec{\nabla} \xi = -\xi D - \vec{V}_\chi \cdot \vec{\nabla} \xi \quad (2.3)$$

Os termos do lado esquerdo da equação (2.3) representam a fonte de onda de Rossby pela parte rotacional do vento, enquanto que os termos do lado direito pela parte divergente do vento. Esta equação descreve que a geração de uma onda de Rossby pode ocorrer devido à presença do gradiente de vorticidade absoluta mais eficiente nos extratropicais ou devido à presença de divergência em altos níveis mais eficiente na região tropical (GRIMM E SILVA DIAS, 1995; SHIMIZU E CAVALCANTI, 2010). Shimizu e Cavalcanti (2010) verificaram que no verão do hemisfério sul as principais regiões fonte de ondas de Rossby climatológicas devido à divergência em altos níveis são o centro-oeste do Pacífico sul tropical e subtropical, ou região da ZCPS, e a região de atuação da ZCAS. No caso da fonte devido ao gradiente de vorticidade absoluta, os autores identificaram o sul da Austrália como uma região climatológica eficiente em produzir ondas de Rossby ao longo das quatro estações do ano.

A propagação das ondas de Rossby pode ser avaliada a partir da equação (2.4) que postula se o escoamento é puramente horizontal, como é o caso do escoamento barotrópico em um fluido de profundidade “h” constante, o termo de divergência desaparece na equação (2.1), obtendo-se a equação da vorticidade barotrópica ou da conservação de vorticidade absoluta (HOLTON, 2004).

$$\frac{\partial(\zeta + f)}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} + v \frac{\partial f}{\partial y} = 0 \quad (2.4)$$

Realizando a linearização dos termos da equação (2.4) e expressando cada parâmetro como a soma de uma parcela referente à sua média zonal (representada por $[]$) e outra referente ao desvio zonal em relação a esta média (representada por $*$), obtém-se da equação (2.4) a equação (2.5), considerando $u = (U + u^*)$ (onde U é o escoamento médio zonal) e o parâmetro de Coriolis não variando para um tempo longo ($\frac{\partial f}{\partial t} = 0$).

$$\frac{\partial\{[\zeta] + \zeta^*\}}{\partial t} + \{U + u^*\} \frac{\partial\{[\zeta] + \zeta^*\}}{\partial x} + \{[v] + v^*\} \frac{\partial\{[\zeta] + \zeta^*\}}{\partial y} + \{[v] + v^*\} \frac{\partial f}{\partial y} = 0 \quad (2.5)$$

Considerando na equação (2.5) que a média zonal da componente meridional do vento é nula $\{[v] = 0\}$ e que a média zonal da vorticidade para um tempo longo não varia no tempo e nem na longitude $\left\{ \frac{\partial[\zeta]}{\partial t} = 0; \frac{\partial[\zeta]}{\partial x} = 0 \right\}$, obtém-se da equação (2.5), assumindo o produto dos desvios igual a zero, a equação (2.6).

$$\frac{\partial \zeta^*}{\partial t} + U \frac{\partial \zeta^*}{\partial x} + v^* \frac{\partial [\zeta]}{\partial y} + \beta v^* = 0, \text{ onde } \beta = \frac{\partial f}{\partial y} \quad (2.6)$$

Para que a equação (2.6) seja tratada como uma onda é necessário assumir certas considerações, como por exemplo:

(1) $[\zeta] = -\frac{\partial U}{\partial y}$, onde $\frac{\partial [v]}{\partial x} = 0$ (considerando onda estacionária).

(2) $v^* = \frac{\partial \psi^*}{\partial x}$

(3) $\zeta^* \equiv \nabla^2 \psi^*$

(4) $\psi^* = \psi_0 e^{i(kx + ly - \sigma t)}$ [solução ondulatória contendo amplitude (ψ_0), números de onda zonal (k) e meridional (l) e frequência (σ)].

Substituindo as formulações (1), (2) e (3) na equação (2.6) e realizando as manipulações necessárias, obtém-se a equação da onda para a perturbação ondulatória da função corrente no plano β apresentada pela equação (2.7).

$$\frac{\partial(\nabla^2\psi^*)}{\partial t} + U \frac{\partial(\nabla^2\psi^*)}{\partial x} + \frac{\partial\psi^*}{\partial x} \left(\beta - \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (2.7)$$

Sabendo que $\nabla^2\psi^* = \frac{\partial^2\psi^*}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi^*}{\partial y^2}$ e realizando as operações algébricas necessárias com o auxílio da formulação (4), finalmente pode-se encontrar a relação de dispersão para as ondas de Rossby (HOLTON, 2004), como indicado pela equação (2.8).

$$\sigma = Uk - \frac{k \left(\beta - \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right)}{(k^2 + l^2)} \quad (2.8)$$

A equação (2.8) fornece a relação entre a frequência e o número de onda (HOLTON, 2004). No caso de ondas estacionárias, a frequência é nula e, portanto, a velocidade de fase desta onda também é zero. A equação (2.9) apresenta a relação de dispersão para a onda estacionária.

$$k^2 + l^2 = \frac{\left(\beta - \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right)}{U}, \quad (2.9)$$

onde $k^2 + l^2 = K_s^2$ é o número de onda total.

Para constatar a existência de uma onda de Rossby é necessário avaliar os termos da equação (2.10) (HOLTON, 2004).

$$l^2 = \frac{(\beta - \frac{\partial^2 U}{\partial y^2})}{U} - k^2 \quad (2.10)$$

Se l^2 for positivo a onda existe. Para isto, U deve ser positivo e k deve ser pequeno, inversamente proporcional ao comprimento de onda (ondas longas), ocorrendo uma propagação meridional, dependendo do valor de k . Se o U for negativo (ventos de leste), para qualquer k , não pode existir este tipo de onda. O termo $(\beta - \partial^2 U / \partial y^2)$ é positivo na região central da corrente de jato, favorecendo a amplificação do gradiente e a propagação das ondas de Rossby (Jato funciona como um guia de ondas de Rossby).

As ondas de Rossby são dispersivas, pois tanto a velocidade de fase quanto a frequência variam com o número de onda (HOSKINS E AMBRIZZI, 1993). A dispersão da energia da onda é na direção da velocidade de grupo (c_g), que é indicado pela equação (2.11).

$$c_g = \left[\frac{\sigma}{k} + 2k^2 \left(\beta - \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \frac{1}{(k^2 + l^2)^2}, 2lk \frac{(\beta - \frac{\partial^2 U}{\partial y^2})}{(k^2 + l^2)^2} \right], \text{ onde } c_g = \left(\frac{\partial \sigma}{\partial k}, \frac{\partial \sigma}{\partial l} \right) \quad (2.11)$$

Hoskins e Karoly (1981) consideraram um escoamento climatológico zonal e verificaram que soluções do tipo onda em baixas latitudes são possíveis somente em um escoamento básico de oeste, onde assumiram a análise de ondas estacionárias. De acordo com Hoskins e Ambrizzi (1993), as ondas de Rossby inicialmente propagam-se em direção ao pólo a partir de uma região fonte, entretanto, ao atingirem uma determinada latitude na região extratropical a velocidade de grupo meridional se anula, pois o número de onda meridional diminui até ser igual a zero, acarretando em um deslocamento na forma de um arco em direção ao equador, onde as ondas podem ser absorvidas, refletidas ou dissipadas ao atingirem a linha crítica (vento zonal igual a zero).

A propagação preferencial das ondas de Rossby na atmosfera revela apresentar associação com o escoamento de oeste mais intenso nos altos níveis. Hoskins e Ambrizzi (1993) verificaram este resultado através de simulações numéricas com um modelo barotrópico onde reproduziram satisfatoriamente os padrões de teleconexões descritos em estudos anteriores como o de Hsu e Lin (1992). Hoskins e Ambrizzi (1993) observaram que as localizações de manifestação das correntes de jato em altos níveis seriam favoráveis para guiar as ondas de Rossby por localizações preferenciais e, assim, orientar a direção da propagação de energia por longas distâncias. Segundo os autores, este fato está associado com a interação entre a dinâmica do escoamento básico e a dinâmica dos trens de ondas de Rossby, acarretando em direções preferenciais para propagação destas ondas. Nas correntes de jato, o gradiente meridional de vorticidade é amplo, o que favorece para que a onda fique confinada dentro da região do jato. Ambrizzi et al. (2005) identificaram quatro guias de ondas durante o inverno austral: 1) a corrente de jato que conecta o norte da África a Ásia; 2) o jato que conecta o Atlântico norte ao norte da Europa; 3) o jato que se estende desde o oceano Índico, atravessa a Austrália e atinge o leste do Pacífico sul (guia de onda subtropical); e 4) o Jato Polar, presente em latitudes mais altas (guia de onda polar).

A variabilidade sazonal do escoamento básico em altos níveis possibilita a relação inter-hemisférica, onde trens de ondas podem atravessar a faixa equatorial e alcançar uma determinada região no hemisfério oposto. Mathews e Kiladis (1999) verificaram que no inverno do hemisfério sul as ondas estacionárias que foram geradas no hemisfério norte não conseguem avançar para o hemisfério sul devido ao predomínio de ventos de leste em altos níveis na região equatorial, o que não favorece a propagação inter-hemisférica de ondas de Rossby como descrito pela equação (2.10). Entretanto, no verão os ventos de oeste escoam em grande parte da faixa equatorial do centro-leste do Pacífico e Atlântico equatorial, possibilitando a relação inter-hemisférica (MATHEWS E KILADIS, 1999).

O estudo das interações entre a atmosfera tropical e a extratropical tem sido o foco de diversas pesquisas sobre teleconexões atmosféricas através da propagação de ondas de Rossby (WALLACE E GUTZLER, 1981; GRIMM E SILVA DIAS, 1995; MO E HIGGINS, 1998; NOGUÉS-PAEGLE et al., 2000, MO E NOGUÉS-PAEGLE,

2001, ARAVÉQUIA E SILVA DIAS, 2004; entre outros). Um dos trabalhos pioneiros foi o de Wallace e Gutzler (1981) que identificaram através de métodos de correlação a presença de um trem de ondas de Rossby conectando o Pacífico norte tropical com o sudeste da América do Norte, referido como modo Pacífico-América do Norte ou PNA (Pacific-North American Pattern). No hemisfério sul, também foi identificado um padrão ondulatório de baixa frequência conectando a região tropical do Pacífico sul com a porção centro-leste da AS via latitudes médias, denominado de modo Pacífico-AS ou PSA (Pacific-South American Pattern), devido apresentar grandes amplitudes neste setor (MO E GHIL, 1987).

Mo e Ghil (1987) examinaram as anomalias persistentes de altura geopotencial em 500 hPa e isolaram um padrão de EOF que mostrava a caracterização do PSA. Os autores verificaram que este modo evidencia uma propagação ondulatória com 3 cavados e 3 cristas entre o oeste do Pacífico tropical e o leste da AS, apresentando grande parte de sua trajetória nas latitudes médias do Pacífico sul. Szeredi e Karoly (1987) examinaram teleconexões no hemisfério sul utilizando dados de estação e encontraram outro padrão ondulatório em quadratura com o identificado por Mo e Ghil (1987). Estes distintos padrões de variabilidade atmosférica foram identificados como modos do PSA e referenciados como modo PSA1 e modo PSA2, respectivamente (MO E NOGUÉS-PAEGLE, 2001).

Os modos do PSA apresentam consideráveis variâncias em diferentes escalas de tempo que se estendem desde a intrassazonal até a decadal (KILADIS E MO, 1998), e têm sido identificados em diversos estudos de teleconexões (KAROLY et al., 1996; MO E HIGGINS, 1998; MO E NOGUÉS-PAEGLE, 2001). De acordo com Karoly et al. (1996), estes padrões do PSA aparecem em todas as estações do ano evidenciando ligeiras variações na localização dos centros de ação. Kidson (1999) obteve os principais padrões de variabilidade de baixa frequência no hemisfério sul concentrados na banda intrassazonal de 10-50 dias, mas não verificou a manifestação de nenhum dos modos do PSA, sugerindo uma atuação preferencial destes trens de ondas em escalas de tempo entre 40-90 dias. Este resultado destaca o estudo de Mo e Higgins (1998), revelando a associação entre os modos do PSA e a propagação para leste da CT durante o inverno austral na escala de tempo de 10-90 dias.

Mo e Nogués-Paegle (2001) investigaram o comportamento destes padrões atmosféricos em escalas de tempo intrassazonais e interanuais para todas as estações do ano. Os autores constataram que a estrutura ondulatória referente ao PSA1 esteve contida no segundo (terceiro) autovetor das anomalias de altura geopotencial em 500 hPa (anomalias de função corrente em 200 hPa), enquanto que para o PSA2, o sinal foi destacado no terceiro (quarto) autovetor das anomalias de altura geopotencial (de função corrente). Mo e Nogués-Paegle (2001) destacaram a diferença de fase de aproximadamente 1/4 de um comprimento de onda entre os sinais apresentados pelos modos do PSA, além do comportamento anômalo oposto dos sinais de função corrente na região de manifestação da ZCAS. As interações do tipo trópico-extratropical na escala de tempo intrassazonal também foram observadas por Nogués-Paegle et al. (2000), onde as flutuações compreendidas entre 22-28 dias e 36-40 dias apresentaram destaque na modulação das anomalias de circulação e de precipitação na região de desenvolvimento da ZCAS. Os autores ainda observaram que o dipólo de anomalias de convecção entre a porção subtropical da AS e a ZCAS apareceu melhor configurado na banda intrassazonal de 22-28 dias.

Mo e Nogués-Paegle (2001) utilizaram dados médios mensais de anomalias de altura geopotencial em 500 hPa para obtenção das componentes principais associadas aos padrões espaciais do PSA com o intuito de correlacionar com a média sazonal das anomalias globais de TSM. Para o modo PSA1, os autores verificaram uma relação com a manifestação do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sem grandes variabilidades sazonais, onde destacaram que a fase positiva do PSA1 revelou um déficit (aumento) de precipitação no norte/nordeste (sudeste) da AS, o que está relacionado com a fase negativa do ENOS. Em relação ao PSA2, Mo e Nogués-Paegle (2001) verificaram que este padrão está associado com a componente quase-bienal do ENOS em escala de tempo de 22-28 meses, com o sinal mais forte ocorrendo durante a primavera austral, enquanto o padrão de precipitação sobre a AS revelou um déficit (aumento) na região da ZCAS (sul do Brasil), em associação com o dipólo de anomalias de convecção observado por Casarin e Kousky (1986) e Nogués-Paegle e Mo (1997) em escalas de tempo intrassazonais.

A manifestação intrassazonal da convecção anômala associada aos padrões do PSA revelou um cenário semelhante, embora no PSA2 os sinais mais destacados apareceram deslocados para leste, cerca de 1/4 de um comprimento de onda, em relação aos apresentados pelo modo PSA1, caracterizando o comportamento em quadratura do PSA2 com o PSA1 (MO E NOGUÉS-PAEGLE, 2001). De acordo com Mo e Nogués-Paegle (2001), ambos os modos do PSA na escala de tempo intrassazonal são relativamente fracos durante o verão, mas exibem relações com o deslocamento tropical da OMJ e, conseqüentemente, modulam as anomalias de circulação e de precipitação na AS em associação com manifestação da ZCAS. No contexto interanual, estes padrões são modulados preferencialmente pelas anomalias de TSM no Pacífico tropical.

Grimm (1992) calculou funções de influência de um modelo barotrópico incluindo o efeito da divergência no escoamento básico e considerando a divergência anômala em altos níveis como forçante. Desta forma, obteve as regiões nas quais a divergência anômala foi mais eficiente em produzir anomalias rotacionais em pontos pré-determinados. Como a divergência em altos níveis está associada nas regiões tropicais a fontes anômalas de calor, é possível obter as regiões tropicais nas quais as fontes de calor têm mais impacto em produzir resposta rotacional em um dado ponto de interesse (GRIMM E SILVA DIAS, 1995; ARAVÉQUIA E SILVA DIAS, 2004). Grimm e Silva Dias (1995) utilizando funções de influência de um modelo barotrópico simples confirmaram a importância dos efeitos da parte divergente do escoamento médio em relação à manifestação de uma forçante térmica nos trópicos. Quando estes autores consideraram a divergência horizontal do vento como uma forçante no modelo barotrópico linear, ao invés do gradiente de vorticidade, eles sugeriram a existência de uma conexão entre a ZCPS e a ZCAS através da propagação de ondas de Rossby em latitudes médias forçadas, eventualmente, devido ao deslocamento para leste da CT em escalas de tempo intrassazonais de 30-60 dias. Os autores testaram esta hipótese considerando divergência anômala associada com uma ZCPS deslocada para sudeste de sua posição climatológica, revelando também uma associação com episódios do ENOS.

Aravéquia e Silva Dias (2004) utilizando um modelo barotrópico espectral divergente com estado básico climatológico referente ao mês de janeiro também calcularam as respectivas funções de influência utilizando como forçante de ondas de

Rossby a divergência anômala em altos níveis obtida através da parametrização das AROLE mais intensas observadas na região tropical durante o período de estudo. Os autores simularam diferentes experimentos em diferentes domínios com o intuito de verificar quais regiões tropicais ou subtropicais apresentaram um papel mais eficiente em reproduzir a resposta rotacional estacionária nos extratropicais que possivelmente foi responsável pela modulação das anomalias negativas de precipitação observadas durante o verão de 2001 sobre grande parte do centro-leste do Brasil (CAVALCANTI E KOUSKY, 2001). De acordo com Aravéquia e Silva Dias (2004), os resultados obtidos concordaram em grande parte com as observações do estudo apresentado por Cavalcanti e Kousky (2001), revelando a forte modulação da resposta rotacional extratropical pela forçante anômala de CT localizada sobre a região da Indonésia e oceano Índico.

A variabilidade submensal na escala temporal de 2-30 dias também apresenta destaque no desenvolvimento da ZCAS (LIEBMANN et al., 1999). Liebmann et al. (1999) investigaram as relações existentes entre as anomalias de CT e as anomalias de circulação de grande escala que influenciam na manifestação da ZCAS. Para este propósito, eles utilizaram uma técnica de regressão linear onde analisaram a estrutura vertical e horizontal dos principais modos de circulação extratropicais associados com a evolução temporal da CT. Eles selecionaram diferentes regiões na ZCAS e na Amazônia para a correlação da CT (preditor) com o padrão de circulação atmosférica em cada ponto de grade (preditando). Um dos principais resultados da pesquisa revelou que o comportamento da circulação de grande na escala na região da ZCAS apresenta uma estrutura baroclínica com um amplo cavado em altos níveis ligeiramente inclinado para oeste em relação ao posicionamento verificado em 850 hPa, com os centros de ação se propagando do sudoeste da AS em direção ao equador, via latitudes médias. Este padrão de circulação ficou bem caracterizado quando a CT anômala esteve situada na porção subtropical da ZCAS. Por outro lado, quando consideraram o sinal de anomalias convectivas sobre o sudoeste da Amazônia e Brasil central, os autores verificaram a existência de uma circulação anticiclônica sobre a região da ZCAS, evidenciando uma conexão com um trem de ondas de Rossby propagando-se desde o Pacífico sul até a AS, via latitudes médias. Estes padrões ondulatórios verificados por Liebmann et al. (1999) também foram posteriormente observados por Carvalho et al. (2004).

Carvalho et al. (2004) pesquisaram sobre a estrutura espacial e temporal da ZCAS em associação com o comportamento intrassazonal e interanual da atmosfera. Eles constataram que quando a atividade convectiva mais intensa aparece concentrada na região oceânica (continental) da ZCAS existe a manifestação intrassazonal de um trem de ondas de Rossby se propagando via latitudes médias que evidencia a presença de um cavado (crista) anômalo atuando sobre a região da ZCAS em altos níveis.

3 DADOS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados inicialmente os dados utilizados para representarem o comportamento da circulação atmosférica e da distribuição horizontal da atividade convectiva tropical. Posteriormente, descreve-se a metodologia empregada na análise dos dados, permitindo a identificação das principais forçantes remotas da variabilidade de baixa frequência que contribuíram para a modulação de episódios de ZCAS ocorridos em diferentes áreas de manifestação.

3.1 Dados

Os dados utilizados para representação da circulação atmosférica são provenientes do banco de dados das reanálises do National Centers for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research (NCEP-NCAR), (<http://www.cdc.noaa.gov>), onde se considerou as seguintes variáveis no nível de 200 hPa: componente zonal (u) e componente meridional (v) do vento expressas em metros por segundo (m/s) e altura geopotencial (Z) em metro geopotencial (m_gp). O conjunto de dados das reanálises utilizado neste trabalho representa uma média diária, sendo distribuído em uma grade regular com resolução de 2.5° x 2.5° em latitude e longitude (KALNAY et al., 1996) para o período de janeiro de 1990 a dezembro de 2009.

Os dados de ROLE no topo da atmosfera são expressos em Watts por metro quadrado (W/m²) e obtidos através da média diária das passagens diurna e noturna do satélite de órbita polar da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), (<http://www.noaa.gov>). Estes dados apresentam a mesma resolução das reanálises do NCEP-NCAR e são interpolados no tempo e no espaço produzindo um ajuste global sem nenhuma perda de dados durante o período de estudo. Liebmann e Smith (1996) apresentam uma descrição detalhada da metodologia utilizada na interpolação deste dado. O período dos dados diários de ROLE é o mesmo apresentado na descrição das reanálises.

Liebmann e Smith (1996) descrevem que a obtenção da ROLE baseia-se na informação da temperatura do topo da nuvem. Em regiões tropicais onde a atividade convectiva é mais intensa, a temperatura do topo é fria e o valor da ROLE associado pode representar nuvens precipitantes, ou seja, baixos valores de ROLE indicam menos radiação emergindo. Por outro lado, nas regiões com ausência de nuvens a informação da temperatura é a da superfície terrestre, o que pode revelar ausência de precipitação através dos altos valores de ROLE indicando mais radiação emergindo. No caso de regiões com nuvens altas ou com superfícies relativamente frias, o valor de ROLE pode ser errôneo, levando a uma superestimativa da precipitação, como por exemplo, os baixos valores de ROLE observados nas latitudes médias e altas, entre 40° e 90° (SILVA DIAS E MARENGO, 1999). A Tabela 3.1 sintetiza as principais informações do conjunto de dados utilizados neste trabalho.

Tabela 3.1 – Descrição do conjunto de dados utilizados.

A. Variável	B. Fonte	C. Período
ROLE (W/m ²)	NOAA	Jan/1990 – Dez/2009
Z (m _{gp})	NCEP - NCAR	Jan/1990 – Dez/2009
u (m/s)	NCEP - NCAR	Jan/1990 – Dez/2009
v (m/s)	NCEP - NCAR	Jan/1990 – Dez/2009

3.2 Métodos de análise

3.2.1 Aspectos gerais

O sistema atmosférico de investigação ocorre durante o verão austral, preferencialmente entre os meses de dezembro e fevereiro (QUADRO, 1993; FERREIRA et al., 2004). Entretanto, os boletins mensais da Climanálise do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) (<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>) têm descrito informações sobre o estabelecimento da ZCAS a partir do mês de outubro até o fim de março, revelando uma extensão no período de atuação. Por este motivo, optou-se por estudar os casos de ZCAS que ocorreram entre os meses de outubro e março (verão estendido) do período de outubro/1990 a março/2009, totalizando 19 verões estendidos.

Estes episódios de ZCAS foram registrados pelos boletins mensais da Climanálise do CPTEC/INPE, onde seguem as metodologias propostas por Kodama (1992; 1993) e Quadro (1993) para a identificação e confirmação de ocorrência de cada evento. Foram selecionados um total de 81 episódios de ZCAS considerando os 19 verões estendidos, o que em média contabiliza aproximadamente a ocorrência de 4 episódios em cada verão estendido. Quadro (1993) encontrou em média 3 episódios de ZCAS quando considerou a análise de eventos que ocorreram durante o período de 1980 a 1989, entre os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Segundo Quadro (1993), este aspecto demonstra especialmente a variabilidade intrassazonal da ZCAS.

3.2.2 Cálculo das anomalias

As anomalias de ROLE, vento ($u+v$) e altura geopotencial são calculadas subtraindo-se os valores climatológicos, representativos de cada dia do ano, dos respectivos valores diários para cada variável, formando-se uma série temporal de anomalias diárias de ROLE, vento e altura geopotencial, respectivamente. Os valores climatológicos diários são referentes ao período de 1990 a 2009 e, portanto, utiliza-se como base uma climatologia de 20 anos para cada um dos 365 dias do ano, correspondendo com o período de análise dos episódios de ZCAS. As AROLE foram calculadas para representarem uma aproximação da atividade convectiva tropical anômala (LIEBMANN E SMITH, 1996), enquanto as anomalias de vento e altura geopotencial em 200 hPa são utilizadas para caracterizarem o padrão anômalo da circulação tropical e extratropical de grande escala.

3.2.3 Determinação dos padrões de variabilidade da ZCAS

A estrutura espacial da CT destaca marcante atividade convectiva inferida através dos menores valores de ROLE, especialmente abaixo de 200 W/m^2 , sobre a região Amazônica se estendendo para o sudeste do Brasil em direção ao Atlântico subtropical (Fig. 3.1). Este aspecto denota a região Amazônica como a principal fonte de atividade convectiva sobre a AS durante o verão austral. A linha sólida preta foi inserida para interligar os mais baixos valores de ROLE sobre a AS, destacando uma

organização preferencial de noroeste-sudeste da atividade convectiva e representando aproximadamente a posição climatológica da ZCAS. No Atlântico norte tropical nota-se outra região com baixos valores de ROLE, evidenciando a posição climatológica da ZCIT centrada em aproximadamente 5°N-30°W. Os maiores valores de ROLE, que indicam atividade convectiva fraca ou inibida, são observados justamente nas regiões onde se encontram os anticiclones subtropicais do Atlântico Sul e do Pacífico Sul. Liebmann et al. (1999) obtiveram figura semelhante considerando uma média da climatologia mensal de ROLE para os meses de dezembro a fevereiro referentes ao período de 1979 a 1996.

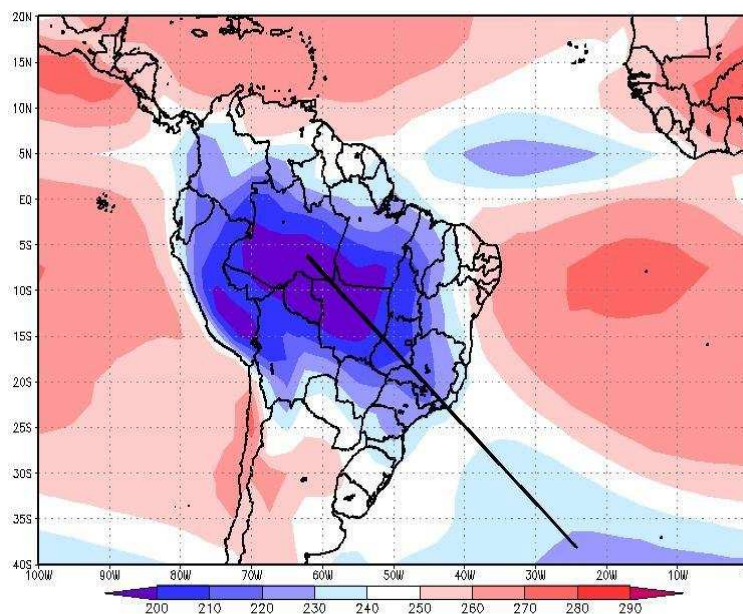


Figura 3.1 – Média da ROLE no período de novembro a fevereiro considerando a climatologia mensal de cada mês. Linha preta representa aproximadamente a posição climatológica da ZCAS.

Para cada período de ZCAS registrado nos boletins da Climanálise do CPTEC/INPE gerou-se uma figura da média de AROLE com o intuito de analisar o comportamento médio espacial da atividade convectiva mais intensa em função da localização geográfica. A distribuição horizontal da média de AROLE em cada um dos 81 casos revelou variações no posicionamento das regiões de máxima convecção, inferidas através dos valores mais negativos. Dos 81 episódios analisados, 28 eventos apresentaram os valores mais negativos concentrados entre o norte do Paraná e o centro-sul do Rio de Janeiro, 31 eventos apresentaram uma distribuição espacial de AROLE negativas concentradas entre o norte do Rio de Janeiro e sul da Bahia e 22 eventos

destacaram a convecção anômala presente em grande parte da região nordeste do Brasil e Atlântico sul tropical. Este resultado revela que aproximadamente 65% dos episódios se manifestaram ao norte da posição climatológica da ZCAS, enquanto 73% do total de eventos atuaram na área climatológica. De acordo com Quadro (1993), a área preferencial de manifestação dos episódios de ZCAS se estende desde o norte do Paraná até o sul da Bahia, sendo referida no presente estudo como área climatológica.

Sendo assim, optou-se por investigar o comportamento dos episódios em três diferentes áreas de manifestação, as quais são ilustradas na Fig. 3.2 e descritas abaixo:

1 - Área Sul (S): Compreende o norte do Paraná até o centro-sul do Rio de Janeiro com extensão para o Atlântico sul subtropical. Total de 28 eventos.

2 - Área Central (C): Compreende o norte do Rio de Janeiro até o sul da Bahia com extensão oceânica delimitada entre a porção subtropical e tropical do Atlântico sul. Total de 31 eventos.

3 - Área Norte (N): Compreende o centro-norte da Bahia e o restante da região nordeste do Brasil com extensão para Atlântico sul tropical. Total de 22 eventos.

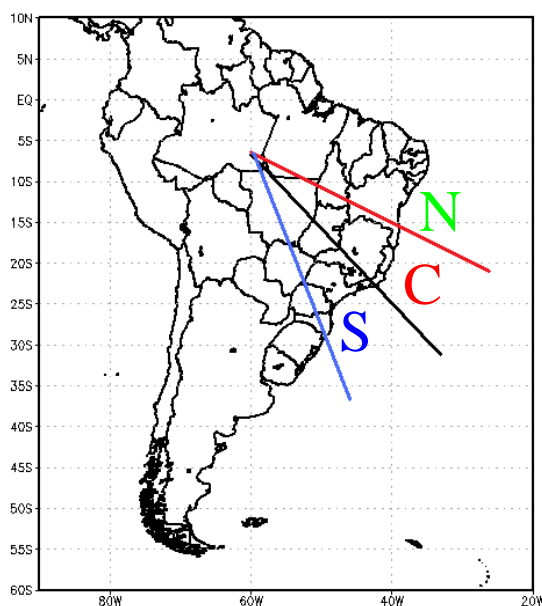


Figura 3.2 – Mapa ilustrativo da localização das três áreas de estudo dos episódios de ZCAS. A área sul é representada com a letra S, a central com C e a norte com a letra N. A linha preta ilustra a posição climatológica da ZCAS.

A partir desta descrição, os padrões de variabilidade das AROLE associados aos eventos de ZCAS são analisados separadamente de acordo com a área de manifestação. Estes padrões são referidos da seguinte forma: 1) PADRÃO SUL: para eventos que concentraram grande parte das AROLE negativas na área sul e no limite entre a área sul e área central, representado pela linha climatológica preta; 2) PADRÃO CENTRAL: para eventos que ocorreram na área central e no limite entre a área central e a área norte, representado pela linha vermelha; 3) PADRÃO NORTE: para eventos que ocorreram na área norte. Destaca-se que os eventos que se manifestaram no limite entre a área central e a área norte, com grande parte da AROLE negativa distribuída sobre a região nordeste do Brasil, foram classificados como eventos ocorridos na área norte. Estes episódios apresentaram uma ampla distribuição horizontal dos valores anômalos de convecção entre o nordeste e parte do sudeste do Brasil, com uma estrutura espacial aproximadamente meridional.

A escolha desta metodologia permite investigar o comportamento da variabilidade atmosférica que está associada com a manifestação da ZCAS em cada uma das três áreas selecionadas para o estudo, contribuindo para identificação de diferentes mecanismos físicos envolvidos no processo de formação, modulação e dissipação de episódios de ZCAS em função da localização geográfica.

Considerando a metodologia descrita até este ponto, algumas questões tornam-se importantes para o desenvolvimento desta pesquisa, como por exemplo:

- A) Quais forçantes remotas da variabilidade de baixa frequência poderiam estar contribuindo para o desenvolvimento preferencial das anomalias convectivas em cada área de estudo?
- B) Quais seriam os principais padrões de teleconexão responsáveis em modular eventos de ZCAS em função da localização geográfica e do tipo de estrutura espacial das anomalias de convecção?
- C) Onde estariam localizadas estas regiões forçantes e quais seriam as flutuações atmosféricas responsáveis em realizar a manutenção da convecção na ZCAS?
- D) Quais as relações existentes entre a variabilidade de baixa frequência e os transientes de alta frequência ao longo do ciclo de vida da ZCAS?

Com base nestas perguntas, apresenta-se nas próximas subseções uma metodologia que aborda a utilização das funções de influência de um modelo barotrópico espectral divergente para investigar quais regiões remotas do globo terrestre contribuem mais eficientemente em modular as anomalias de convecção em diferentes áreas de manifestação da ZCAS através da propagação de ondas planetárias forçadas pela divergência anômala em altos níveis nos trópicos e subtropicais. Pretende-se também utilizar a análise de ondeletas para identificação do período e da frequência de oscilações atmosféricas que são mais eficientes em produzir condições atmosféricas favoráveis para o desenvolvimento dos eventos de ZCAS. Finalmente, a formulação básica do Filtro de Lanczos para o estudo destas flutuações também será descrita.

3.2.4 Modelo barotrópico divergente e as funções de influência

As funções de influência (FI) ou funções de Green são muito utilizadas em aplicações técnicas de engenharia, como em hidráulica, física médica e em outras áreas quando se deseja conhecer dentro de um determinado domínio físico as regiões que mais influenciam um ponto de interesse. Butkov (1968) apresenta um capítulo sobre a teoria e o cálculo das funções de Green com vários exemplos.

A aplicação das FI no escoamento atmosférico, sujeito à dissipação e a uma forçante, exige a solução numérica de um modelo forçado em cada ponto de grade do domínio de interesse (GRIMM, 1992; GRIMM E SILVA DIAS, 1995; ARAVÉQUIA, 2003; ARAVÉQUIA E SILVA DIAS, 2004). Aravéquia (2003) descreveu que esta forçante pode ser representada pela divergência anômala em altos níveis associada com uma fonte pontual de massa.

No presente estudo o modelo escolhido para o cálculo das FI é o modelo barotrópico espectral divergente (MBED) descrito por Aravéquia (2003), que é baseado nas equações de água rasa na esfera e nas funções de Hough (BONATTI E SILVA DIAS, 1982). O MBED foi desenvolvido por Kasahara (1977) e utilizado por Bonatti e Silva Dias (1982) incluindo nas equações governantes os termos de amortecimento e forçante, onde a inclusão da forçante se dá no campo de altura equivalente, simulando o

efeito de uma fonte pontual de massa. Este modelo permite especificar diretamente uma forçante no campo de massa que está relacionada com a fonte anômala de calor, além de incluir intrinsecamente os efeitos da subsidência de compensação. Em Grimm e Silva Dias (1995) foi necessário especificar não somente a região de divergência em altitude (forçante), como também a região onde a subsidência de compensação deveria ocorrer.

Diferentemente de Bonatti e Silva Dias (1982), Aravéquia (2003) desenvolveu uma versão do MBED em que o termo de interação não-linear é linearizado em torno do estado básico, que é mantido constante durante a integração. Sendo assim, as variáveis prognosticadas do modelo são as próprias amplitudes dos distúrbios do escoamento (u' , v' , h'). No MBED a atmosfera é considerada como um fluido incompressível de densidade constante, com a superfície inferior plana no nível do mar e a superfície superior livre no nível da altura equivalente, aproximadamente em 200 hPa (~ 10 km). Segundo Aravéquia (2003), as FI são construídas a partir do próprio modelo barotrópico, que é representado por uma equação governante que descreve uma relação prognóstica entre a variação no tempo do estado do modelo, devido aos termos lineares, e a presença dos termos não-lineares juntamente com a forçante pontual. A solução da equação governante do MBED segue a teoria de Butkov (1968) sobre as funções de Green para condições iniciais, fornecendo a influência em um determinado tempo sobre o ponto de interesse. Aravéquia (2003) descreve detalhadamente as formulações matemáticas e considerações envolvidas em todo o processo do cálculo das FI com o MBED, não sendo necessário descrevê-las neste estudo.

De uma maneira geral, Aravéquia e Silva Dias (2004) verificaram que o MBED consegue reproduzir satisfatoriamente os resultados dos modelos climáticos, sendo uma alternativa eficiente para investigar os complexos processos físicos que controlam a evolução atmosférica. Outra vantagem deste modelo é a possibilidade de resolver os modos rotacionais (ondas de Rossby) e os modos divergentes (ondas de gravidade), além do efeito das ondas de Kelvin e mistas de Rossby-Gravidade. Os mesmos autores ressaltaram que na integração para longos períodos a resposta estacionária pode ser alcançada em períodos a partir de 50 a 60 dias, onde o padrão espacial e a amplitude das variáveis já não se alteram visivelmente. Eles ainda verificaram que o tempo necessário para se chegar à solução estacionária depende da intensidade da dissipação do modelo,

ou seja, quanto maior o valor, menor será o tempo necessário para alcançar o estado estacionário.

Neste trabalho, as integrações realizadas pelo MBED utilizaram o estado básico climatológico mensal no nível de 200 hPa proveniente do NCEP-NCAR, sendo interpolado para a grade gaussiana equivalente ao truncamento do modelo (R23). Estas integrações foram calculadas considerando o período de 60 dias através da utilização dos estados básicos climatológicos referentes aos meses de outubro a março, com o intuito de verificar quais regiões remotas sujeitas a uma forçante pontual de massa poderiam estar desenvolvendo flutuações de baixa frequência responsáveis em modular episódios de ZCAS em função do comportamento do estado básico. Aravéquia (2003) destacou que para análise do campo básico especificado foi desenvolvida uma rotina que calcula um forçamento no espaço espectral do modelo, sendo capaz de balancear as tendências de dispersão e dissipação linear. Este forçamento é recomposto para o estado físico do modelo e pode ser separado em modos de Rossby, Gravidade e Kelvin, fornecendo informações importantes dos modos do estado básico.

Após a utilização dos campos de FI para a identificação das respectivas regiões fontes de calor que influenciam um determinado ponto de interesse na ZCAS, torna-se interessante combinar este resultado com informações sobre a magnitude e localização das fontes de calor representadas pelos campos médios de AROLE observada em um determinado período. Aravéquia (2003) comentou que através do campo médio de AROLE, as localizações de atividade convectiva intensa ou inibida podem ser identificadas em todo o domínio de estudo, permitindo a visualização de possíveis regiões forçantes para o desenvolvimento das anomalias de baixa frequência. A forçante está associada com a divergência anômala em 200 hPa, representada pela fonte de massa positiva. Aravéquia (2003) utilizou um procedimento de parametrização em que consiste transformar os valores negativos de AROLE em fontes de massa com sinal positivo e este processo basicamente é realizado da seguinte forma:

1 – Primeiramente obtém-se um campo médio de AROLE para um determinado período, ressaltando as regiões com sinais negativos e positivos de AROLE.

2 – Através de uma rotina utiliza-se como dado de entrada o campo médio de AROLE descrito na etapa 1. Este programa lê os valores das anomalias e escreve somente os valores negativos com sinal trocado.

3 – Finalmente as informações selecionadas na etapa 2 são interpoladas para a grade gaussiana do modelo de acordo com o truncamento (R23), preservando apenas os valores da fonte de massa positiva entre as latitudes de 40°S e 40°N em todo o cinturão longitudinal.

Após a parametrização do campo médio de AROLE, a etapa seguinte é obter a resposta ondulatória de baixa frequência da atmosfera devido à presença de alguma fonte pontual de massa em uma determinada região. Aravéquia (2003) descreve a solução para o problema forçado em que a FI deve satisfazer a equação diferencial para qual é calculada. A solução do problema forçado por uma fonte pontual de massa é descrita de acordo com a equação (3.1):

$$\psi(\lambda, \phi, t) = \int_0^t \int_0^{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F(\lambda, \phi, t, \tilde{\lambda}, \tilde{\phi}, \tilde{t}) \tilde{D}(\tilde{\lambda}, \tilde{\phi}, \tilde{t}) \cos(\phi) d\tilde{\phi} d\tilde{\lambda} d\tilde{t} \quad (3.1)$$

onde $\psi(\lambda, \phi, t)$ é um campo escalar qualquer (u, v ou Z), $\tilde{D}(\tilde{\lambda}, \tilde{\phi}, \tilde{t})$ é a forçante (divergência anômala em altos níveis – fonte massa positiva) obtida a partir da parametrização da média de AROLE para um período e $F(\lambda, \phi, t, \tilde{\lambda}, \tilde{\phi}, \tilde{t})$ é o campo de FI considerando uma integração de 60 dias para cada um dos pontos do domínio do modelo no tempo t, devido à forçante no ponto $(\tilde{\lambda}, \tilde{\phi})$ e no tempo \tilde{t} .

O procedimento descrito anteriormente será realizado com os dados observados da média de AROLE em todo cinturão longitudinal considerando um determinado período antes do dia inicial de ocorrência dos eventos de ZCAS a serem analisados. Esta análise destaca quais as regiões que estariam apresentando em média valores anômalos de convecção mais persistentes, o que poderia contribuir mais eficientemente para o desenvolvimento de anomalias de circulação de baixa frequência e, conseqüentemente, afetar no estabelecimento dos padrões de ZCAS. Estes resultados são comparados com o padrão médio da circulação ao longo do período de duração de cada evento a ser

analisado, permitindo verificar qual o potencial desta metodologia em capturar o sinal ondulatório proveniente de alguma fonte de calor remota.

O uso das FI não fornece informações sobre o período das flutuações atmosféricas que estariam envolvidas no processo de estabelecimento, modulação e dissipação dos eventos de ZCAS ao longo de todo o ciclo de vida, sendo necessária também a utilização da transformada de ondeleta e do filtro de Lanczos para identificação e análise das principais oscilações atmosféricas responsáveis pelo desenvolvimento dos padrões de ZCAS.

3.2.5 Análise de ondeletas

3.2.5.1 Transformada de ondeleta contínua

Torrence e Compo (1998) destacaram que a ondeleta pode ser interpretada como um filtro passa-banda, permitindo a identificação dos modos dominantes de variabilidade que apresentam um maior conteúdo de energia em um determinado período.

A transformada de ondeleta pode ser usada para analisar séries temporais que contenham potência (variabilidade) não-estacionária em muitas frequências distintas (TORRENCE E WEBSTER, 1999). A transformada de ondeleta contínua ou “Wavelet Continuous Transform (CWT)” de séries temporais representa a convolução destas séries com funções bases locais, ou função ondeleta, que podem ser transladadas e estendidas com resolução flexível no domínio tempo-frequência (TORRENCE E COMPO, 1998). A CWT da série temporal “d” com respeito à ondeleta φ é definida como:

$$W_{d,\varphi}(s,t) = (d(t) * \varphi_s(t)) \quad (3.2)$$

onde t é o tempo e φ_s é a ondeleta na escala s (que é linearmente relacionada com o período característico da ondeleta). A potência da ondeleta é definida como $|W_{d,\varphi}|^2$, onde destaca quais os modos de variabilidade dominantes em um determinado período (TORRENCE E COMPO, 1998). Os dados “ $d(t)$ ” são limitados no tempo e, portanto, a transformada de ondeleta é afetada pelos efeitos de borda. Seguindo Torrence e Compo (1998), este efeito é analisado através da localização espacial do cone de influência, que considera apenas os sinais de variância destacados dentro de sua área de abrangência. A CWT decompõe as séries temporais dentro do domínio tempo-frequência, permitindo a identificação dos modos de variabilidade dominantes e como estes variam no tempo. No caso da CWT, as funções bases locais mais conhecidas são as de Morlet e de Chapéu Mexicano (TORRENCE E COMPO, 1998). A função aqui utilizada é a ondeleta de Morlet, consistindo de uma onda plana modulada por uma gaussiana, que consegue representar satisfatoriamente as séries temporais de fenômenos geofísicos:

$$\varphi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-\eta^2/2} \quad (3.3)$$

onde $\varphi_0(\eta)$ é a função ondeleta, η é um parâmetro de tempo adimensional e ω_0 é a frequência adimensional, sendo neste caso 6, para satisfazer a condição de admissibilidade (FARGE, 1992; TORRENCE E COMPO, 1998).

3.2.5.2 Ondeleta cruzada, coerência e ângulo de fase

Para a análise da covariância de duas séries temporais segue-se a metodologia proposta por Torrence e Compo (1998), onde o espectro cruzado de ondeleta de duas séries temporais “X” e “Y”, com as transformadas de ondeleta W_X e W_Y , é definido matematicamente como:

$$W_{XY}(s,t) = W_X(s,t) W_Y^*(s,t) \quad (3.4)$$

onde (*) denota o complexo conjugado. De acordo com Torrence e Compo (1998) a potência da ondeleta cruzada é expressa por $|W_{XY}(s,t)|$, indicando quais as regiões que

apresentam potência comum entre duas séries temporais em um específico período. O ângulo de fase de W_{XY} descreve a relação de fase entre “X” e “Y” no domínio tempo-frequência. Os níveis de confiança para a potência da ondeleta cruzada podem ser derivados a partir da raiz quadrada do produto de duas distribuições χ^2 .

A coerência da ondeleta é uma medida da intensidade da covariância (correlação) de duas séries temporais no domínio tempo-frequência, diferentemente da potência de ondeleta cruzada que é uma medida da potência comum entre duas séries. De acordo com Torrence e Webster (1999), a coerência da ondeleta pode ser definida como o quadrado do espectro cruzado de ondeleta normalizado pelo espectro de potência individual. Isto fornece uma quantidade entre 0 e 1 e mede a correlação-cruzada entre duas séries temporais como uma função da frequência. A formulação matemática para a coerência da ondeleta segue Torrence e Webster (1999):

$$R^2(s, t) = \frac{|S(s^{-1}W_{XY}(s, t))|^2}{S(s^{-1}|W_X(s, t)|^2) \cdot S(s^{-1}|W_Y(s, t)|^2)} \quad (3.5)$$

onde S é um operador suavização e pode ser escrito da seguinte forma:

$$S(W) = S_{escala}(S_{tempo}(W_n(s))) \quad (3.6)$$

onde S_{escala} denota a suavização ao longo do eixo da escala da ondeleta e S_{tempo} , no tempo. Para a ondeleta de Morlet o operador suavizante assume a seguinte forma:

$$S_{tempo}(W)|_s = (W(t, s) * c_1 e^{\frac{-t^2}{2s^2}})|_s \quad (3.7)$$

$$S_{escala}(W)|_t = (W(t, s) * c_2 \Pi(0.6s))|_t \quad (3.8)$$

onde c_1 e c_2 são constantes de normalização e Π é a função retangular. O fator de 0.6 é a escala de comprimento de correlação empiricamente determinada para a ondeleta de Morlet.

Torrence e Webster (1999) estimaram os níveis de significância da coerência somente através do espectro de ruído branco, mas no presente trabalho utiliza-se a metodologia de Grinsted et al. (2004) considerando o método de Monte Carlo com o espectro de ruído vermelho para determinação do nível de 95% (ou 5%) de significância estatística da coerência e do espectro cruzado de ondeleta.

A diferença entre os ângulos de fase determinada pelos métodos de ondeleta cruzada e coerência é essencialmente a suavização utilizada no método de coerência da ondeleta. Portanto, por simplicidade, somente analisa-se os ângulos de fase e os intervalos de confiança determinados pela análise de coerência (GRINSTED et al., 2004). Esta análise tem a mesma representação e também utiliza o mesmo campo de vetores da ondeleta cruzada, no entanto, o sinal é destacado somente em regiões espectrais correlacionadas. Todavia, sua relevância é dependente da energia encontrada sobre as frequências associadas em cada variável e também da ondeleta cruzada, sendo importante combinar toda a informação para obter a correta interpretação (BARBOSA, 2007).

A interpretação física dos ângulos de fase entre duas séries temporais pode ser avaliada de acordo com a Fig. 3.3 (GRINSTED et al., 2004; BARBOSA, 2007). Barbosa (2007) comenta que se deve saber qual série temporal é processada primeiramente no cálculo da transformada de ondeleta cruzada e da coerência, para que seja válido o esquema da Fig. 3.3.

- Interpretação física da Fig. 3.3 (vetores apontam na direção dos números):

- 1) Série 1 completamente em fase com a série 2.
- 2) Série 1 avançada 45° da série 2. A série 2 responde em $1/8$ do período.
- 3) Série 1 avançada 90° da série 2. A série 2 responde em $1/4$ do período.
- 4) Série 1 avançada 135° da série 2. A série 2 responde em $3/8$ do período.
- 5) Série 1 e série 2 estão em fases opostas.
- 6) Série 2 avançada 135° da série 1. A série 1 responde em $3/8$ do período.
- 7) Série 2 avançada 90° da série 1. A série 1 responde em $1/4$ do período.
- 8) Série 2 avançada 45° da série 1. A série 1 responde em $1/8$ do período.

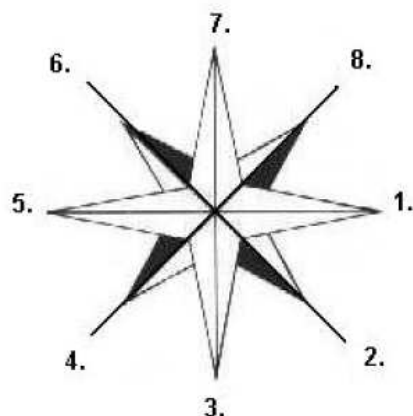


Figura 3.3 – Relação do ângulo de fase entre duas séries temporais (Série 1 x Série 2).
Fonte: Barbosa (2007).

A obtenção da transformada de ondeleta cruzada e da coerência entre duas séries temporais pode ser resumida da seguinte forma: o processo inicial consiste no cálculo da transformada de ondeleta cruzada a partir de duas CWT, destacando-se quais as regiões com alta potência comum entre as duas séries temporais e como os ângulos de fase estão distribuídos espacialmente. A coerência também é calculada a partir de duas CWT, informando qual o grau de correlação entre duas séries temporais e qual o nível de significância no domínio tempo-frequência. Diferentemente da ondeleta cruzada, nas figuras de coerência o ângulo de fase é apresentado apenas nas regiões com intervalos de confiança pré-determinados. Em ambas as análises, a diferença entre os ângulos de fase será representada por vetores, considerando apenas as informações descritas na análise da coerência entre duas séries temporais.

Para aplicações de ondeletas neste trabalho, o tamanho das séries temporais obtidas para determinados pontos de latitude por longitude nas três áreas de atuação da ZCAS e em pontos remotos do globo terrestre é ampliado para cerca de um ano antes do dia inicial de um episódio de ZCAS até dois meses após o último dia de registro de ocorrência do respectivo evento a ser analisado. Este critério amplia a extensão espacial do cone de influência, permitindo a análise de oscilações intrassazonais de mais baixa frequência contidas dentro da área de abrangência do mesmo.

3.2.6 Filtro de Lanczos

O objetivo geral de um filtro é alterar as amplitudes de Fourier que descrevem a série e isto é feito quando se altera a série de dados utilizando pesos com o intuito de produzir uma nova sequência de dados (DUCHON, 1979). O Filtro de Lanczos é um filtro passa-banda que tem sido extensivamente utilizado para o tratamento de dados meteorológicos, como por exemplo, nos trabalhos de Kousky e Kayano (1992; 1994).

O filtro de Lanczos transforma uma sequência de dados de entrada (X_t), sendo t o tempo, em uma sequência de dados de saída (Y_t), usando uma relação linear (DUCHON, 1979):

$$Y_t = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} w_k X_{t-k} \quad (3.9)$$

sendo w_k o peso escolhido.

A relação entre a entrada ($X(f)$) e a saída ($Y(f)$) é obtida através da transformada de Fourier de (3.9):

$$Y(f) = R(f).X(f) \quad (3.10)$$

sendo $R(f)$ a função resposta de frequência.

A função peso e a função resposta contêm um par de transformadas de Fourier:

$$R(f) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} w_k \exp(2ikf\pi\Delta) \quad (3.11)$$

$$w_k = \frac{1}{2f_n} \int_{-f_n}^{f_n} R(f) \exp(2ikf\pi\Delta) \partial f \quad (3.12)$$

onde $k=\dots,-1,0,1$, Δ o intervalo de amostragem e f_n a frequência de Nyquist com valor de $\frac{1}{2}$ ciclo por intervalo de amostragem.

A função peso para o filtro passa-banda de Lanczos é dada por:

$$w_k = \left(\frac{\text{sen}2\pi f_{c2} k}{\pi k} \right) - \left(\frac{\text{sen}2\pi f_{c1} k}{\pi k} \right) \quad (3.13)$$

sendo f_{c1} e f_{c2} os limites das frequências que serão mantidas.

O número mínimo de pesos requerido para o filtro passa-banda de Lanczos é dado por:

$$n \geq \frac{1,3}{f_{c2} - f_{c1}} \quad (3.14)$$

Conforme visto em Duchon (1979), um número maior de pesos que o mínimo necessário produz uma função resposta mais próxima da janela retangular ideal que se deseja obter. O efeito indesejável de um maior número de pesos é a perda de um maior número de dados nas extremidades da série a ser filtrada. Uma das características positivas da utilização deste filtro é que a resposta obtida apresenta um mínimo na oscilação Gibbs, dependendo da escolha correta do número de pesos (DUCHON, 1979). No presente estudo, optou-se por utilizar $n=121$ para todas as bandas temporais. Desta forma, a nova série temporal para as anomalias filtradas passará de 01/jan/1990 a 31/dez/2009 para o período de 02/03/1990 a 01/11/2009.

Inicialmente o filtro é aplicado nas séries temporais das AROLE retendo-se a banda intrassazonal de 10-90 dias e a banda de alta frequência na escala de tempo de 2-10 dias. A escolha destas duas bandas temporais tem como objetivo avaliar a importância da intrassazonalidade em todo seu espectro de atuação (10-90 dias), bem como uma possível influência dos transientes (2-10 dias) associados com as passagens de sistemas frontais nas regiões de manifestação da ZCAS. As anomalias de ROLE e de

circulação em 200 hPa são filtradas na escala de tempo de 30-60 dias, onde está confinada uma das principais oscilações intrassazonais tropicais que contribuem para modular as anomalias de convecção sobre a AS (KOUSKY E KAYANO, 1994). A utilização específica das anomalias de convecção e de circulação em 30-60 dias tem como objetivo analisar as influências ao longo de todo o ciclo de vida da OMJ sobre a modulação de episódios de ZCAS nas três distintas áreas de estudo, verificando se uma determinada fase desta flutuação pode promover preferencialmente o desenvolvimento de episódios de ZCAS em cada região de manifestação. A filtragem das anomalias em 10-30 dias também é descrita, podendo-se verificar a contribuição da forçante intrassazonal em uma frequência relativamente mais alta, referida neste estudo como faixa intermediária. A análise na faixa intermediária deve considerar que uma parte da variância pode estar contida nos transientes de frequência mais baixa, entre 10-15 dias, dificultando de certa forma uma associação direta com a forçante remota relacionada à divergência anômala em altos níveis. Grimm e Silva Dias (1995) comentaram que as fontes de calor nos trópicos estão associadas preferencialmente com a modulação de anomalias intrassazonais de baixa frequência.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados inicialmente descrevem o comportamento médio de cada padrão de ZCAS destacando especialmente os modos de variabilidade das anomalias de convecção e da circulação em 200 hPa associados com as propagações da OMJ e dos trens de ondas de Rossby que possibilitam o desenvolvimento de diferentes estruturas espaciais apresentadas pelos episódios de ZCAS. A influência de forçantes remotas da variabilidade intrassazonal que auxiliam na formação e manutenção da ZCAS é investigada utilizando FI calculadas com um modelo barotrópico divergente e também através da análise de ondeletas para verificação do período associado com as flutuações atmosféricas envolvidas em todo o processo de modulação da ZCAS.

4.1 Análise estatística dos padrões de ZCAS

A Tabela 4.1 apresenta o número de ocorrência mensal de episódios de ZCAS para os meses de outubro a março do período de 1990 a 2009. A maior quantidade de eventos está presente durante o mês de janeiro, enquanto a mínima no mês de outubro. Este resultado pode estar relacionado, no âmbito regional, com a máxima atividade do ciclo sazonal da convecção sobre grande parte da região tropical do Brasil entre os meses de dezembro e fevereiro (HOREL et al., 1989), podendo contribuir, juntamente com a incursão de sistemas frontais nos subtropicais do Atlântico sul, para o desenvolvimento de condições atmosféricas favoráveis ao estabelecimento de um maior número de episódios de ZCAS (QUADRO, 1993) em comparação com os outros meses de análise. Nota-se que nos meses de outubro e março o número de ocorrência de eventos é reduzido, destacando, por exemplo, a importância do regime de monção de verão no processo de modulação da ZCAS (ZHOU E LAU, 1998; JONES E CARVALHO, 2002). De acordo com Zhou e Lau (1998), no mês de outubro o regime de monção está em sua fase referida como “Pré-Monção”, onde as características da circulação de verão ainda não estão bem estabelecidas, enquanto em março a fase da monção é referida como “Pós-Monção”, um período em que os padrões da circulação de verão já estão em fase de enfraquecimento ou dissipação, indicando uma possível contribuição para a redução no número de eventos em relação aos meses de máxima ocorrência, quando a monção está em sua fase mais ativa. No contexto interanual, Ferreira et al. (2004) verificaram que a ZCAS tende a apresentar uma maior

variabilidade na frequência de ocorrência durante as fases neutra e positiva do ENOS, enquanto na fase negativa existe uma tendência de ocorrência de até 3 episódios ao longo do trimestre de dezembro a fevereiro.

Tabela 4.1 – Número de ocorrência mensal de episódios de ZCAS para os meses de outubro a março do período de 1990 a 2009.

Mês	N. de ocorrência de eventos
Outubro	3
Novembro	15
Dezembro	17
Janeiro	23
Fevereiro	14
Março	9

No que se compete à análise da frequência de ocorrência mensal de eventos para cada padrão de ZCAS, a Fig. 4.1 apresenta informações que destacam o seguinte comportamento ao longo de todo o período de estudo:

- 1 - Outubro: O número de ocorrência de eventos é o mesmo em cada padrão, o que não permite identificar qual comportamento da ZCAS preferencialmente se manifesta neste mês.
- 2 - Novembro: Durante este mês os episódios do padrão norte apresentam a maior frequência de ocorrência, totalizando 40% dos casos, seguido do padrão central e sul, respectivamente.
- 3 - Dezembro: Os episódios do padrão central representam 65% do número de ocorrência de eventos neste mês.
- 4 - Janeiro: Os episódios do padrão sul somam cerca de 50% do número total de casos, enquanto a distribuição para os padrões central e norte é similar.
- 5 - Fevereiro e Março: O número de ocorrência de eventos em cada padrão é aproximadamente similar durante estes dois meses, destacando um maior percentual para eventos do padrão sul e uma menor frequência de ocorrência para os eventos do padrão norte, um comportamento inverso ao apresentado no mês de novembro.

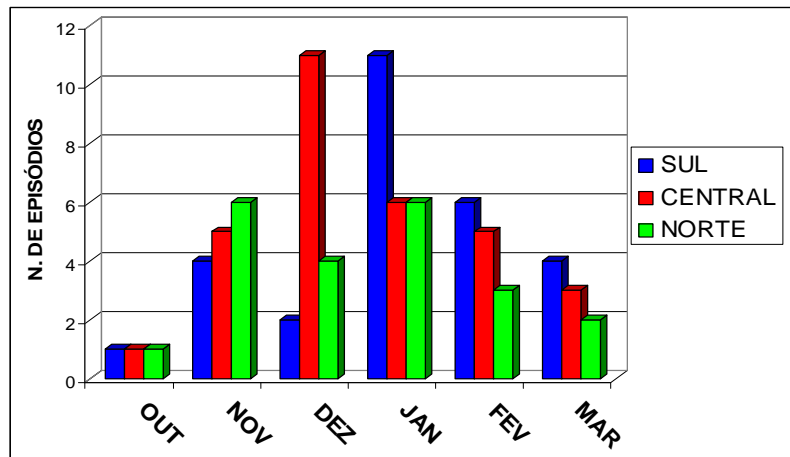


Figura 4.1 - Gráfico ilustrando a frequência de ocorrência mensal de episódios para cada padrão de ZCAS nos meses de outubro a março do período de 1990 a 2009.

Estes resultados sugerem que a ZCAS tende a se manifestar preferencialmente ao norte de sua posição climatológica durante os primeiros meses de ocorrência (novembro e dezembro), enquanto episódios ao sul da climatologia se desenvolvem com mais frequência entre os meses de janeiro e março. Quadro (1993) verificou comportamento semelhante e sugeriu que esta variabilidade intrassazonal pode estar relacionada com variações no posicionamento do centro da Alta da Bolívia, do cavado do nordeste e do cavado a sotavento dos Andes, na média troposfera. Ele ressalta que variações na localização destes três sistemas podem contribuir tanto para a variabilidade do posicionamento da ZCAS quanto para o seu rompimento. Do ponto de vista de influências remotas na escala de tempo intrassazonal em 30-90 dias, Cunningham e Cavalcanti (2006) observaram que episódios de ZCAS que ocorrem ao sul da posição climatológica são preferencialmente modulados por trens de ondas de Rossby provenientes do Pacífico sul associados com o padrão PSA, enquanto eventos que ocorrem ao norte são mais influenciados pela atividade intrassazonal da OMJ. Na escala de tempo interanual, Quadro (1993) sugeriu que a ZCAS tende a se desenvolver com maior frequência ao sul da climatologia durante os anos de fase negativa do ENOS em associação com o deslocamento da CT de grande escala para o noroeste da AS.

Nas próximas seções, 4.2, 4.3 e 4.4, serão descritos os principais aspectos do comportamento médio de cada padrão de ZCAS considerando composições de todos os eventos. Este tipo de análise permitirá identificar quais estruturas espaciais da

convecção que em média estão associadas com a manifestação de um determinado padrão de ZCAS. O estudo das influências remotas será investigado basicamente no contexto intrassazonal, enfatizando as relações existentes entre a propagação da OMJ, a teleconexão do tipo trópico-extratropical e a consequente modulação da ZCAS em uma determinada região preferencial de manifestação. As fontes anômalas de calor responsáveis em produzir as anomalias intrassazonais são identificadas através das FI de um modelo barotropical divergente considerando diferentes pontos de interesse nas regiões de atuação da ZCAS.

Ao final de cada seção, que descreve individualmente o comportamento médio de cada padrão de ZCAS, será apresentado um estudo de caso com o objetivo de aplicar a metodologia descrita no capítulo 3, buscando identificar as principais diferenças e similaridades observadas em cada tipo de estrutura espacial da ZCAS. Esta investigação será feita através de observações dos diagramas de longitude x tempo, da análise de ondeletas e dos campos combinados entre a FI e a fonte de massa derivada da AROLE. O critério para seleção do episódio subjetivamente deve considerar que o evento tenha ocorrido no mês de maior frequência de ocorrência do respectivo padrão de ZCAS e que apresente a mais longa duração, simultaneamente. Este estudo permitirá a identificação das regiões preferenciais que influenciam no estabelecimento da ZCAS, possibilitando verificar com certo tempo de antecedência quando um específico sinal ondulatório alcança uma determinada região de atuação do fenômeno, seja no contexto de teleconexão do tipo trópico-trópico ou trópico-extratropical. O objetivo principal desta linha de pesquisa é verificar qual o potencial desta metodologia em capturar o sinal atmosférico intrassazonal que afeta no estabelecimento dos três tipos de padrões de ZCAS, auxiliando na análise observacional e na previsibilidade a médio e longo prazo.

4.2 Padrão Sul

A Tabela 4.2 apresenta informações sobre o período de ocorrência e a duração dos 28 eventos de ZCAS que apresentaram em média a AROLE negativa concentrada na área sul. A duração média destes eventos é de 6 a 7 dias e o mês de maior frequência de ocorrência é janeiro, totalizando 11 episódios. O evento de mais longa duração persistiu na área sul por 13 dias e coincidentemente ocorreu durante o mês de janeiro.

Este episódio é referido como S9 e será analisado no estudo de caso no final desta seção.

Tabela 4.2 – Episódios de ZCAS ocorridos na área sul.

Evento	Período de ocorrência	Duração (dias)
S1	27/Jan/1991 – 03/Fev/1991	8
S2	22/Fev/1993 – 27/Fev/1993	6
S3	10/Jan/1994 - 14/Jan/1994	5
S4	01/Mar/1996 - 11/Mar/1996	11
S5	02/Jan/1997 – 08/Jan/1997	7
S6	20/Jan/1997/ - 29/Jan/1997	10
S7	14/Nov/1997 –19/Nov/1997	6
S8	12/Fev/1998 – 16/Fev/1998	5
S9	06/Jan/1999 – 18/Jan/1999	13
S10	19/Fev/1999 – 28/Fev/1999	10
S11	01/Jan/2000 – 08/Jan/2000	8
S12	25/Jan/2003 – 01/Fev/2003	8
S13	25/Jan/2004 – 29/Jan/2004	5
S14	20/Fev/2004 – 24/Fev/2004	5
S15	21/Dez/2004 –25/Dez/2004	5
S16	17/Jan/2005 – 21/Jan/2005	5
S17	15/Mar/2005 – 20/Mar/2005	6
S18	17/Nov/2005 –21/Nov/2005	5
S19	01/Jan/2006 – 08/Jan/2006	8
S20	27/Jan/2006 – 02/Fev/2006	7
S21	09/Fev/2006 – 13/Fev/2006	5
S22	26/Nov/2006 –02/Dez/2006	7
S23	19/Mar/2007 – 23/Mar/2007	5
S24	22/Out/2007 – 26/Out/2007	5
S25	04/Nov/2007 –07/Nov/2007	4
S26	19/Dez/2007 –24/Dez/2007	6
S27	12/Mar/2008 – 17/Mar/2008	6
S28	12/Fev/2009 – 16/Fev/2009	5

4.2.1 Comportamento médio

4.2.1.1 Distribuição horizontal da AROLE

A composição da média dos 28 eventos ao longo de seus respectivos períodos de ocorrência para a AROLE não-filtrada é indicada pela Fig. 4.2.(a). O comportamento médio evidencia uma distribuição de valores negativos desde o norte do Brasil até o Atlântico sul subtropical, juntamente com anomalias de convecção concentradas no noroeste da AS e na região climatológica da ZCIT. As regiões com valores positivos de AROLE estão localizadas a sudoeste e a nordeste da área sul de manifestação da ZCAS. Este tipo de estrutura espacial foi ilustrado pelo quarto modo de variabilidade obtido por Kousky e Cavalcanti (1988), onde os autores utilizaram médias de 5 dias (ou pêntadas) dos dados diários das AROLE e das anomalias das componentes meridional e zonal do vento em 250 hPa com o intuito de identificar quais os principais padrões de variabilidade da convecção e da circulação sobre a AS e adjacências durante o verão austral através de uma análise de EOF. Segundo Kousky e Cavalcanti (1988) esta variabilidade da convecção está associada com a manifestação de distúrbios provenientes dos extratropicais, contendo a maior parte da variância na escala de tempo intrassazonal e na de mais alta frequência, como por exemplo, os sistemas frontais.

Para investigar de uma maneira geral a possível influência das oscilações intrassazonais e dos transientes de alta frequência no desenvolvimento deste padrão de AROLE não-filtrada, as Figs. 4.2.(b) e 4.2.(c) apresentam uma composição da média dos 28 eventos ao longo de seus respectivos períodos de ocorrência para a AROLE filtrada nas bandas temporais de 10-90 dias e 2-10 dias, respectivamente. A estrutura espacial na escala de tempo de 10-90 dias evidencia um comportamento que captura satisfatoriamente as características apresentadas pelas anomalias não-filtradas, destacando a importância destas oscilações no processo de modulação. Este padrão de variabilidade se assemelha em certos aspectos com o quarto modo de EOF das AROLE intrassazonais filtradas na escala temporal de 30-90 dias obtido por Cunningham e Cavalcanti (2006). A Fig. 4.2.(d) ilustra este resultado e segundo os autores, este modo está associado preferencialmente com a influência do PSA no estabelecimento da ZCAS. Cunningham e Cavalcanti (2006) ainda verificaram que esta distribuição

espacial da AROLE representa a manifestação da ZCAS na escala de tempo intrassazonal, onde o dipólo de AROLE entre o sul e sudeste do Brasil aparece destacado (CASARIN E KOUSKY, 1986; NOGUÉS-PAEGLE E MO, 1997). As oscilações compreendidas na escala temporal entre 2-10 dias mostram sinais anômalos de convecção na região da ZCAS, indicando, por exemplo, a influência de sistemas frontais no estabelecimento dos eventos na área sul. De acordo com Quadro (1993) e Figueroa (1999), a ZCAS inicialmente se estabelece através da incursão de um sistema frontal nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul, contribuindo para ativar a convecção sobre o Brasil central e organizar a faixa de nuvens estacionária com extensão para o Atlântico sul. Figueroa (1999) ainda verificou que alguns episódios enfraquecidos podem ser reforçados com a incursão de novos transientes de alta frequência na área de atuação da ZCAS.

O padrão de AROLE não-filtrada ilustra a presença da ZCAS localizada ligeiramente ao sul da posição climatológica (Fig. 3.1), mostrando que este comportamento é o resultado da componente intrassazonal oscilando em fase com os transientes de alta frequência, contribuindo para reproduzir uma estrutura espacial típica de um episódio de ZCAS.

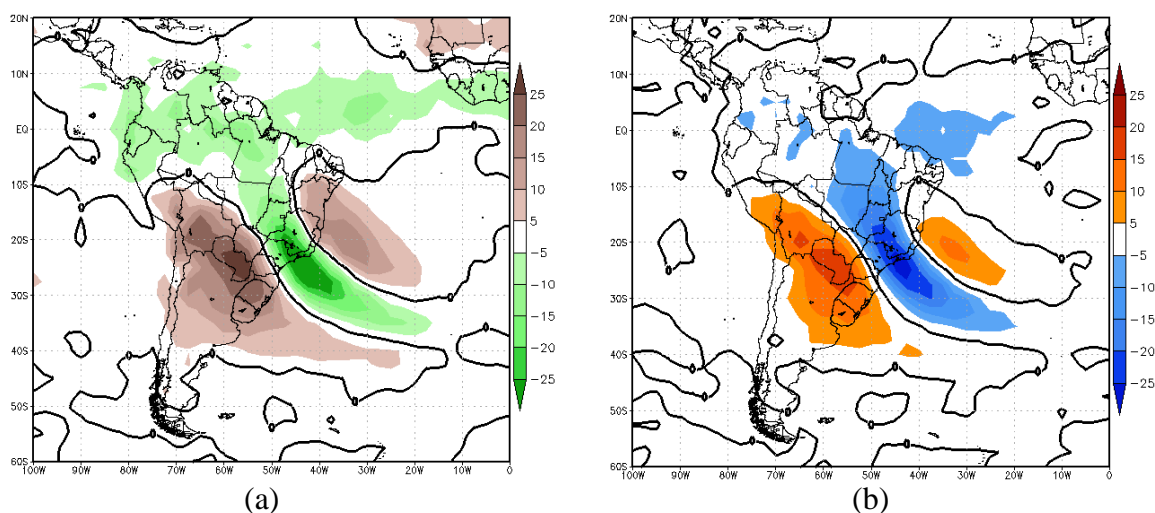


Figura 4.2 - Composição da média dos 28 eventos ao longo de seus respectivos períodos de ocorrência para a AROLE (a) não-filtrada; (b) filtrada em 10-90 dias; e (c) filtrada em 2-10 dias; (d) EOF4 da AROLE filtrada em 30-90 dias (Fonte: Cunningham e Cavalcanti, 2006). Os contornos sólidos espessos indicam a linha do zero em todas as figuras. Em (d) o intervalo das anomalias é de 2 W/m^2 e os quadrados em preto representam posições preferenciais de manifestação da ZCAS. (Continua).

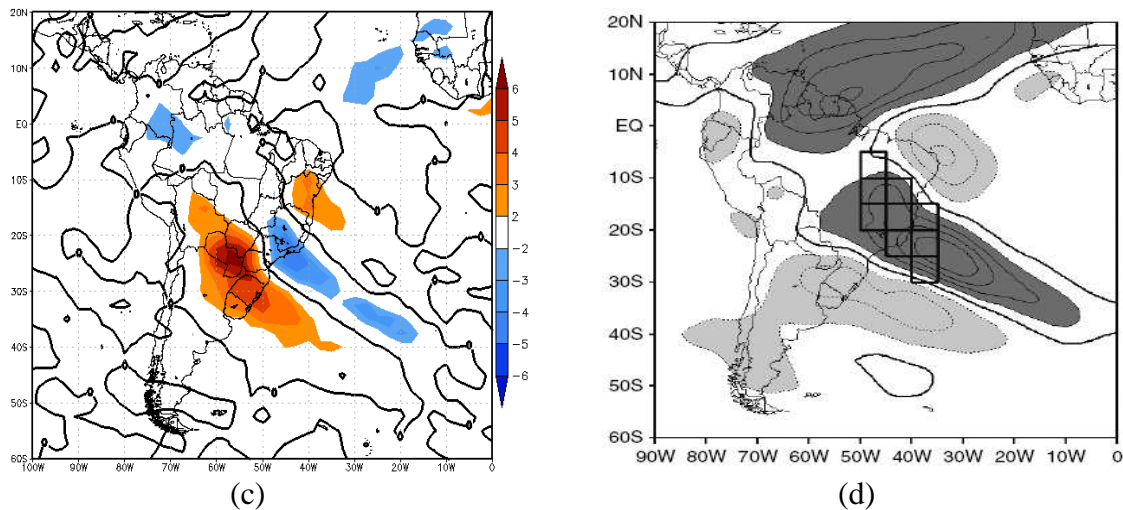


Figura 4.2 – Conclusão.

4.2.1.2 Oscilação de 30-60 dias

O principal modo de variabilidade intrassazonal que modula as anomalias de convecção na atmosfera tropical é a oscilação de 30-60 dias ou OMJ (KILADIS E WEICKMANN, 1992; KOUSKY E KAYANO, 1994). Com o intuito de verificar o comportamento desta oscilação ao longo de todo o seu ciclo de vida em associação com a manifestação de episódios de ZCAS na área sul, a Fig. 4.3 apresenta uma sequência de composições conjuntas dos 28 eventos para as anomalias de ROLE (sombreado), linha de corrente e vetor vento em 200 hPa filtradas em 30-60 dias considerando defasagens de -30 dias até o dia inicial de cada evento (lag 0) em intervalos de 5 dias. Apenas as AROLE mais positivas (negativas) do que 2 (-2) W/m^2 são mostradas em sombreado escuro (claro).

As defasagens de -30 dias (Fig. 4.3.(a)) e de -25 dias (Fig. 4.3.(b)) mostram sinais de inibição na área sul da ZCAS da mesma forma que no centro-oeste do Pacífico sul tropical. Anomalias de convecção aparecem concentradas sobre o Índico e centro-leste da Indonésia, evidenciando uma propagação para leste típica da OMJ (KOUSKY E KAYANO, 1994). A resposta extratropical da atmosfera mostra a presença de um par de circulações ciclônicas a norte - noroeste e a sul - sudoeste da área de inibição no centro-oeste do Pacífico sul, revelando uma teleconexão do tipo trópico-extratropical em ambos os hemisférios. No hemisfério sul este comportamento contribui para a

modulação de uma circulação anticiclônica no sudoeste do Atlântico sul, responsável pelo desenvolvimento das AROLE positivas na área sul da ZCAS (CASTRO, 2009).

Nas defasagens de -20 dias (Fig. 4.3.(c)) e de -15 dias (Fig. 4.3.(d)) verifica-se um fortalecimento das AROLE positivas na área sul da ZCAS, evidenciando uma conexão com a porção norte da AS, o que demonstra uma estrutura espacial semelhante ao comportamento médio intrassazonal do padrão sul (Fig. 4.2.(b)), mas com sinal inverso. Nota-se a presença de AROLE negativas na área central da ZCAS em associação com a circulação ciclônica centrada no oeste do Atlântico sul subtropical, nas proximidades do sudeste do Brasil. A propagação da convecção na região da Indonésia revela um deslocamento para leste em relação aos 10 dias anteriores, contribuindo para ativar a convecção no oeste do Pacífico tropical. A estrutura espacial da circulação não evidencia mudanças abruptas em comparação com os dias anteriores, mas existe um enfraquecimento no par de circulações ciclônicas localizadas no oeste do Pacífico tropical, uma em cada hemisfério, juntamente com uma desorganização da atividade anticiclônica nas proximidades da região de atuação da ZCAS, principalmente na defasagem de -15 dias.

Com -10 dias de defasagem (Fig. 4.3.(e)) observa-se um enfraquecimento das AROLE positivas na área sul da ZCAS em associação com a presença de uma circulação ciclônica no sudoeste do Atlântico sul que está conectada com um trem de ondas de Rossby forçado pela convecção anômala no centro-oeste do Pacífico sul (KILADIS E WEICKMANN, 1992). A estrutura espacial da AROLE é similar a EOF1 das AROLE filtradas em 30-90 dias obtida por Castro (2009) (Fig. 2.1.(a)). O autor destaca o dipólo convectivo entre o leste do Índico e o centro-oeste do Pacífico sul, revelando oscilações em fase (defasadas) entre a ZCAS e a ZCPS (o centro-leste do Índico). Na defasagem de -5 dias (Fig. 4.3.(f)) nota-se uma intensificação das anomalias de convecção na área sul da ZCAS ao mesmo tempo em que a inibição da convecção se propaga para o leste do Índico e Indonésia, um aspecto observado em outros estudos (KOUSKY E KAYANO, 1992; CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006).

Finalmente no dia inicial de ocorrência dos episódios de ZCAS na área sul (Fig. 4.3.(g)) observa-se uma faixa de AROLE negativa bem organizada se estendendo desde

o norte da AS até o Atlântico sul, representando a manifestação intrassazonal da ZCAS (CASTRO, 2009). Nesta fase da OMJ já se verifica novos sinais de inibição da convecção sobre o leste do Índico e Indonésia, indicando uma oscilação com período médio de 40-50 dias (MADDEN E JULIAN, 1994; CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006; entre outros). A EOF3 para as AROLE filtradas em 30-90 dias, obtida por Castro (2009), representa aproximadamente esta fase da OMJ, destacando AROLE com mesmo sinal entre a região de atuação da ZCPS, a área central da ZCAS e o extremo leste do Índico (Fig. 2.1.(c)). Sugere-se um ligeiro deslocamento das anomalias de convecção na região da ZCPS para o sudoeste da linha de data entre as defasagens de -10 dias e 0 dia (Figs. 4.3 (e), (f) e (g)), simultaneamente com o surgimento de convecção anômala na área sul da ZCAS.

Este comportamento médio do sinal intrassazonal das AROLE possivelmente está indicando que a transição de fase da OMJ a partir do primeiro modo (Fig. 2.1.(a)) para o terceiro modo (Fig. 2.1.(c)) de variabilidade representa a modulação intrassazonal da convecção na área sul da ZCAS através da ação dos trens de ondas resultantes da interação trópico-extratropical.

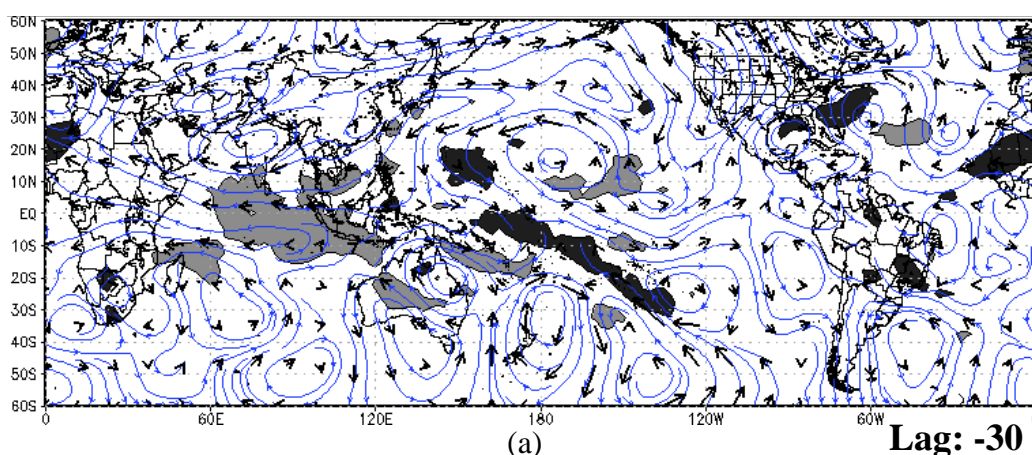


Figura 4.3 - Composições dos 28 eventos para as anomalias de ROLE (sombreado), linha de corrente e vetor vento em 200 hPa filtradas em 30-60 dias em defasagens de (a) -30 dias; (b) -25 dias; (c) -20 dias; (d) -15 dias; (e) -10 dias; (f) -5 dias; e (g) 0 dia antes do início de cada evento. Apenas AROLE mais positivas (negativas) do que 2 (-2) W/m² são mostradas em sombreado escuro (claro). (Continua).

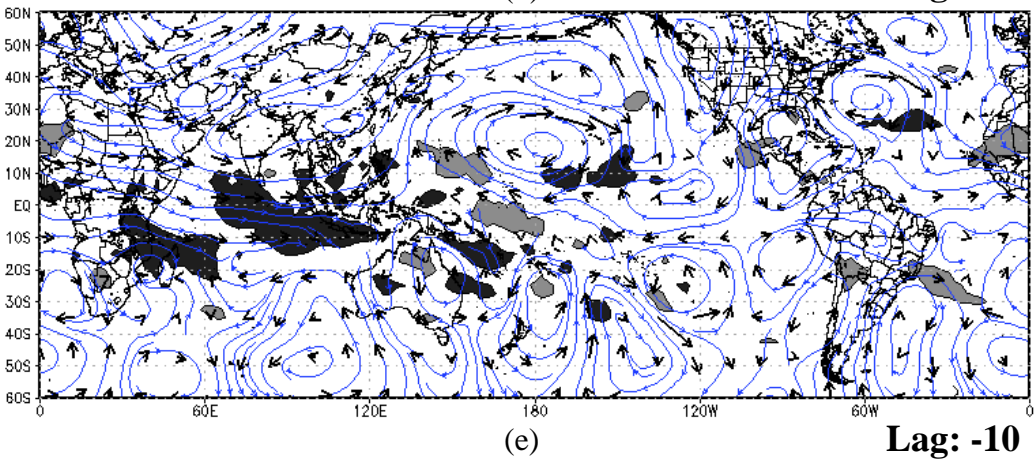
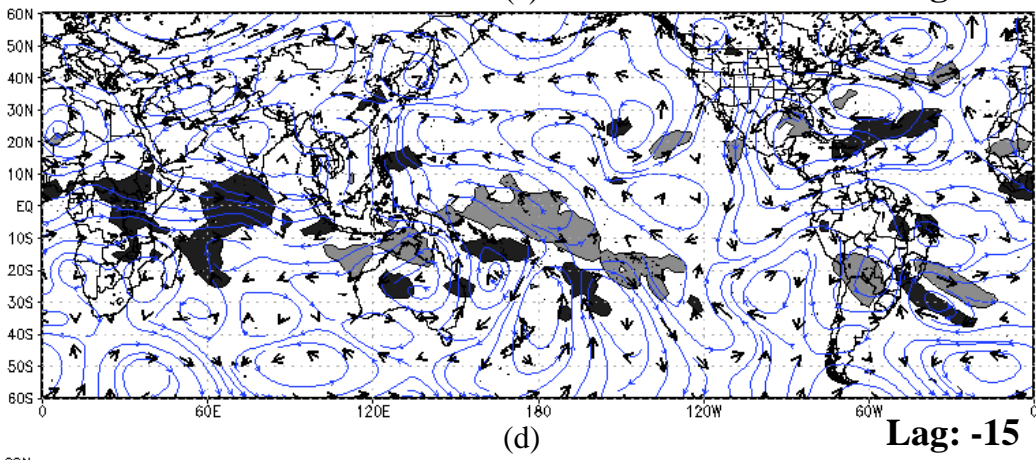
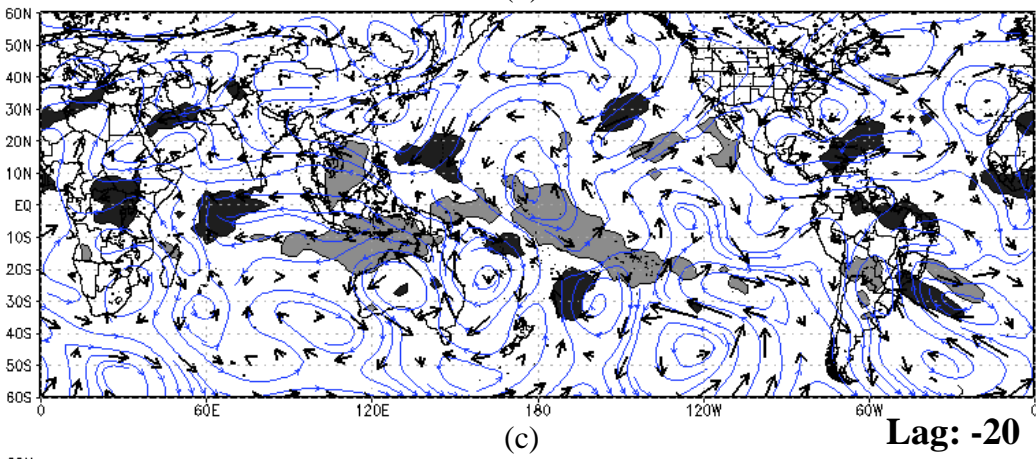
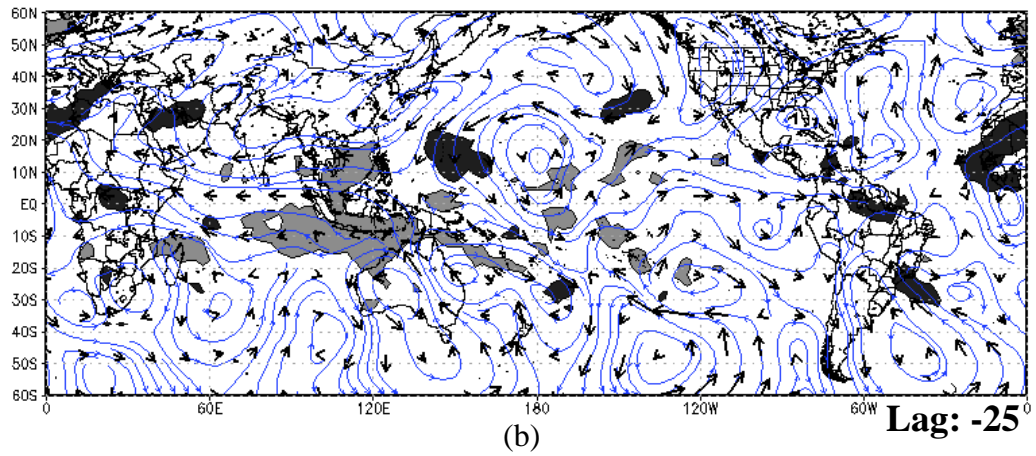


Figura 4.3 – Continuação (Continua).

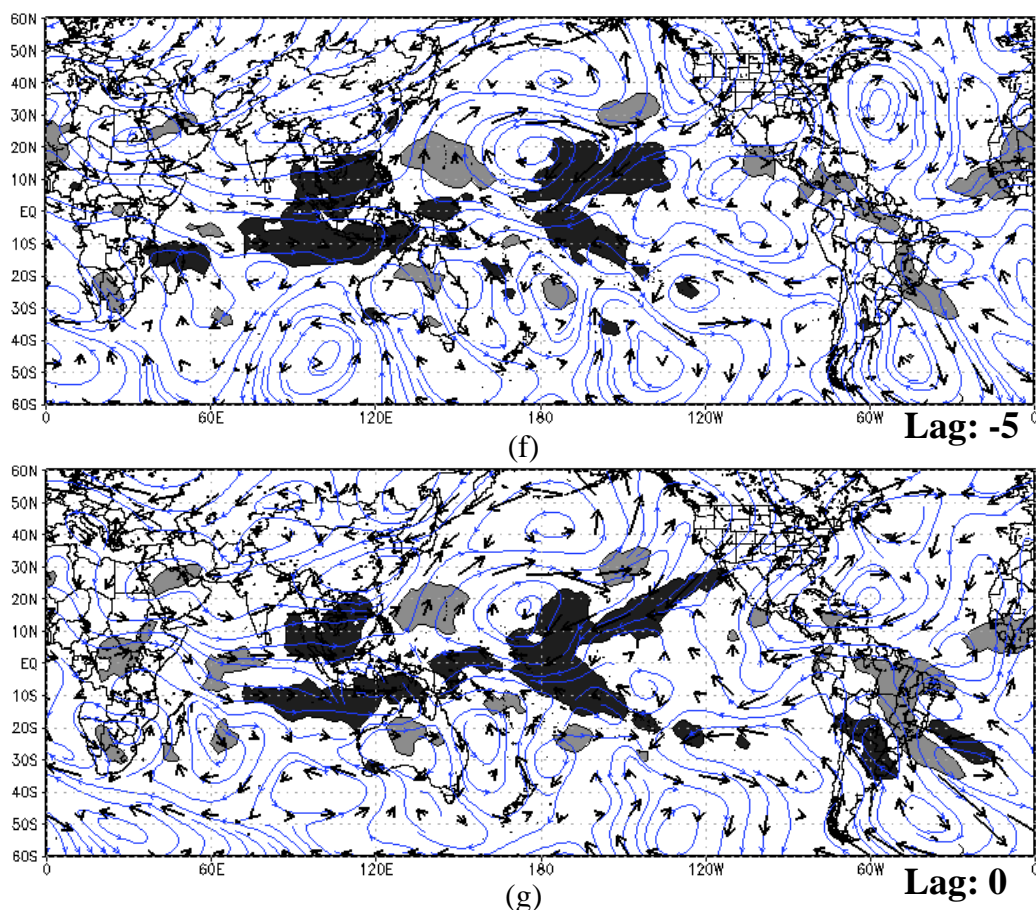


Figura 4.3 – Conclusão.

4.2.2 Estudo de caso: ZCAS S9

O episódio selecionado para o estudo de caso é o S9, que teve início em 06/jan/1999 e término em 18/jan/1999 (Tabela 4.2). A Fig. 4.4 apresenta uma imagem de temperatura de brilho média referente ao período do evento, além do campo médio de AROLE não-filtrada para o mesmo período. A presença da ZCAS na área sul é destacada em ambas as figuras, tanto nos valores mais negativos de AROLE (Fig. 4.4.(b)) quanto nos mais baixos valores de temperatura de brilho representados pelos tons de cinza mais claros (Fig. 4.4.(a)).

A análise do espectro de ondeleta tem como objetivo extrair de uma série temporal informações sobre a amplitude e a escala temporal das flutuações atmosféricas com maior quantidade de energia em um determinado tempo. No caso do evento S9, considera-se arbitrariamente um ponto de latitude por longitude na área sul da ZCAS. Este ponto base é indicado na Fig. 4.4.(b), onde a série temporal da AROLE não-filtrada

é extraída servindo como informação básica para a análise de ondeletas. A transformada de ondeleta foi aplicada sobre a série temporal diária com início em 01/jan/1998 e término em 31/mar/1999. A função base ou “ondeleta-mãe” é a Morlet, que é uma onda senoidal modulada por uma gaussiana (TORRENCE E COMPO, 1998). A menor escala resolvida na análise tem 2 dias e a maior 128 dias, onde a distribuição de potência é apresentada na forma do campo de potência de 2 em função do tempo e da escala da ondeleta. Valores negativos (positivos) de potência indicam que uma dada escala do espectro de potência participa com pequena (grande) amplitude na composição do sinal da série temporal.

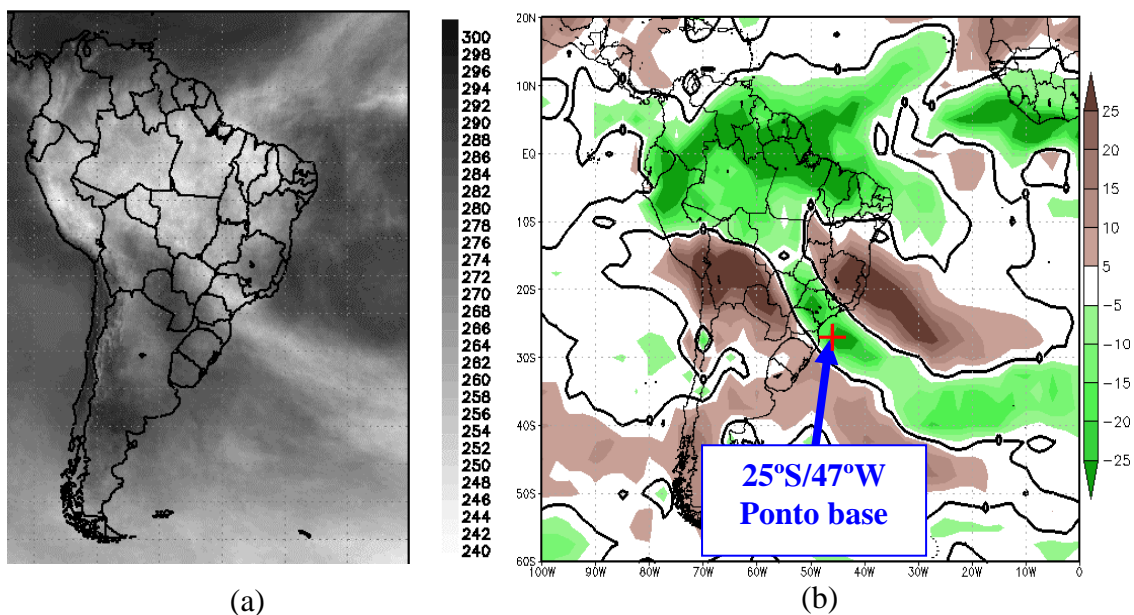


Figura 4.4 - (a) Temperatura de brilho média para o período de duração do evento S9 (Fonte: CPTEC/INPE); e (b) Média da AROLE não-filtrada no período de S9. O contorno sólido espesso em (b) é a linha do zero e o ponto de Lat. x Lon. para obtenção da série temporal é destacado com (+).

O espectro de potência da ondeleta, da série temporal de AROLE não-filtrada extraída de um ponto base na área sul da ZCAS (Fig. 4.5.(a)), mostra que em alguns dias antes do início do evento S9 o sinal dos transientes de alta frequência aparece com potência elevada na escala de tempo de 2-4 dias, enquanto os sinais intrassazonais de frequência intermediária em 12-14 dias e 25-30 dias e os de baixa frequência entre 30-60 dias atuam com pouca energia em todo o período de duração do evento, destacando um ligeiro aumento na potência intrassazonal em 32-55 dias nos últimos dias de manifestação de S9 (Fig. 4.5.(b)). O espectro global ou espectro médio da série

apresenta principalmente potência com picos nos períodos de 10 e 45 dias (Fig. 4.5.(c)). A curva vermelha tracejada mostra a significância média global do ruído vermelho e nas escalas em que o espectro apresenta na média de toda a série confiança acima do nível de 95%, a curva de potência fica a direita da curva de significância. A variância média da série é analisada ao longo do período de duração do evento S9 para as bandas temporais de 2-10 dias, 10-30 dias e 30-60 dias (Fig. 4.5.(d)). Os picos de variância intrassazonais não mostram amplitudes elevadas, entretanto, cerca de 2 dias antes do início do evento S9 verifica-se que o sinal transiente em 2-8 dias confirma a potência elevada em 2-4 dias apresentada pelo espectro de potência da ondeleta nos primeiros dias de janeiro de 1999 (Fig. 4.5.(b)).

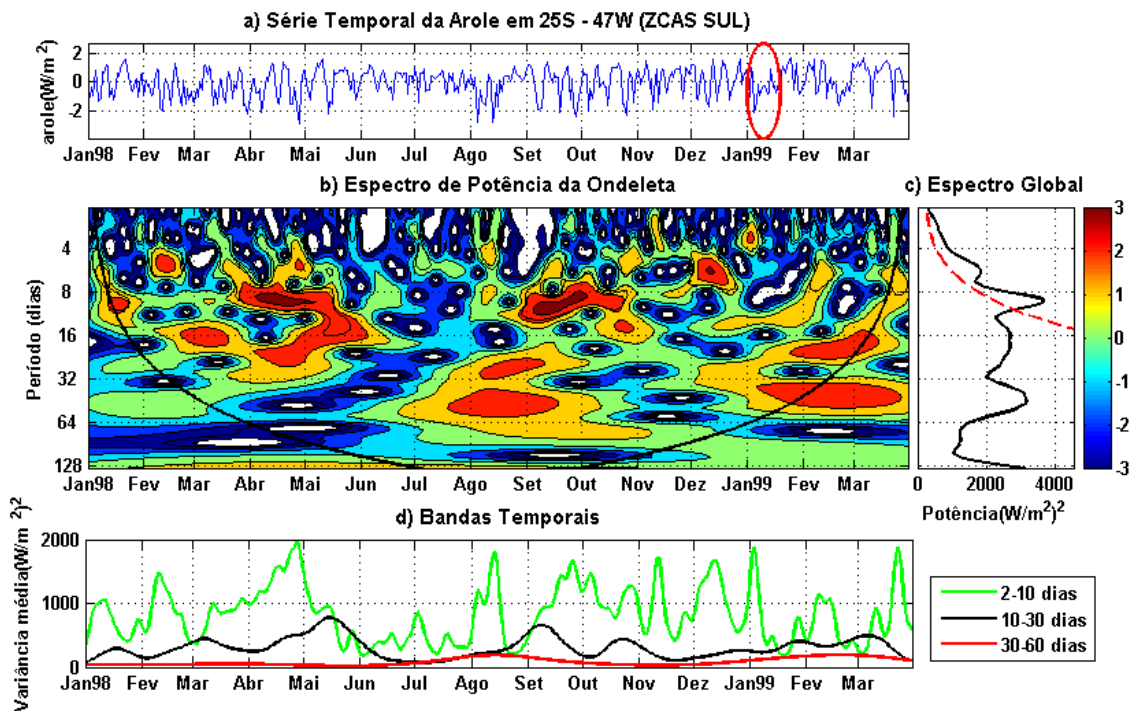


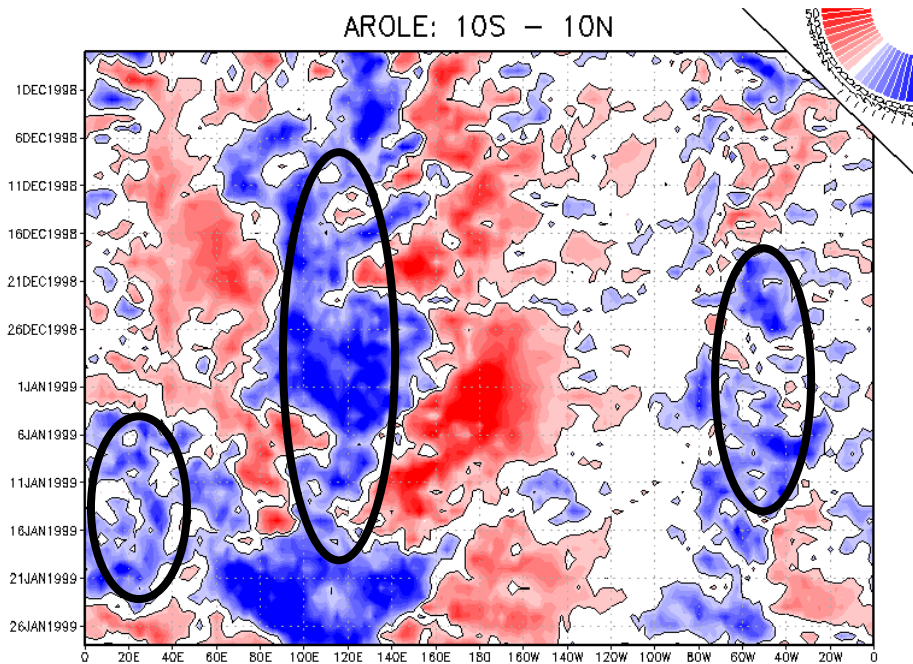
Figura 4.5 – Análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto base 25°S/47°W. (a) Série temporal da AROLE normalizada pelo desvio padrão; (b) Espectro de potência normalizado; (c) Potência média global; e (d) Partição da variância para bandas de 2-10, 10-30 e 30-60 dias. O círculo vermelho em (a) ilustra o período de duração de S9.

Estas observações sugerem que o evento S9 teve início devido à incursão de um transiente de alta frequência na área sul da ZCAS que, provavelmente, ativou a convecção continental e possibilitou a organização da faixa de nuvens se estendendo da Amazônia para a porção subtropical do Atlântico sul. No contexto intrassazonal, as flutuações nas escalas de tempo de 12-14, 25-30 e 32-60 dias apresentaram baixo

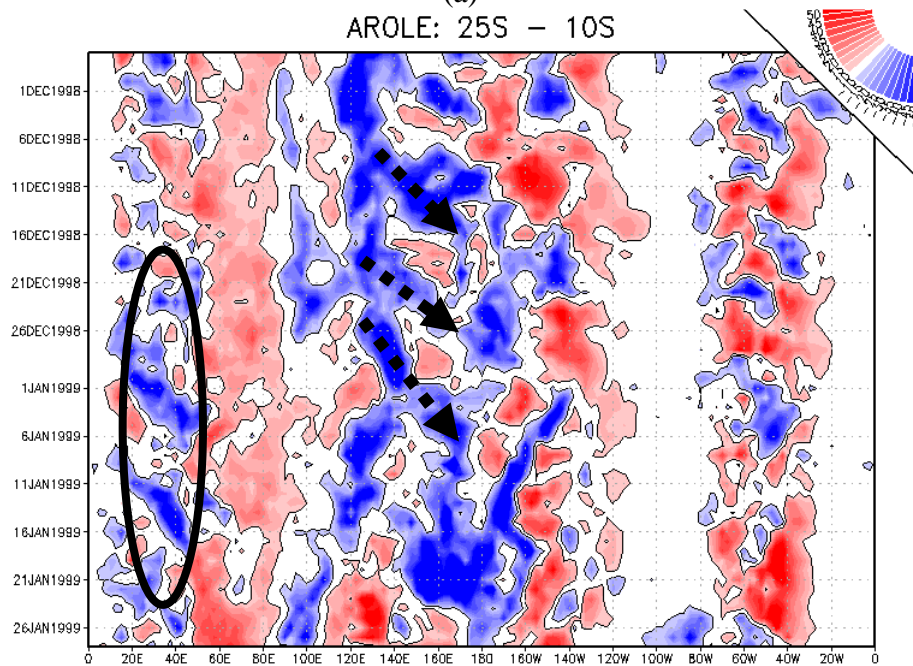
conteúdo de energia, mas atuaram simultaneamente auxiliando na modulação e manutenção deste evento ao longo de todo o seu período de duração (CASTRO, 2009).

A evolução temporal das AROLE não-filtradas em diferentes faixas latitudinais é investigada através do diagrama de Hovmöller (tempo x longitude) para a região equatorial (média entre 10°S e 10°N) e para as regiões tropical (média entre 25°S e 10°S) e subtropical (média entre 35°S e 25°S) do hemisfério sul (Fig. 4.6). A análise se estende desde o fim de novembro de 1998 até o fim de janeiro de 1999, possibilitando destacar a atividade intrassazonal atmosférica. O intuito desta análise é acompanhar as possíveis trajetórias de propagação das anomalias de convecção em todo o cinturão longitudinal nas três faixas latitudinais, bem como verificar quais sinais anômalos foram mais persistentes. Esta metodologia permite em primeira instância verificar quais regiões fontes de convecção possivelmente modularam as anomalias intrassazonais extratropicais nas escalas de tempo intermediária (10-30 dias) e preferencialmente de baixa frequência (30-60 dias), responsáveis pelo desenvolvimento da ZCAS S9.

Na Fig. 4.6.(a) nota-se que na faixa equatorial a persistência da convecção anômala em todo o período de análise se concentra principalmente entre o extremo leste do Índico e a Indonésia (90°E – 140°E), conforme ilustrado pelo círculo preto. Convecção também é destacada sobre a África (10°E – 40°E) e na ZCIT no Atlântico Norte (50°W – 30°W). No centro-oeste do Pacífico sul (150°E – 140°W), por outro lado, existe o domínio da subsidência anômala, possivelmente associada à compensação e/ou à atividade intrassazonal. Na região tropical a convecção aparece concentrada sobre a Indonésia e norte da Austrália (120°E – 140°E), apresentando deslocamentos em direção ao centro-oeste do Pacífico sul (Fig. 4.6.(b)). Pulsos de convecção na região da África (20°E – 40°E) também são destacados ao longo do período de análise. Finalmente na faixa subtropical, uma típica propagação para leste aparece desde o início de dezembro, nas proximidades da costa leste da África, até cerca de 10 dias antes do início do evento S9, na região de manifestação da ZCPS (Fig. 4.6.(c)). As AROLE negativas associadas com o evento S9 são ilustradas com um círculo preto ao longo de todo o período de duração.



(a)



(b)

Figura 4.6 – Diagrama de Hovmöller para a média de AROLE não-filtrada entre: (a) 10°S-10°N; (b) 25°S-10°S; e (c) 35°S-25°S. Setas tracejadas e círculos são para destacar possíveis trajetórias de propagação e persistência dos sinais convectivos em determinadas regiões, respectivamente. Sombreado em azul (vermelho) indica convecção (inibição) anômala. (Continua).

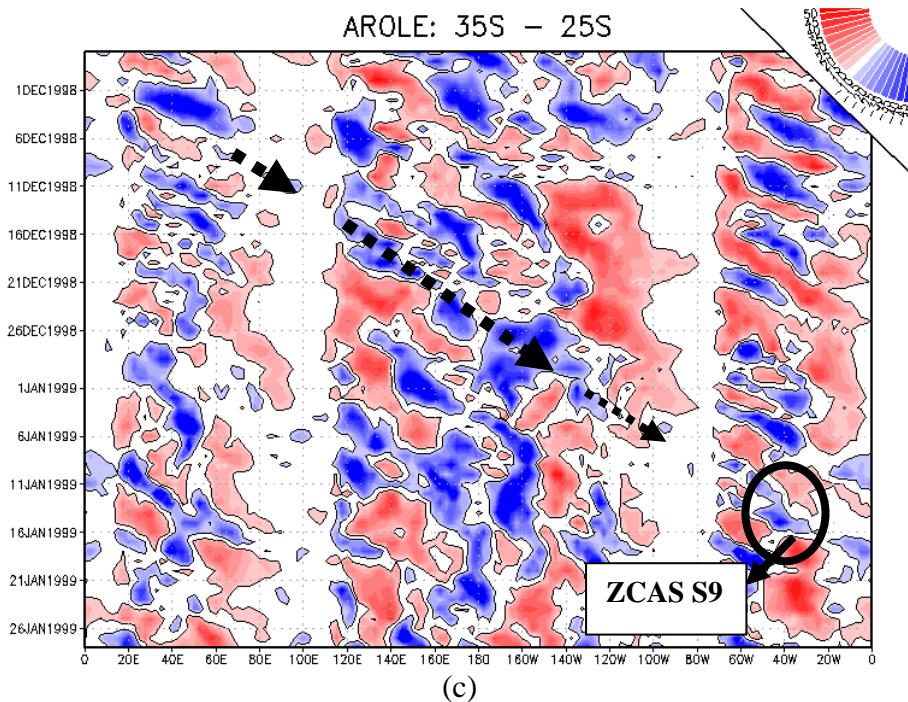


Figura 4.6 – Conclusão.

Para a identificação das regiões que se manifestam como forçantes remotas da variabilidade intrassazonal, é necessário verificar primeiramente através da análise de ondeleta cruzada e da coerência, quais foram os pontos remotos de Lat. x Lon. que apresentaram correlações com o sinal anômalo de convecção na área sul ZCAS, identificando as flutuações dominantes. Nas faixas equatorial, tropical e subtropical, as latitudes escolhidas para extração das séries temporais são 0°, 15°S e 30°S, respectivamente. A escolha das longitudes segue as informações apresentadas pelos diagramas de Hovmöller, selecionando-se as que apresentam convecção anômala mais persistente ou que estejam associadas com a trajetória de propagação de alguns sinais convectivos: a) Equador: 10°E, 70°E, 100°E, 130°E e 40°W; b) Trópico: 40°E, 100°E, 130°E, 160°E, 170°W e 150°W; c) Subtrópico: 50°E, 130°E, 170°E, 160°W, 130°W. As descrições da análise de ondeleta cruzada e da coerência entre séries temporais de AROLE não-filtrada obtidas de alguns dos pontos remotos mencionados anteriormente com a série temporal de AROLE não-filtrada extraída de um ponto base na área sul da ZCAS são discutidas a seguir para cada uma das três faixas latitudinais.

Na região equatorial os pontos remotos a serem analisados são 0°/10°E (África) e 0°/130°E (Indonésia), onde as ondeletas cruzadas, coerências, ângulos de fase (vetores)

e os intervalos de confiança no nível de 95% (contornos sólidos espessos) com o ponto base na ZCAS S9 são mostrados nas Figuras 4.7 e 4.8, respectivamente. A escolha destes pontos teve como critério verificar se os sinais convectivos persistentes em ambas as regiões apresentaram um potencial eficiente em produzir anomalias de circulação que, conseqüentemente, contribuíram para a modulação intrassazonal da ZCAS, além de avaliar o comportamento evolutivo da OMJ. O sinal persistente na região da ZCIT não será discutido nesta análise. Ressalta-se que os ângulos de fase estão presentes tanto no espectro cruzado da ondeleta quanto na coerência, devendo-se considerar apenas as informações contidas nas figuras de coerência (ver seção 3.2.5.2). Todas as análises de ondeletas cruzada e coerência serão feitas ao longo do período de duração do evento S9 (06/jan/1999 – 18/jan/1999).

A potência cruzada com a África equatorial ($0^{\circ}/10^{\circ}\text{E}$) mostra sinais nas escalas de tempo de 12-15 e 32-45 dias (Fig. 4.7.(a)). Existe coerência apenas na escala de tempo de 32-45 dias, com o sinal intrassazonal na ZCAS avançado em 45° (Fig. 4.7.(b)). Este aspecto é típico da propagação da OMJ na fase final de seu ciclo, mostrando que cerca de 2 a 5 dias depois de modular a ZCAS, o sinal intrassazonal alcança a região equatorial da África (KOUSKY E KAYANO, 1992; CASTRO, 2009). Na Indonésia ($0^{\circ}/130^{\circ}\text{E}$) a ondeleta cruzada destaca sinais no período de 22-45 dias (Fig. 4.8.(a)) e baixa coerência em todas as escalas de tempo (Fig. 4.8.(b)). Castro (2009) verificou que episódios de ZCAS deslocados ao sul (norte) da climatologia apresentam baixa (alta) correlação com os sinais de AROLE em 30-90 dias sobre a Indonésia.

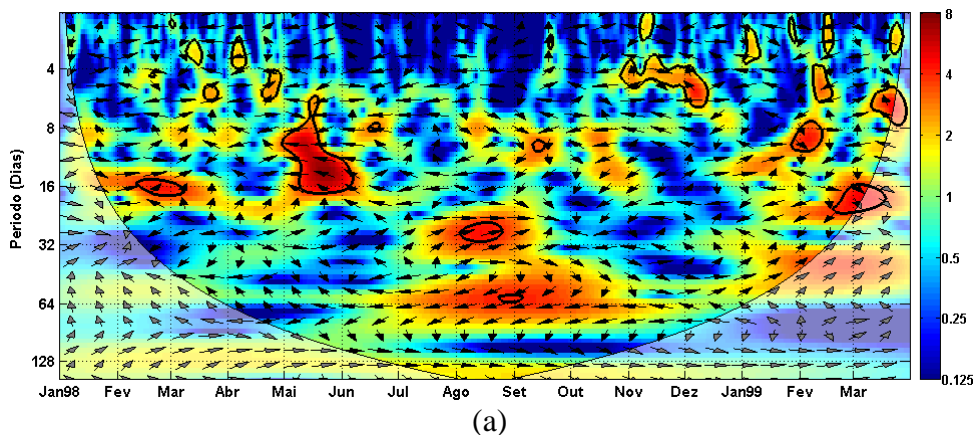
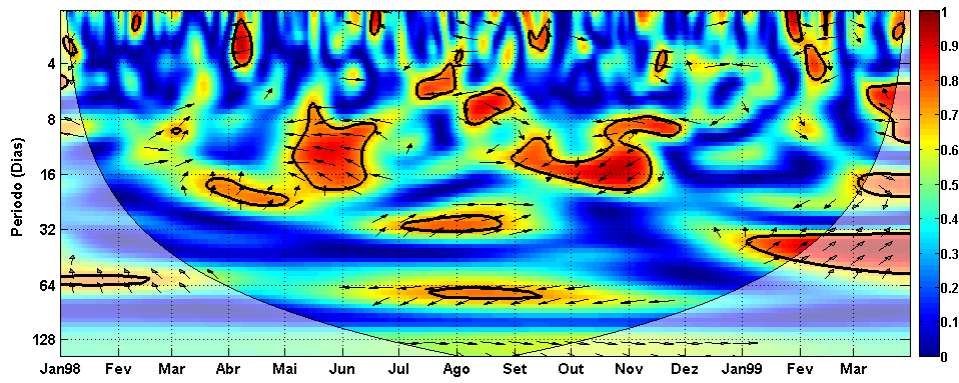
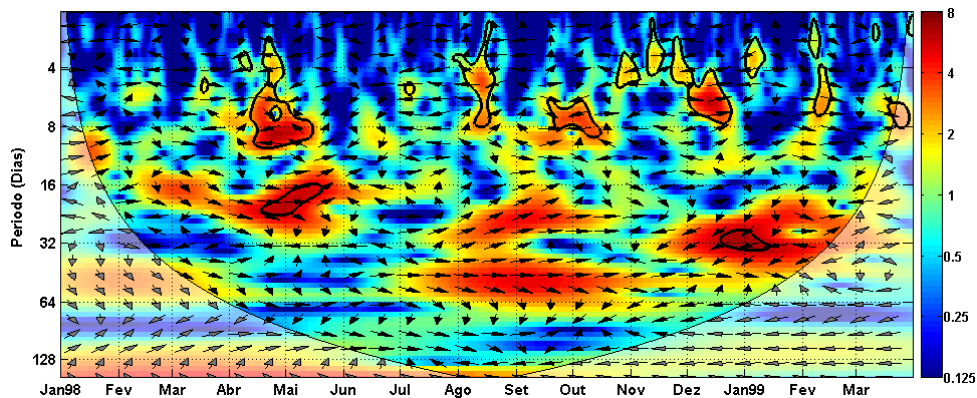


Figura 4.7 – Análise de ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto na África equatorial e a AROLE não-filtrada em um ponto base na área sul da ZCAS. (a) Espectro cruzado de potência e ângulo de fase (vetores); e (b) Coerência da ondeleta e ângulo de fase (vetores). (Continua).

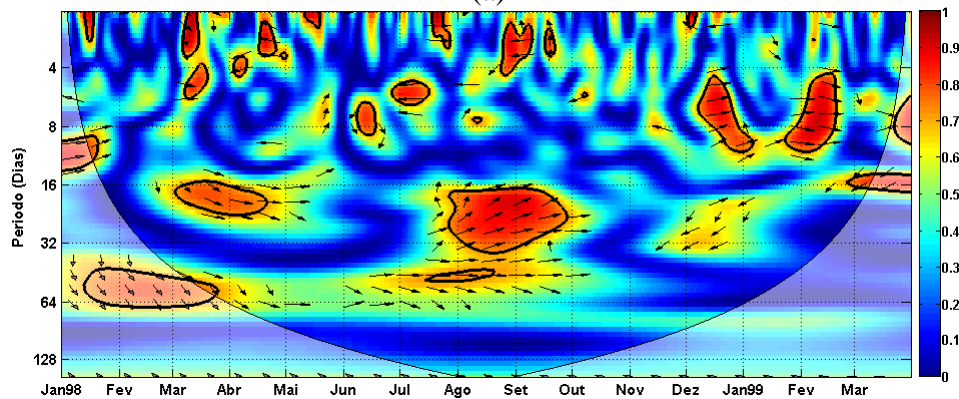


(b)

Figura 4.7 – Conclusão.



(a)



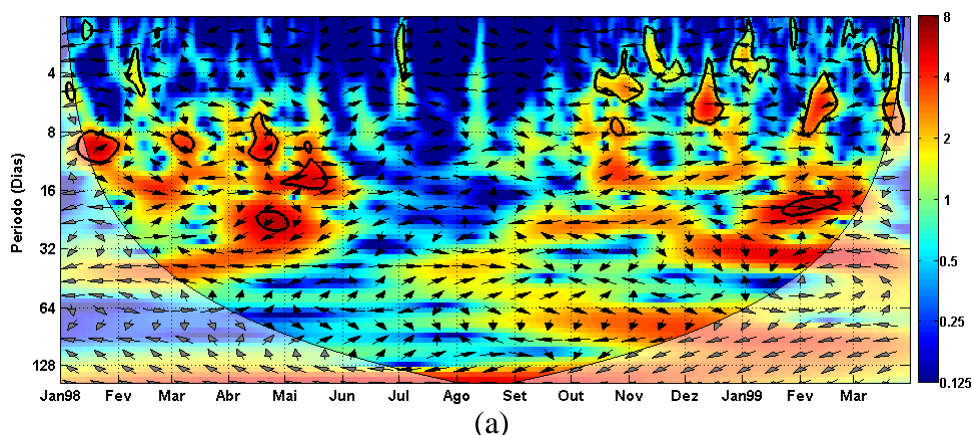
(b)

Figura 4.8 – Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto na Indonésia equatorial e a AROLE não-filtrada em um ponto na área sul da ZCAS.

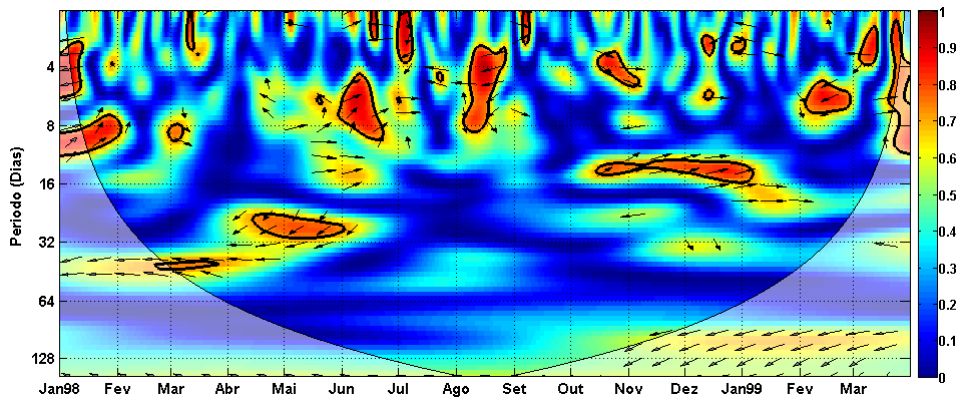
Na faixa tropical os pontos remotos a serem analisados são 15°S/130°E (norte da Austrália) e 15°S/170°W (centro-oeste do Pacífico sul), onde as ondeletas cruzadas, coerências, ângulos de fase (vetores) e os intervalos de confiança (contornos sólidos espessos) com o ponto base na ZCAS S9 são mostrados nas Figuras 4.9 e 4.10, respectivamente. Nesta faixa latitudinal, o deslocamento da convecção para leste é mais evidente do que na região equatorial, sendo interessante acompanhar a trajetória desses

pulsos ao longo das longitudes selecionadas para análise, verificando se existe alguma conexão com o sinal na ZCAS. A potência cruzada com um ponto no norte da Austrália (15°S/130°E) mostra variância em 4, 12 e 16-40 dias (Fig. 4.9.(a)), com coerência suavemente destacada em 16-20 dias e as séries oscilando em fase (Fig. 4.9.(b)).

A propagação para leste da convecção tropical alcança o centro-oeste do Pacífico sul (15°S/170°W), evidenciando que os modos de variabilidade contidos em grande parte do espectro intrassazonal apresentam potência cruzada elevada com o sinal na ZCAS S9, sobretudo nas escalas temporais de 12-14 dias e 32 dias, que mostram confiança no nível de 95% (Fig. 4.10.(a)). A coerência, por outro lado, apenas destaca valores de correlação em aproximadamente 12-14 dias, com um ângulo de fase indicando o sinal na ZCPS avançado 135° em relação ao sinal na ZCAS, que responde em 3/8 do período ou cerca de 5 dias (Fig. 4.10.(b)). A propagação de energia ZCPS-ZCAS em 12-14 dias pode estar relacionada com o conteúdo de energia nesta mesma escala de tempo presente ao longo de todo o período de duração do evento S9, conforme registrado no espectro de potência da série temporal de AROLE não-filtrada extraída de um ponto base na área sul da ZCAS (Fig. 4.5.(b)). Liebmann et al. (1999) verificaram que a variabilidade submensal da ZCAS em escalas de tempo de 2-30 dias está associada com a propagação de trens de ondas de Rossby provenientes do Pacífico sul, contribuindo para ativar ou inibir a convecção na ZCAS dependendo da fase do trem de ondas.

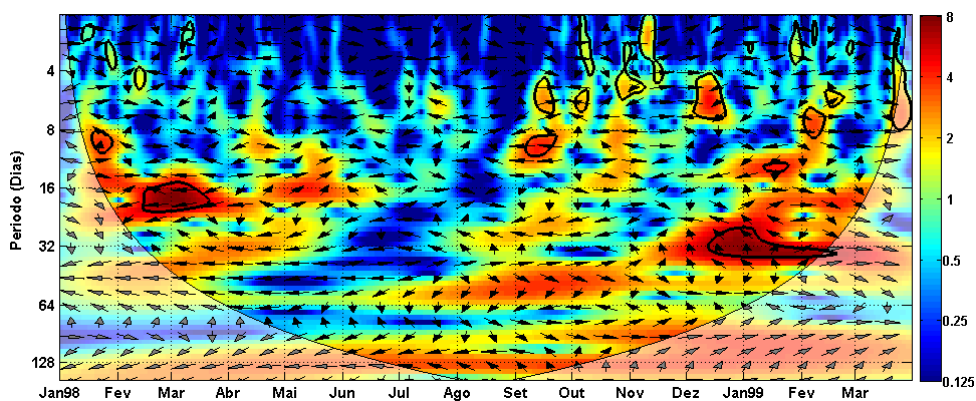


(a)
 Figura 4.9 – Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no norte da Austrália e a AROLE não-filtrada em um ponto na área sul da ZCAS. (Continua).

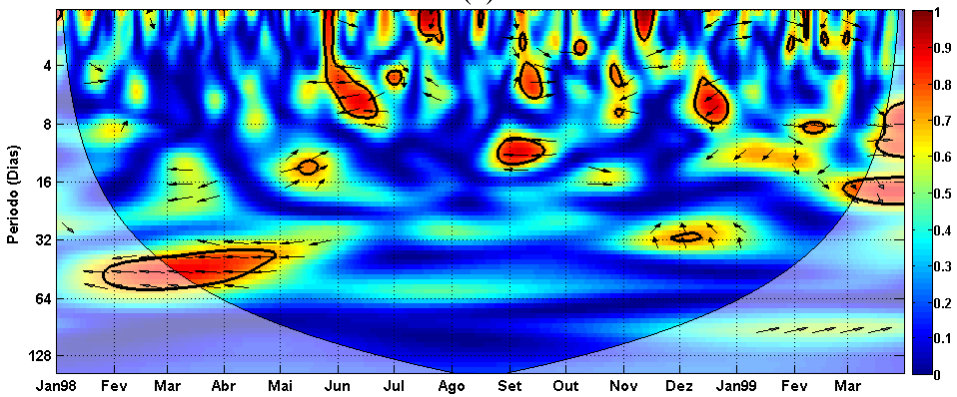


(b)

Figura 4.9 – Conclusão.



(a)



(b)

Figura 4.10 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no centro-oeste do Pacífico sul tropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área sul da ZCAS.

Na região subtropical os pontos remotos escolhidos para análise são 30°S/130°E (sul da Austrália) e 30°S/160°W (centro-oeste do Pacífico sul), onde as ondeletas cruzadas, coerências, ângulos de fase e os intervalos de confiança com o ponto base na ZCAS S9 são mostrados nas Figuras 4.11 e 4.12, respectivamente. Da mesma forma que na região tropical, optou-se por analisar estas específicas longitudes com o intuito de

avaliar a propagação das anomalias de convecção e, assim, verificar se apresentam influências na formação da ZCAS. Grimm e Silva Dias (1995) observaram que cerca de 10 a 15 dias após ocorrer o pico de convecção no centro-oeste do Pacífico sul o conteúdo de energia intrassazonal em escalas de tempo de 30-60 dias é possivelmente transferido para a ZCAS através da propagação de um trem de ondas de Rossby forçado pela divergência anômala em altos níveis na ZCPS.

O sinal cruzado com um ponto sul da Austrália (30°S/130°E) destaca energia comum em 12 dias e 20-40 dias, além de um sinal em 60 dias (Fig. 4.11(a)). A coerência é verificada principalmente em 20-30 dias, com os modos de variabilidade oscilando em fase (Fig. 4.11.(b)). Alto conteúdo de energia apresentado pelo sinal cruzado com o centro-oeste do Pacífico sul (30°S/160°W) aparece em 25-32 e 32-50 dias (Fig. 4.12.(a)). Existe coerência em 20-22 dias com os modos oscilando em fase e em 40-50 dias com o sinal no Pacífico ligeiramente avançado em 135°, indicando uma resposta na ZCAS em 3/8 do período ou aproximadamente 15 dias de defasagem (Fig. 4.12.(b)). Este resultado concorda com a observação climatológica de Grimm e Silva Dias (1995), destacando a atividade convectiva anômala na porção subtropical da ZCPS como uma forçante da variabilidade intrassazonal que contribui para modular a ZCAS.

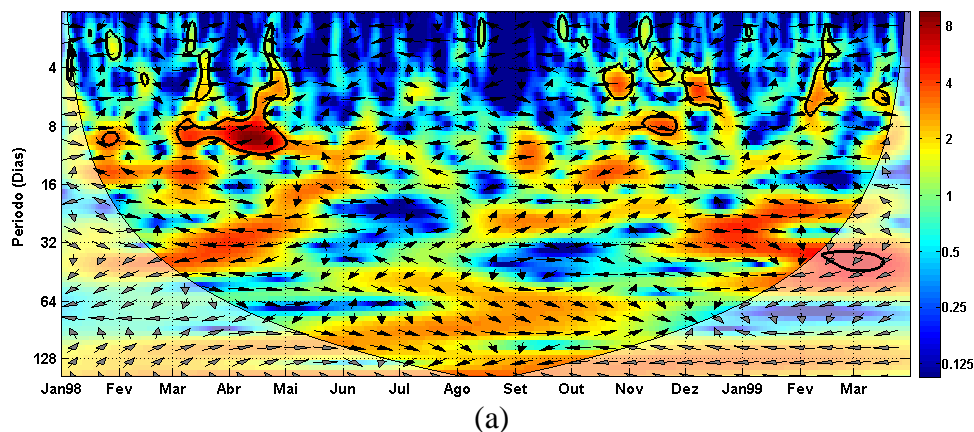
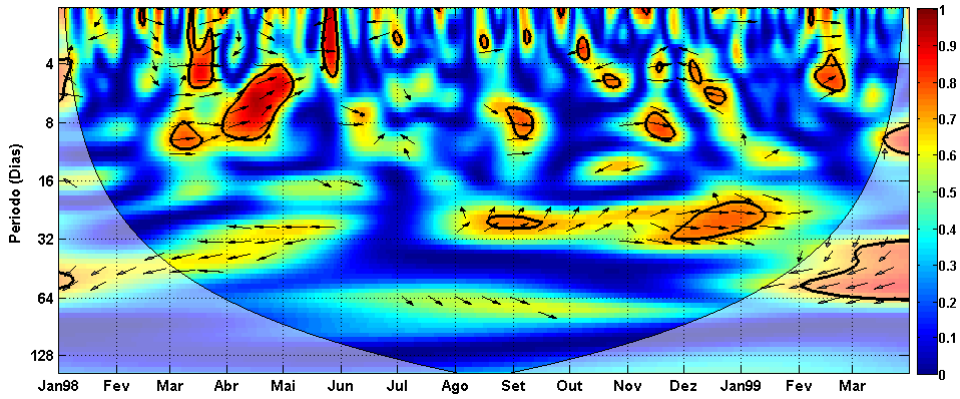
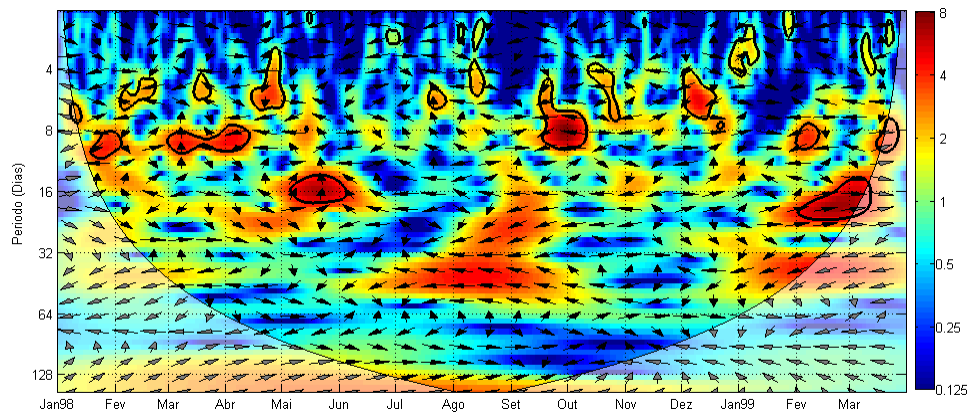


Figura 4.11 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no sul da Austrália e a AROLE não-filtrada em um ponto na área sul da ZCAS. (Continua).

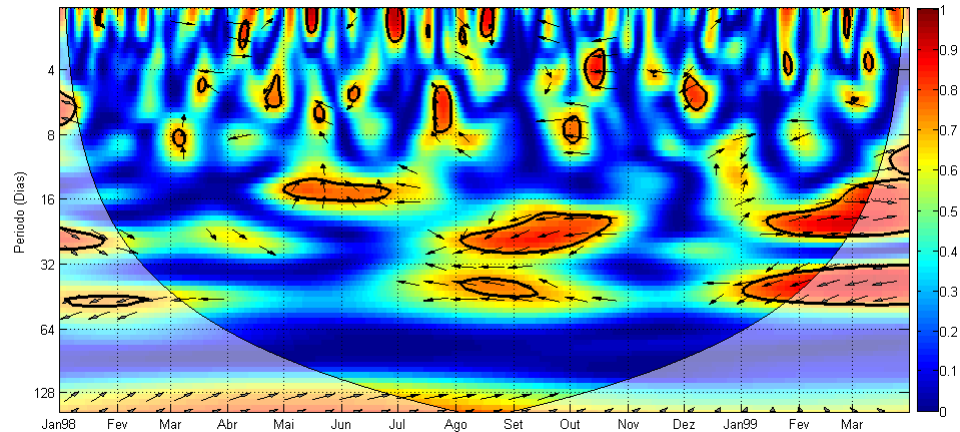


(b)

Figura 4.11 – Conclusão.



(a)



(b)

Figura 4.12 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no centro-oeste do Pacífico sul subtropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área sul da ZCAS.

O espectro de potência da ondeleta (Fig. 4.13.(b)) referente à série temporal extraída de um ponto na porção subtropical da ZCPS (Fig. 4.13.(a)) mostra que a potência intrassazonal em 32-45 dias carrega uma quantidade de energia cerca de 15 a 20 dias antes do início da ZCAS S9, concordando com a hipótese de que esta energia

tenha sido transferida para a área sul da ZCAS em aproximadamente 15 dias via teleconexão ZCPS-ZCAS.

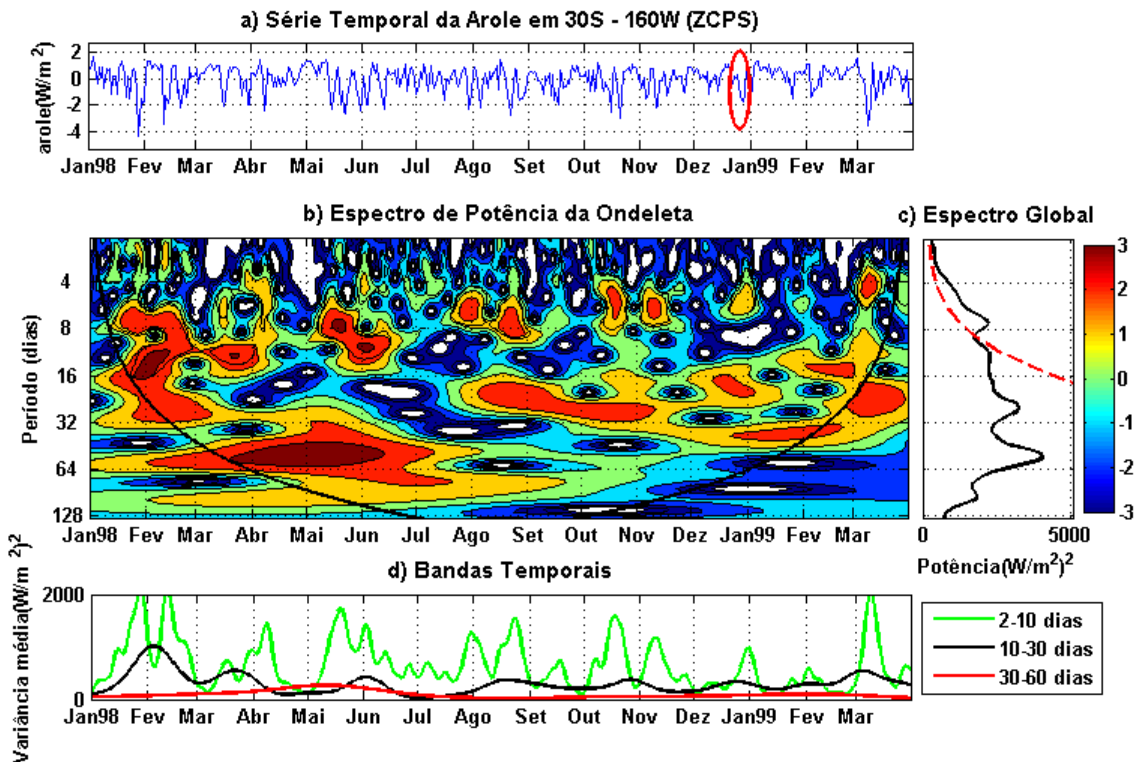


Figura 4.13 – Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto 30°S/160°W (ZCPS). O círculo vermelho em (a) ilustra aproximadamente o período de 15 a 20 dias antes do início do evento S9.

De uma maneira geral, os sinais persistentes de convecção na região equatorial não mostraram correlações diretas com o evento S9, mas destacaram possivelmente a manifestação da OMJ na intensificação da convecção subtropical da ZCPS que, conseqüentemente, influenciou na modulação do evento S9. Nos trópicos a propagação para leste de alguns pulsos de convecção revelou especialmente potência intrassazonal cruzada com alto conteúdo de energia entre as séries temporais de AROLE não-filtrada de um ponto no centro-oeste do Pacífico sul e a extraída de um ponto na área sul da ZCAS. O conteúdo de energia na banda temporal de 12-14 dias que contribuiu para o desenvolvimento e manutenção da ZCAS S9 apresentou correlação com o sinal na porção tropical da ZCPS, sugerindo que nesta escala de tempo o evento S9 pode ter sido modulado pela transferência de energia ZCPS-ZCAS ou pela influência dos efeitos baroclínicos dos transientes de latitudes médias independentes de qualquer forçante remota. Em contrapartida, a propagação da convecção nos subtropicos destacou através

da análise de coerência que a convecção anômala quando alcança a ZCPS possivelmente inicia o processo de transferência de energia intrassazonal de baixa frequência para a área sul da ZCAS, conectando ambos os sinais em 10-15 dias de defasagem (CASARIN E KOUSKY, 1986; GRIMM E SILVA DIAS, 1995).

A análise de ondeletas destacou o período dos modos de variabilidade dominantes que auxiliaram na modulação do evento S9, entretanto, não permitiu identificar quais mecanismos de teleconexão atmosférica estariam transferindo energia intrassazonal para a ZCAS. Neste sentido, destaca-se que Nogués-Paegle et al. (2000) verificaram que a ZCAS basicamente pode ser influenciada pelos seguintes padrões de teleconexões intrassazonais: 1) Em 30-60 dias o deslocamento zonal da atividade convectiva tropical/subtropical quando alcança o centro-oeste do Pacífico sul contribui para ativar a convecção na ZCPS e, conseqüentemente, induzir o estabelecimento de um trem de ondas de Rossby em ambos os hemisférios como uma resposta à divergência anômala em altos níveis. A propagação extratropical no hemisfério sul conecta a atmosfera tropical com a extratropical, podendo exercer influências na região da ZCAS dependendo do comportamento do estado básico (HOSKINS E AMBRIZZI, 1993; GRIMM E SILVA DIAS, 1995). Este mecanismo representa uma teleconexão do tipo trópico-extratropical que está associado com o ciclo de vida natural da OMJ (MO E HIGGINS, 1998; MO E NOGUÉS-PAEGLE, 2001); 2) Um mecanismo de teleconexão trópico-extratropical contido em uma frequência intrassazonal mais alta também pode conectar ZCPS-ZCAS na escala de tempo de 20-30 dias. Nogués-Paegle et al. (2000) descreveram que quando as oscilações de 20-30 e 30-60 dias estão em fase sobre a região da ZCAS, simultaneamente oscilam em fases opostas na região da ZCPS.

Ainda no contexto de teleconexão trópico-extratropical, Aravéquia e Silva Dias (2004) verificaram que através dos campos de FI pode-se identificar quais regiões, sujeitas a uma fonte de calor, têm maior efeito sobre o valor de uma variável do MBED em algum ponto de interesse. Sendo assim, busca-se verificar através do campo de FI se as fontes de calor nas porções tropical e subtropical da ZCPS são eficientes em modular a resposta rotacional responsável pelo desenvolvimento da ZCAS S9. A Figura 4.14.(a) mostra o campo de FI da anomalia de altura geopotencial para um ponto de interesse localizado sobre uma região em que se observou em média a persistência de anomalias

negativas de Z em 200 hPa ao longo do período de duração do evento S9 em associação com a modulação do mesmo (Fig. 4.14.(b)). O estado básico climatológico da FI considerado para esta análise é referente ao mês de janeiro. Optou-se por este período pelo fato de que as características climatológicas da circulação de verão no hemisfério sul estão bem definidas nesta época do ano (FIGUEROA, 1999), além do evento S9 ter ocorrido ao longo deste mês. A interpretação física do campo de FI indica que em regiões onde existem contornos positivos (negativos) de anomalia de Z a presença da fonte de calor ou da divergência anômala em altos níveis propicia o desenvolvimento de uma alta (baixa) de geopotencial sobre o ponto de interesse (GRIMM, 1992; GRIMM E SILVA DIAS, 1995). Através da FI, observa-se que o ponto de interesse é afetado remotamente pela fonte de calor centralizada na região subtropical da ZCPS, contribuindo para o abaixamento do geopotencial em 200 hPa na região de interesse através de uma propagação ondulatória em latitudes médias que se estende desde a região fonte, passa pelo cone sul da AS e atinge o sul do Brasil e adjacências. Existe uma outra rota de propagação conectando a ZCPS com o ponto de interesse via latitudes subtropicais. Hoskins e Ambrizzi (1993) verificaram que a trajetória de propagação das ondas de Rossby está fortemente ligada com as características sazonais do estado básico, refletindo a importância do posicionamento das correntes de jato na propagação de energia para regiões remotas do globo.

Para uma investigação mais detalhada, o uso do resultado do campo de FI deve ser associado à análise do campo forçante, podendo-se compor um campo de resposta através da integração da forçante com a FI referente ao estado básico climatológico de janeiro. Para representação do campo forçante utiliza-se uma fonte de massa derivada da AROLE não-filtrada e observada para a média dos últimos 10 dias antes do dia inicial do evento S9 (Fig. 4.15.(b)). No campo médio de AROLE destaca-se a presença de um dipólo de convecção entre a Indonésia e a região equatorial do centro-oeste do Pacífico, além da atividade convectiva anômala persistente na região da ZCPS, especialmente na porção subtropical (Fig. 4.15.(a)). Em linhas gerais, a fonte de massa positiva representa satisfatoriamente o posicionamento das anomalias de convecção destacadas no campo médio de AROLE (Fig. 4.15.(a)). A média da AROLE para os últimos 40, 30 e 20 dias antes do inicial de ocorrência da ZCAS S9 são apresentadas, respectivamente, pelas Figuras 4.16 (a), (b) e (c), destacando as regiões preferenciais de

manifestação das anomalias de convecção mais persistentes ao longo dos últimos 40 dias antes do início do evento S9. O posicionamento e a intensidade destas anomalias são aproximadamente similares ao apresentado na média dos últimos 10 dias, confirmando a representatividade deste período como forçante para obtenção da resposta rotacional extratropical.

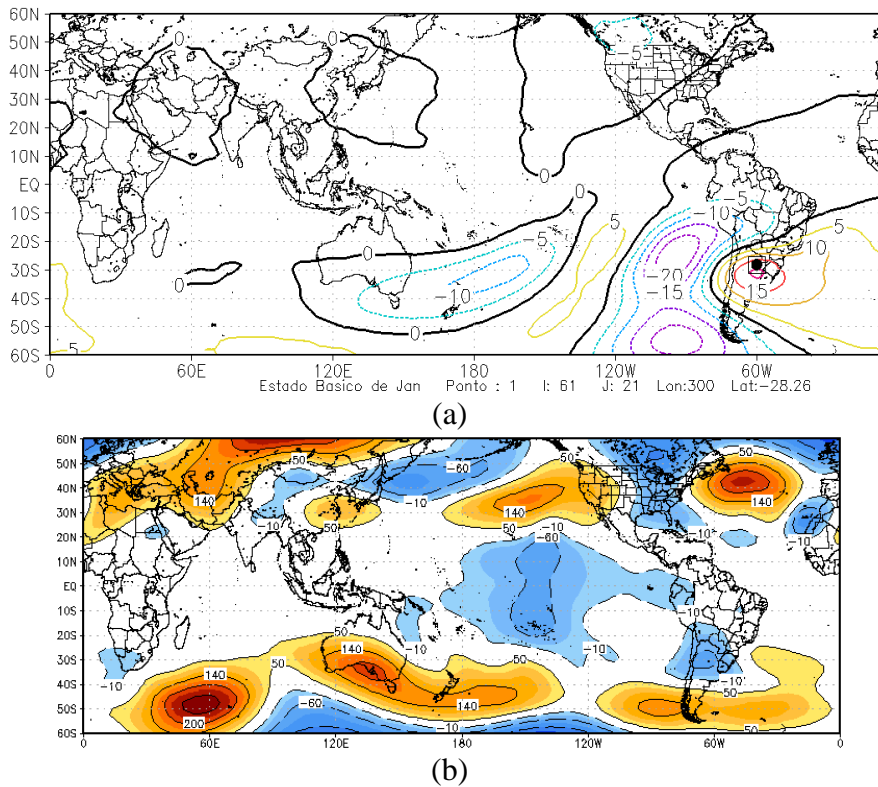


Figura 4.14 – (a) FI da anomalia de Z considerando estado básico climatológico de Janeiro para o ponto de interesse em $28^{\circ}\text{S}/60^{\circ}\text{W}$; e (b) Média da anomalia de Z em 200 hPa no período de duração do evento S9. Em (b) contornos tracejados e sombreados em azul indicam anomalias negativas. Em (a) o ponto de interesse é indicado pelo ponto preto.

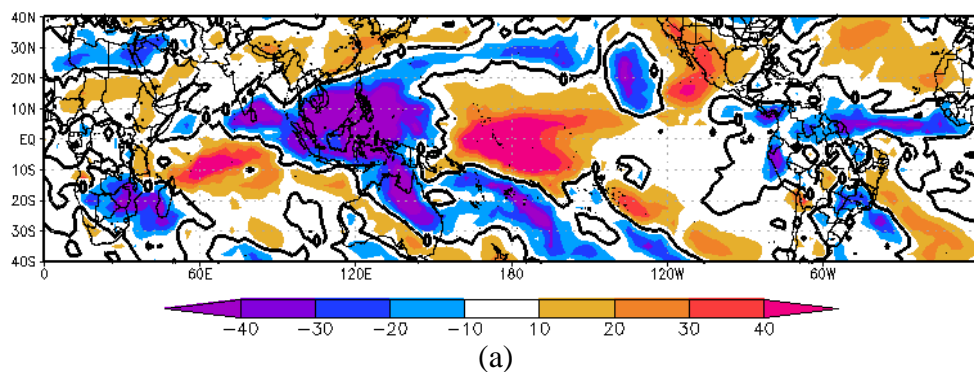
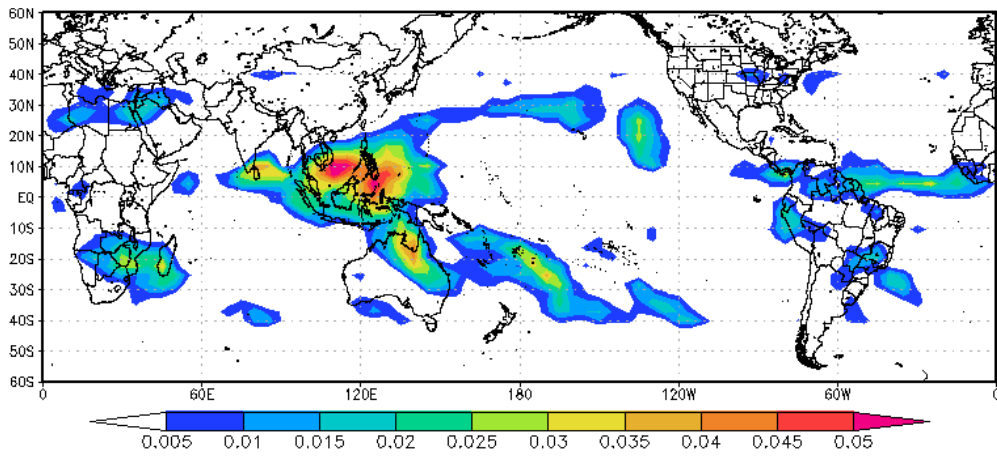
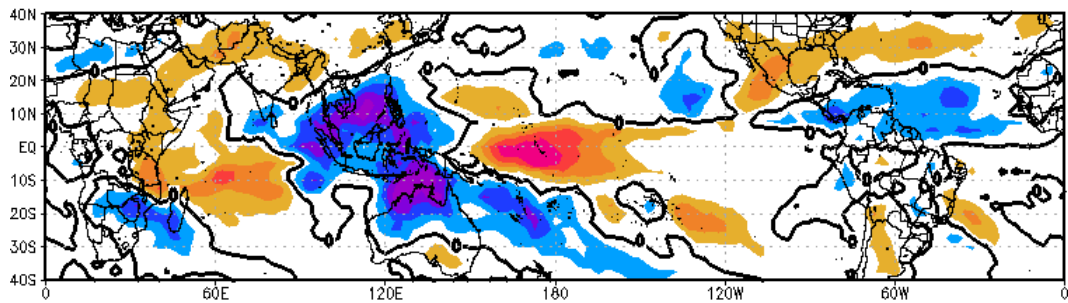


Figura 4.15 – (a) Média da AROLE não-filtrada dos últimos 10 dias antes do início do evento S9; e (b) Fonte de massa positiva derivada da média da AROLE não-filtrada para o período descrito em (a). (Continua).

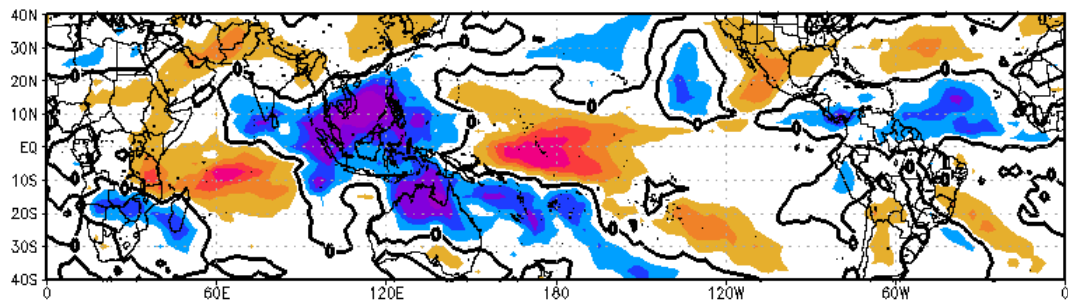


(b)

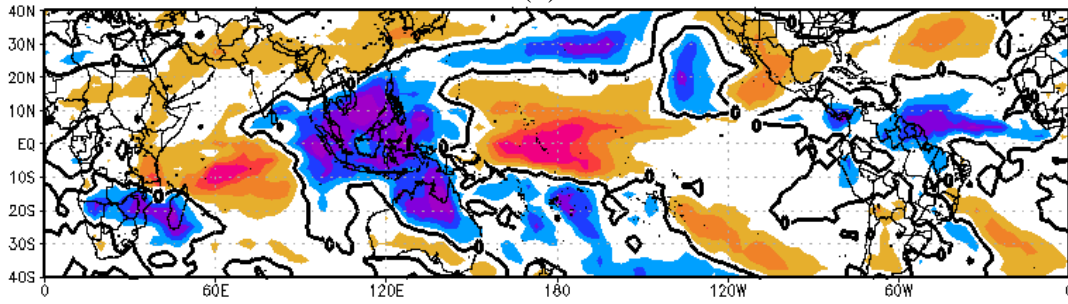
Figura 4.15 – Conclusão.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.16 – Média da AROLE não-filtrada para os últimos (a) 40 dias; (b) 30 dias; e (c) 20 dias antes do dia inicial do evento S9.

Para o estudo do efeito da forçante na média dos últimos 10 dias antes do início da ZCAS S9 foram realizadas várias integrações para obtenção da resposta rotacional que represente o padrão médio observado da circulação em 200 hPa ao longo do período de duração do evento (Fig. 4.14.(b)). A Fig. 4.17.(a) ilustra a integração considerando a fonte de massa total no globo, enquanto as Figs. 4.17 de (b) a (j) destacam integrações com a forçante reduzida a algumas partes do domínio e anuladas no restante do domínio. Nota-se que as integrações que melhor se aproximam ao padrão de circulação observado sobre a AS e adjacências são aquelas em que a região forçante selecionada inclui a fonte de calor sobre o centro-oeste do Pacífico sul (Figs. 4.17 (g), (h) e (i)), sobretudo quando a fonte concentra-se na região subtropical da ZCPS (Fig. 4.17.(h)). Na Figs. 4.17 (g) e (h) verifica-se a presença de anomalias negativas de Z sobre o sul do Brasil conectada a um trem de ondas oriundo da ZCPS, mostrando que a forçante selecionada no centro-oeste do Pacífico sul consegue perturbar o escoamento em altos níveis e modular o abaixamento do geopotencial nas proximidades da área sul da ZCAS, especificamente na região do ponto de interesse ilustrado na Fig. 4.14.(a).

O fato do campo de FI não ter mostrado que a porção tropical da ZCPS também influencia o ponto de interesse em questão, está possivelmente relacionado com o uso de um estado básico climatológico para obtenção da FI, o que pode revelar algumas características que diferem do escoamento observado no mesmo período da forçante. Esta suposição pode mostrar algumas ligeiras variações nos posicionamentos das fontes de calor, dependendo de como esteja o comportamento do estado básico em um período relativamente mais curto. O resultado da seleção da forçante sobre a região da ZCIT também revela o abaixamento do geopotencial nas proximidades da área sul da ZCAS, entretanto, o padrão espacial sobre o restante do globo não consegue reproduzir o observado nem em sinal e nem em correlação (Fig. 4.17.(j)). O fato do resultado do modelo forçado com todo o campo derivado da AROLE não-filtrada mostrar diferenças com o padrão médio observado da circulação deve indicar que algumas áreas incluídas na forçante são também partes da resposta ao sinal mais intenso observado, no caso sobre o norte da Indonésia. Concluí-se que a resposta rotacional global observada para a média do período de duração do evento S9 se deve a uma combinação e interação entre as forçantes distribuídas espacialmente em distintas regiões do domínio.

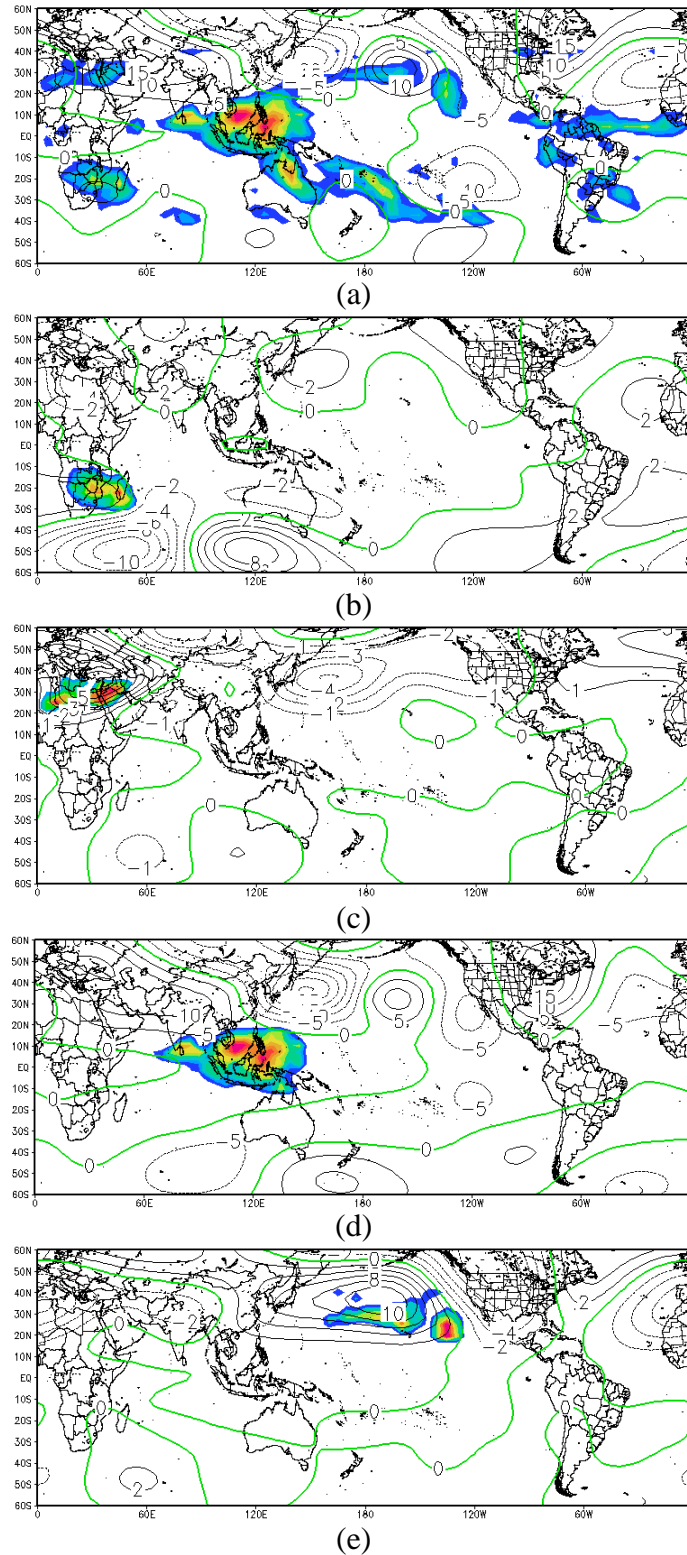


Figura 4.17 – Altura Geopotencial em 200 hPa (contornos em mgp) dados pela integração dos resultados de FI com a fonte de massa derivada da média de AROLE não-filtrada dos 10 últimos dias antes do início do evento S9, selecionada por áreas da forçante (sombreado). A escala de cores é similar a da Fig. 4.15.(b). (Continua).

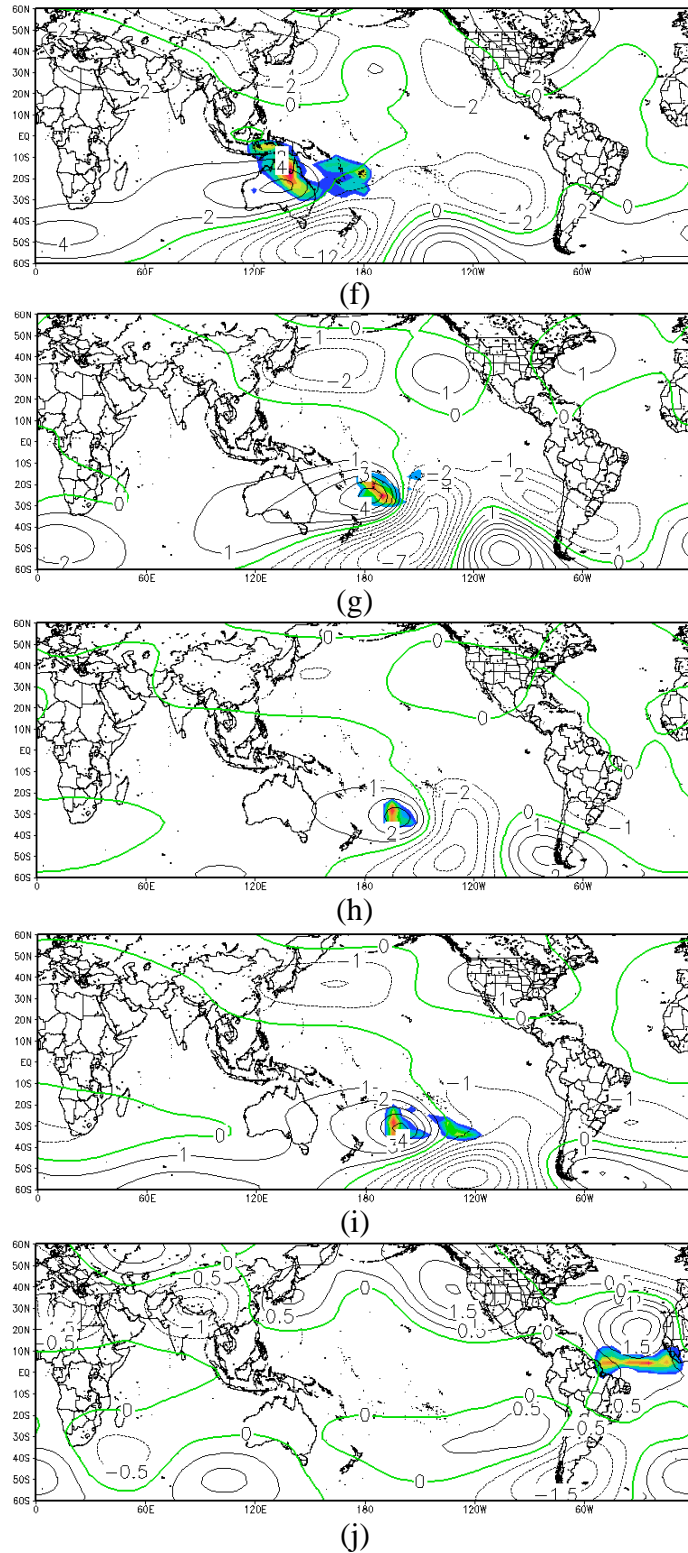


Figura 4.17 – Conclusão.

Para verificar a conexão entre a propagação da OMJ, o escoamento extratropical resultante e a modulação intrassazonal da ZCAS S9, a Figura 4.18 apresenta uma evolução temporal das anomalias de ROLE (sombreado), do vetor vento e das linhas de corrente em 200 hPa filtradas em 30-60 dias para a sequência temporal de 20, 15, 10 e 0

dias antes do início do evento. De uma maneira geral, a propagação zonal da OMJ mostra um deslocamento da convecção anômala a partir do Índico em direção a Indonésia, ativando a convecção na porção subtropical da ZCPS e contribuindo para modular um trem de ondas conectando a ZCPS com a ZCAS em 10-15 dias de defasagem (Figs. 4.18 (a) a (d)). Cunningham e Cavalcanti (2006) verificaram resultado semelhante e sugeriram que a conexão entre o deslocamento da OMJ e o consequente desenvolvimento dos episódios de ZCAS localizados ao sul da climatologia ocorre preferencialmente via ZCPS, através das propagações de ondas de Rossby do tipo PSA. Um aspecto interessante observado é o dipólo de AROLE entre o centro-leste do Índico e a Indonésia em quase todas as defasagens, concordando com a marcante intrassazonalidade destacada no diagrama de Hovmöller para a região equatorial (Fig. 4.6.(a)). O trem de ondas no hemisfério sul resultante da convecção anômala sobre a porção subtropical da ZCPS demonstra no dia inicial do evento (Fig. 4.18.(d)) um comportamento espacial próximo do padrão de circulação obtido pela integração do campo de FI com a fonte de convecção no centro-oeste do Pacífico sul subtropical (Fig. 4.17.(h)), destacando a importância da fonte de calor na porção subtropical da ZCPS como forçante da variabilidade de baixa frequência que, posteriormente, contribuiu para a modulação intrassazonal do evento S9.

A Figura 4.19 sintetiza o papel das oscilações intrassazonais de frequência intermediária e dos transientes de alta frequência no processo de formação e manutenção do evento S9. As Figs. 4.19.(a) e (b) mostram o campo de AROLE filtrada em 2-10 dias para 1 dia antes do início e no dia inicial do evento, respectivamente. A presença dos transientes na área sul da ZCAS destaca a organização de uma faixa de AROLE negativa que se estende desde o norte da AS até a porção subtropical do Atlântico sul, sugerindo o deslocamento de um sistema frontal. A média da AROLE para o período de duração do evento S9 considerando flutuações na escala de tempo de 10-30 dias (Fig. 4.19.(c)) destaca uma estrutura espacial sobre a AS e adjacências similar ao padrão verificado em 30-60 dias no dia inicial do evento S9 (Fig. 4.18.(d)). Este comportamento médio mostra que a variância intrassazonal intermediária na escala de tempo de 25-30 dias contida no espectro de potência da série temporal de AROLE não-filtrada extraída de um ponto base na área sul da ZCAS (Fig. 4.5.(b)) pode estar

relacionada com o sinal precursor vindo da região subtropical da ZCPS, que, por sua vez, pode ter sido modulado pelo deslocamento da OMJ.

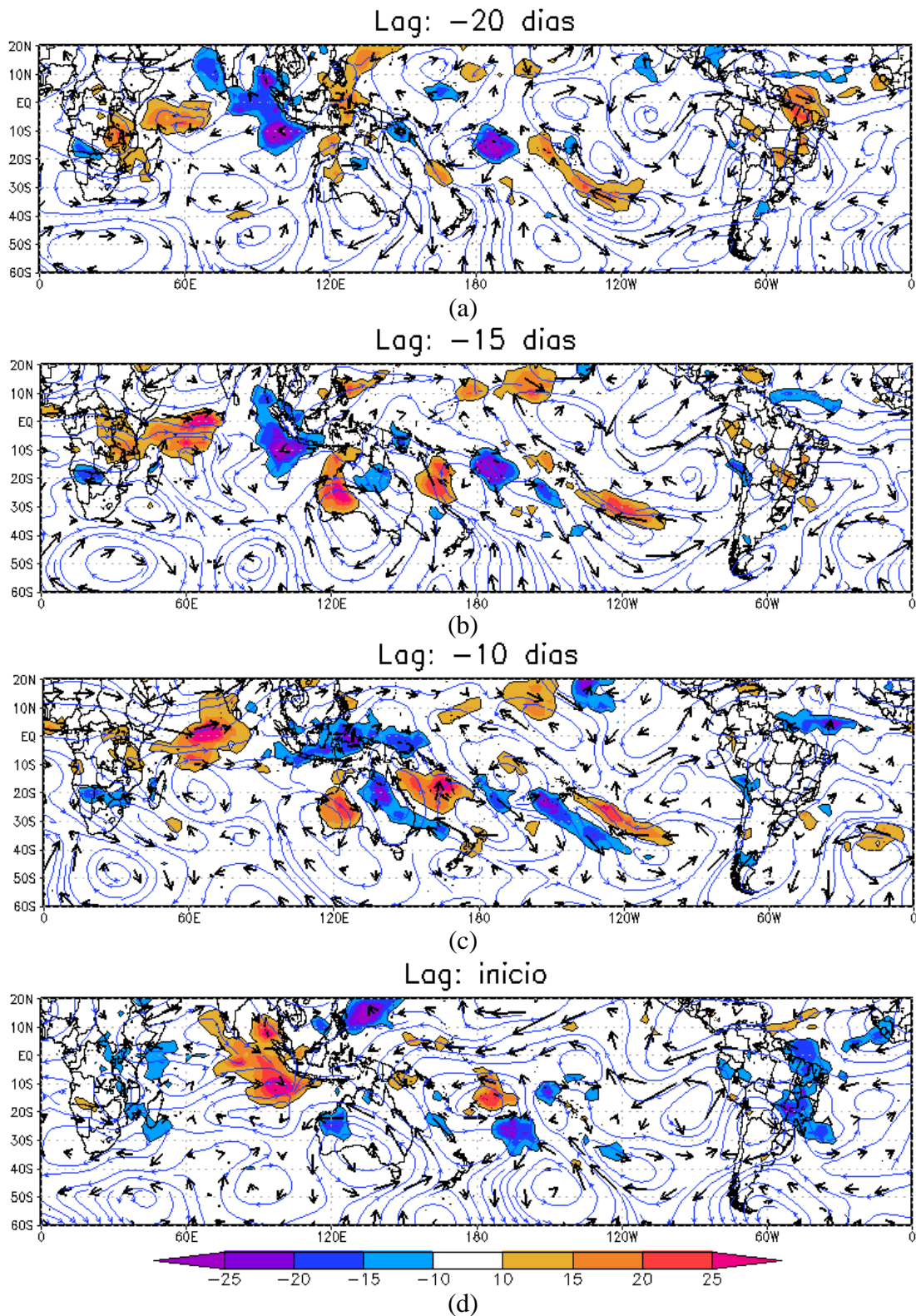


Figura 4.18 – Anomalias de ROLE (sombreado), vetor vento e linhas de corrente em 200 hPa filtradas em 30-60 dias para: (a) 20 dias; (b) 15 dias; (c) 10 dias; e (d) 0 dia antes do início do evento S9.

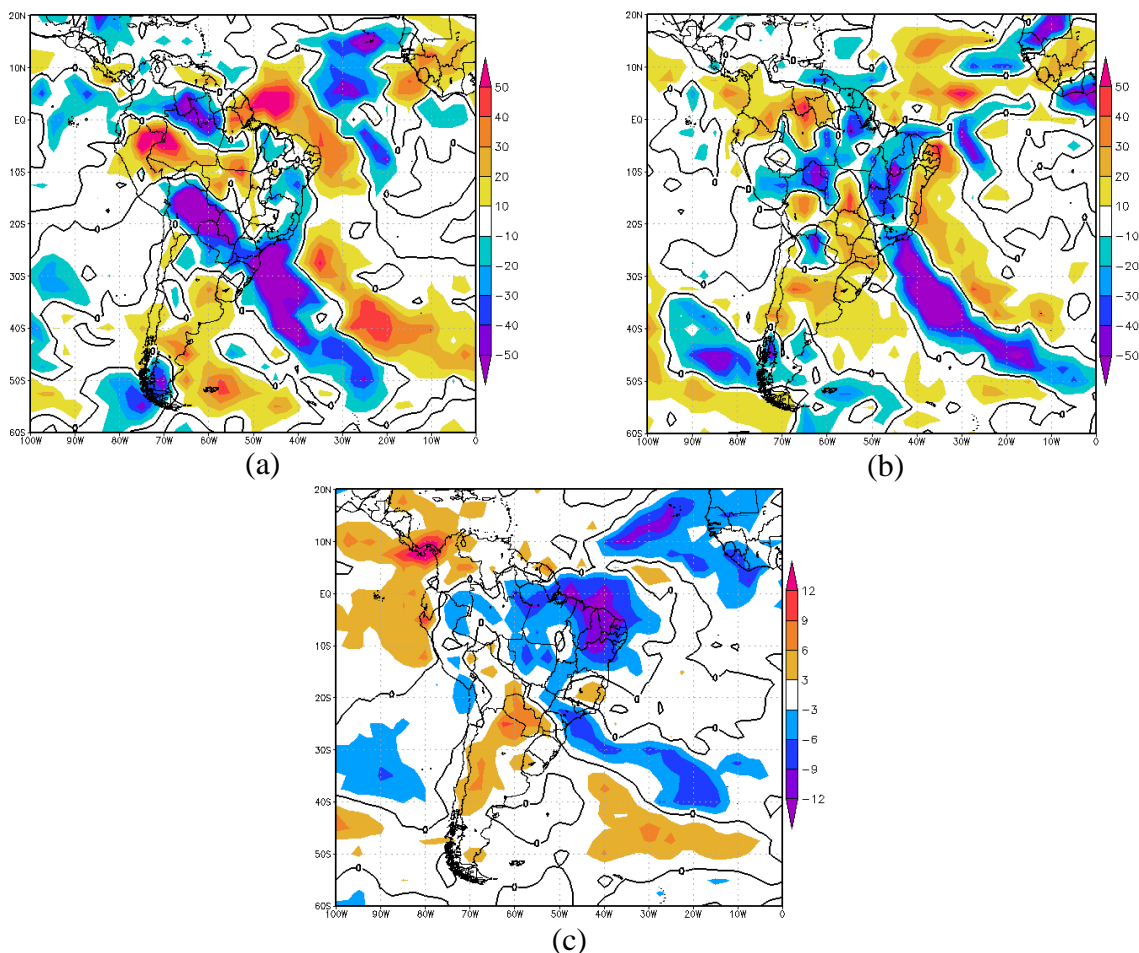


Figura 4.19 – AROLE filtrada em 2-10 dias para (a) 1 dia antes do início do evento S9; (b) para o dia inicial do evento; e (c) Média da AROLE filtrada em 10-30 dias para o período de duração do evento S9.

A fonte remota de calor que produziu a resposta rotacional responsável pela modulação do evento S9 foi identificada através dos diagramas de Hovmöller, da análise de ondeletas e FI, confirmando a importância da região subtropical da ZCPS como sinal intrassazonal precursor que influenciou no estabelecimento e manutenção da ZCAS S9 na escala de tempo de 25-60 dias, principalmente em 32-45 dias. A energia contida na faixa intermediária entre 12-14 dias parece ser proveniente da porção tropical da ZCPS. Entretanto, o campo de FI do estado básico climatológico não destacou esta região como uma fonte de calor eficiente em produzir um padrão de teleconexão com a área sul da ZCAS, sugerindo o uso de um estado básico referente ao próprio período da forçante, possibilitando observar se o posicionamento das fontes de calor exhibe variações. A influência dos transientes de mais alta frequência também deve ser considerada como um possível mecanismo forçante nesta escala de tempo.

4.3 Padrão Central

A Tabela 4.3 apresenta informações sobre o período de ocorrência e a duração dos 31 eventos de ZCAS que apresentaram em média as AROLE negativas concentradas na área central. A duração média destes eventos é de 6 a 7 dias e o mês de maior frequência de ocorrência é dezembro, totalizando 11 episódios. O evento de mais longa duração persistiu na área central por 12 dias, entretanto, atuou durante novembro, que não foi registrado como o mês de maior frequência de ocorrência de episódios na área central. Sendo assim, para análise do estudo de caso selecionou-se o episódio referido como C19, sendo o evento com a máxima persistência durante o mês de dezembro.

Tabela 4.3 – Episódios de ZCAS ocorridos na área central. (Continua).

Evento	Período de ocorrência	Duração (dias)
C1	18/Dez/1993 –24/Dez/1993	7
C2	29/Dez/1993 – 06/Jan/1994	9
C3	13/Dez/1995 –16/Dez/1995	4
C4	01/Dez/2000 –08/Dez/2000	8
C5	01/Jan/2001 – 04/Jan/2001	4
C6	01/Nov/2001 –06/Nov/2001	6
C7	16/Nov/2001 –21/Nov/2001	6
C8	17/Dez/2001 –21/Dez/2001	5
C9	24/Dez/2001 –28/Dez/2001	5
C10	16/Fev/2002 – 24/Fev/2002	9
C11	10/Dez/2002 –16/Dez/2002	7
C12	13/Jan/2003 – 19/Jan/2003	7
C13	02/Jan/2004 – 06/Jan/2004	5
C14	07/Fev/2004 – 11/Fev/2004	5
C15	01/Mar/2005 – 07/Mar/2005	7
C16	11/Dez/2005 –16/Dez/2005	6
C17	07/Mar/2006 – 16/Mar/2006	10
C18	17/Out/2006 – 20/Out/2006	4
C19	07/Dez/2006 –16/Dez/2006	10

Tabela 4.3 – Conclusão.

Evento	Período de ocorrência	Duração (dias)
C20	30/Jan/2007 – 09/Fev/2007	11
C21	06/Jan/2008 – 09/Jan/2008	4
C22	20/Jan/2008 – 24/Jan/2008	5
C23	30/Jan/2008 – 08/Fev/2008	10
C24	22/Fev/2008 – 25/Fev/2008	4
C25	07/Nov/2008 – 11/Nov/2008	5
C26	13/Nov/2008 – 24/Nov/2008	12
C27	27/Nov/2008 – 01/Dez/2008	5
C28	03/Dez/2008 – 07/Dez/2008	5
C29	12/Dez/2008 – 20/Dez/2008	9
C30	25/Dez/2008 – 28/Dez/2008	4
C31	23/Mar/2009 – 02/Abr/2009	11

4.3.1 Comportamento médio

4.3.1.1 Distribuição horizontal da AROLE

A composição da média dos 31 eventos ao longo de seus respectivos períodos de ocorrência para AROLE não-filtrada é indicada pela Figura 4.20.(a). A concentração de anomalias negativas na área central da ZCAS apresenta uma distribuição espacial similar à categoria oceânica da ZCAS descrita por Carvalho et al. (2004). Naquele estudo, os autores analisaram a evolução temporal das AROLE negativas contidas em grande parte sobre a porção oceânica da ZCAS e constataram que a propagação de trens de ondas de Rossby provenientes do Pacífico sul na escala de tempo de 10-90 dias contribui para ativar a convecção anômala. A estrutura da atividade convectiva sobre a AS e adjacências mostra um comportamento espacial semelhante ao identificado pelo segundo modo de variabilidade da AROLE não-filtrada descrito por Kousky e Cavalcanti (1988). De acordo com os autores, a EOF2 das AROLE está associada principalmente com a influência de sistemas transientes de alta frequência e de flutuações intrassazonais extratropicais, um aspecto também verificado na EOF4

descrita na análise do comportamento médio do padrão sul (ver seção 4.2.1.1). Entretanto, Kousky e Cavalcanti (1988) sugeriram que a variabilidade da atividade convectiva representada pela EOF2 não está relacionada no tempo com o padrão de AROLE indicado pela EOF4, verificando que cada um destes dois modos de variabilidade oscila independentemente.

As Figuras 4.20.(b) e 4.20.(c) apresentam uma composição da média dos 31 eventos ao longo de seus respectivos períodos de ocorrência para a AROLE filtrada nas bandas temporais de 10-90 dias e 2-10 dias, respectivamente. No contexto intrassazonal, verifica-se um comportamento médio aproximadamente similar ao apresentado pelas anomalias não-filtradas, exceto a ausência de conexão das anomalias negativas na área central da ZCAS com o Atlântico norte tropical. Este comportamento intrassazonal foi apresentado por Cunningham e Cavalcanti (2006) através do terceiro modo de EOF das AROLE filtradas em 30-90 dias. O resultado é ilustrado pela Fig. 4.20.(d) e de acordo com Cunningham e Cavalcanti (2006) esta estrutura espacial da AROLE indica a manifestação intrassazonal da ZCAS sendo preferencialmente modulada pelos distúrbios ondulatórios extratropicais como o PSA, por exemplo.

As AROLE em 2-10 dias mostram a existência de um padrão espacial alongado com orientação noroeste-sudeste que captura as características dos sistemas frontais sobre a AS (CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006). De acordo com Cunningham e Cavalcanti (2006), os sinais de alternância da convecção entre o sul e o sudeste do Brasil estão relacionados com os movimentos ascendentes ao longo dos sistemas frontais e descendentes na retaguarda dos mesmos.

O padrão médio da AROLE não-filtrada na área central ilustra a presença da ZCAS localizada nas proximidades da posição climatológica (Fig. 3.1), mostrando que este comportamento é o resultado da componente intrassazonal oscilando em fase com os transientes de alta frequência, contribuindo para reproduzir uma estrutura espacial semelhante a um evento de ZCAS em que a convecção mais intensa concentra-se no oceano (CARVALHO et al., 20004).

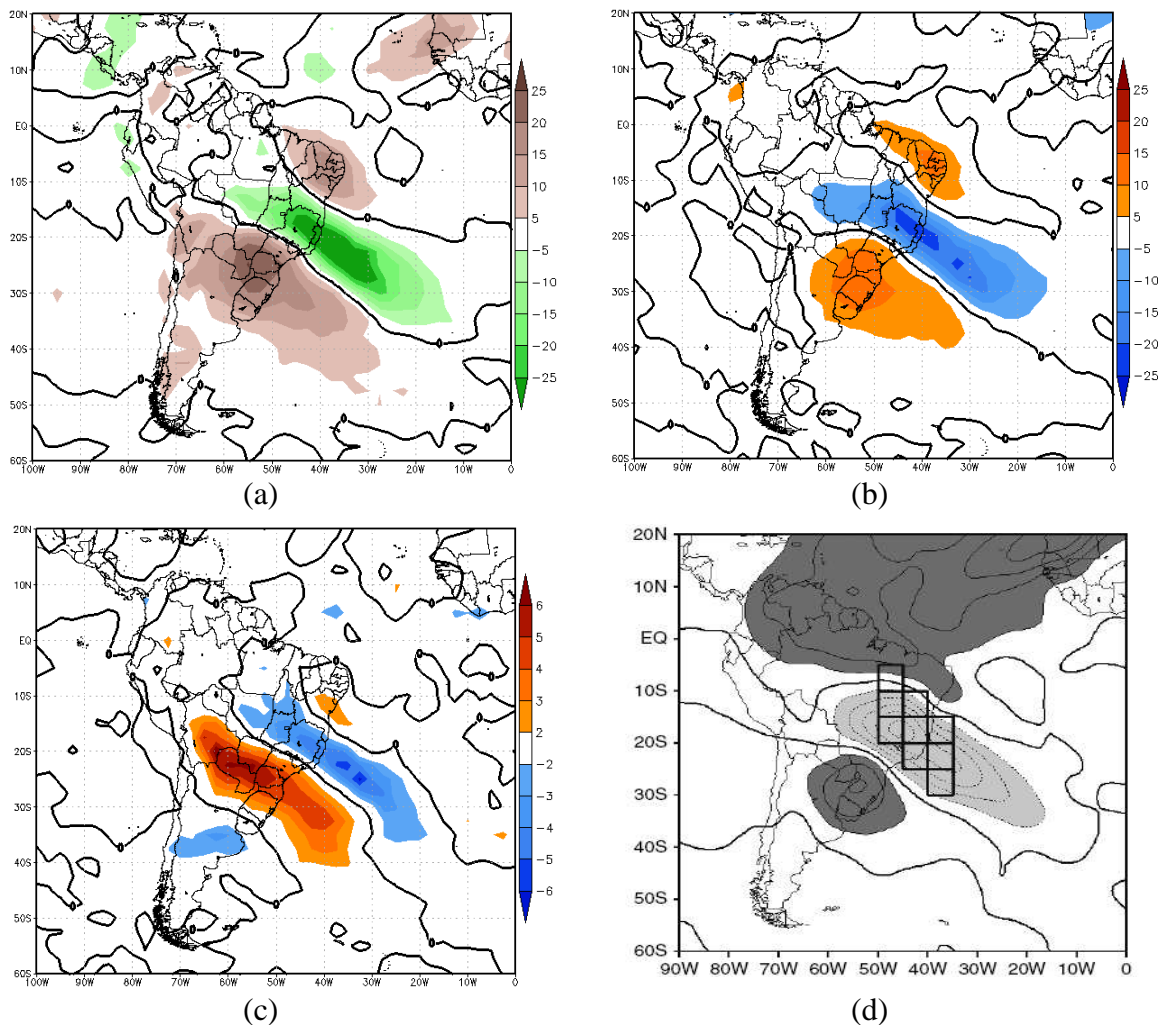


Figura 4.20 - Composição da média dos 31 eventos ao longo de seus respectivos períodos de ocorrência para a AROLE (a) não-filtrada; (b) filtrada em 10-90 dias; e (c) filtrada em 2-10 dias; (d) EOF3 da AROLE filtrada em 30-90 dias (Fonte: Cunningham e Cavalcanti (2006)). Os contornos sólidos espessos indicam a linha do zero em todas as figuras. Em (d) o intervalo das anomalias é de 2 W/m^2 e os quadrados em preto representam posições preferenciais de manifestação da ZCAS.

4.3.1.2 Oscilação de 30-60 dias

A Figura 4.21 apresenta uma sequência de composições conjuntas dos 31 eventos para as anomalias de ROLE (sombreado), de vetor vento e de linhas de corrente em 200 hPa filtradas em 30-60 dias para defasagens de -30 dias até o dia inicial de cada evento (lag 0) em intervalos de 5 dias. Apenas as AROLE mais positivas (negativas) do que $2 (-2) \text{ W/m}^2$ são mostradas em sombreado escuro (claro).

Nas defasagens de -30 dias (Fig. 4.21.(a)) e -25 dias (Fig. 4.21.(b)) observa-se o avanço de AROLE negativas a partir da região sudeste do Brasil em direção ao nordeste do Brasil, simultaneamente com o estabelecimento de AROLE positivas na região da ZCPS. Esta fase da OMJ foi verificada por Castro (2009) no segundo modo de variabilidade das AROLE filtradas em 30-90 dias (Fig. 2.1.(b)). Castro (2009) comentou que a principal característica desta fase da OMJ é o comportamento convectivo oposto entre a Indonésia/oeste do Pacífico tropical e o nordeste do Brasil, uma observação também descrita por Weickmann et al. (1985) e Kousky e Kayano (1992). A interação trópico-extratropical que influencia a região da ZCAS mostra sobre o Pacífico sul um padrão ondulatório que possivelmente é uma resposta da atmosfera à inibição anômala localizada no centro-oeste do Pacífico.

Com -20 dias (Fig. 4.21.(c)) e -15 dias (Fig. 4.21.(d)) de defasagens, existe inibição na área central da ZCAS e as AROLE apresentam um comportamento semelhante ao padrão médio intrassazonal ilustrado pela Fig. 4.20.(b), mas com sinal inverso. AROLE negativas se deslocam do leste do Índico para a Indonésia à medida em que a inibição no centro-oeste do Pacífico sul inicia seu processo de dissipação. Esta fase da OMJ foi apresentada por Castro (2009) através da EOF1 das AROLE filtradas em 30-90 dias (Fig. 2.1.(a)). O autor destacou o comportamento convectivo semelhante (oposto) entre a ZCPS (o leste do Índico) e a ZCAS. De acordo com Castro (2009), a EOF1 seria uma evolução temporal da EOF2 (Fig. 2.1.(b)), evidenciando a propagação para leste típica da OMJ na atmosfera tropical (KOUSKY E KAYANO, 1992). Esta sequência temporal da oscilação de 30-60 dias produz anomalias de circulação ciclônica no oeste do Pacífico tropical em ambos os hemisférios, propiciando o desenvolvimento de trens de ondas de Rossby que auxiliam na formação de circulações anticiclônicas no sudeste do Brasil e no sudeste dos Estados Unidos, responsáveis em modular as AROLE positivas.

Nas defasagens de -10 dias (Fig. 4.21.(e)) e -5 dias (Fig. 4.21.(f)) as anomalias positivas de AROLE concentradas na área central da ZCAS iniciam o deslocamento para o nordeste do Brasil, mostrando um sinal oposto ao apresentado na região da ZCPS. Circulações anticiclônicas se desenvolvem em ambos os hemisférios no centro-oeste do Pacífico subtropical, onde contribuem para o estabelecimento de um trem de ondas em

ambos os hemisférios (defasagem de -5 dias). Esta resposta da atmosfera auxilia na transferência de energia por longas distâncias através da propagação de ondas de Rossby forçadas pela divergência anômala no Pacífico tropical (KILADIS E WEICKMANN, 1992).

No dia inicial (Fig. 4.21.(g)) o comportamento das anomalias intrassazonais revela uma estrutura semelhante a EOF1 apresentada por Castro (2009) (Fig. 2.1.(a)), reforçando a suposição de que em média a ZCAS na área central é influenciada por esta fase da OMJ, que parece ser uma evolução temporal da EOF2 (Fig. 2.1.(b)). O padrão anômalo da circulação destaca anomalia de circulação ciclônica nas proximidades do sudeste do Brasil, confirmando a influência extratropical dos trens de ondas de Rossby na escala de tempo intrassazonal sobre a ZCAS (LIEBMANN et al., 1999).

Resumidamente, a transição de fase da OMJ a partir do segundo modo (Fig. 2.1.(b)) para o primeiro modo (Fig. 2.1.(a)) de variabilidade ilustra estas características, sugerindo ser em média representativa da modulação intrassazonal da convecção na área central da ZCAS através da ação dos trens de ondas resultantes da interação trópico-extratropical.

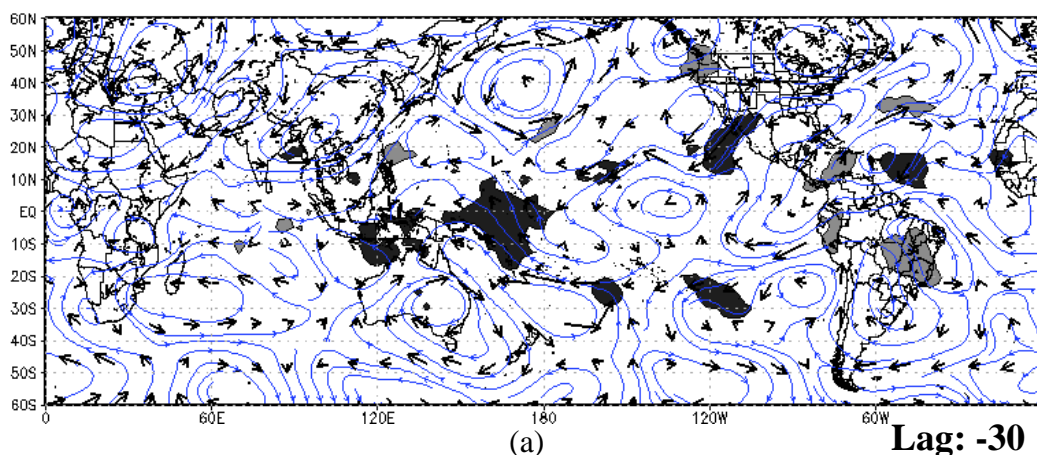


Figura 4.21 - Composições dos 31 eventos para as anomalias de ROLE (sombreado), linha de corrente e vetor vento em 200 hPa filtradas em 30-60 dias para defasagens de (a) -30 dias; (b) -25 dias; (c) -20 dias; (d) -15 dias; (e) -10 dias; (f) -5 dias; e (g) 0 dia antes do início de cada evento. Apenas AROLE mais positivas (negativas) do que 2 (-2) W/m^2 são mostradas em sombreado escuro (claro). (Continua).

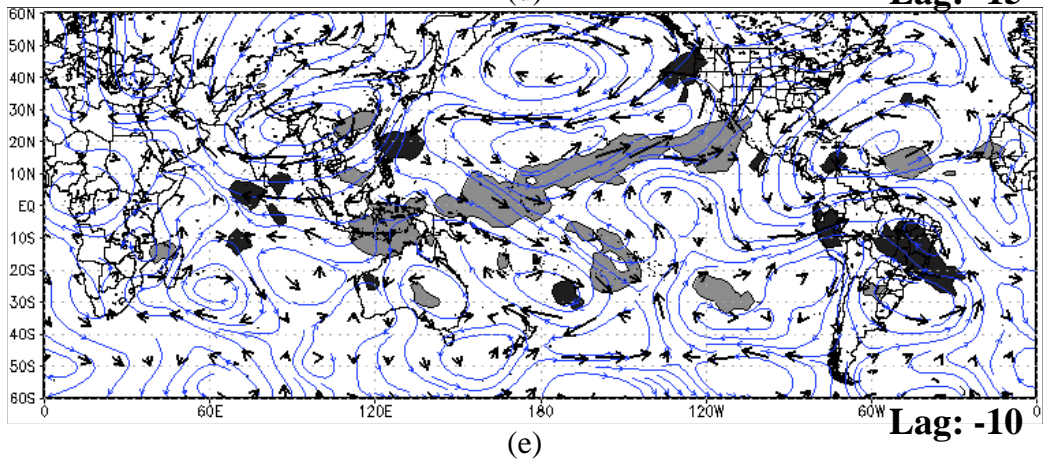
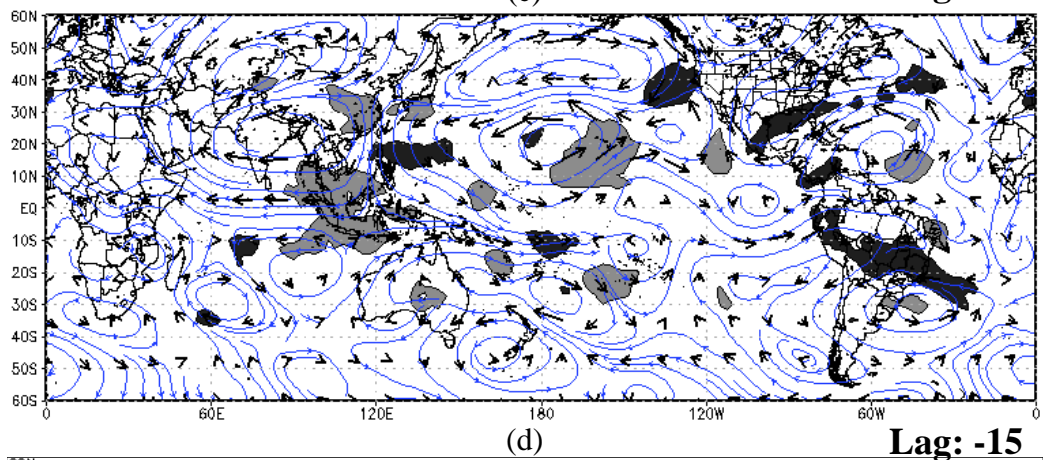
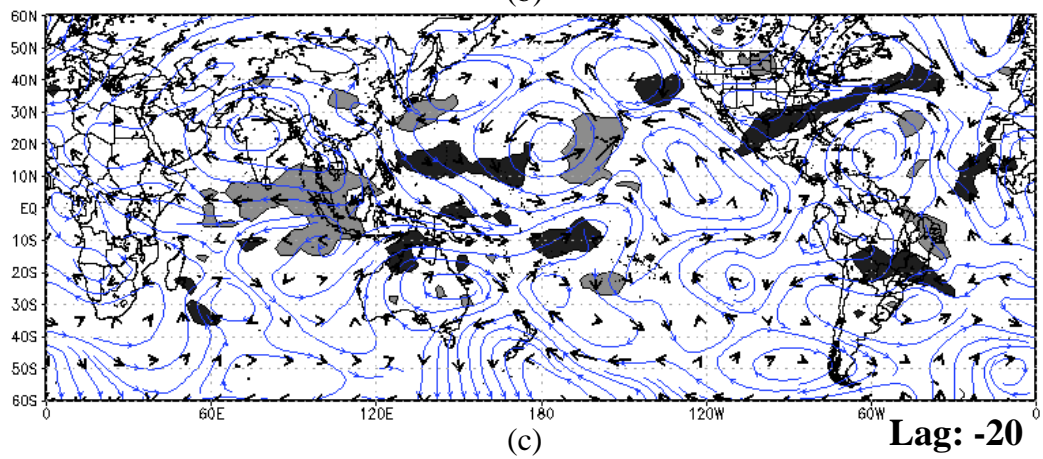
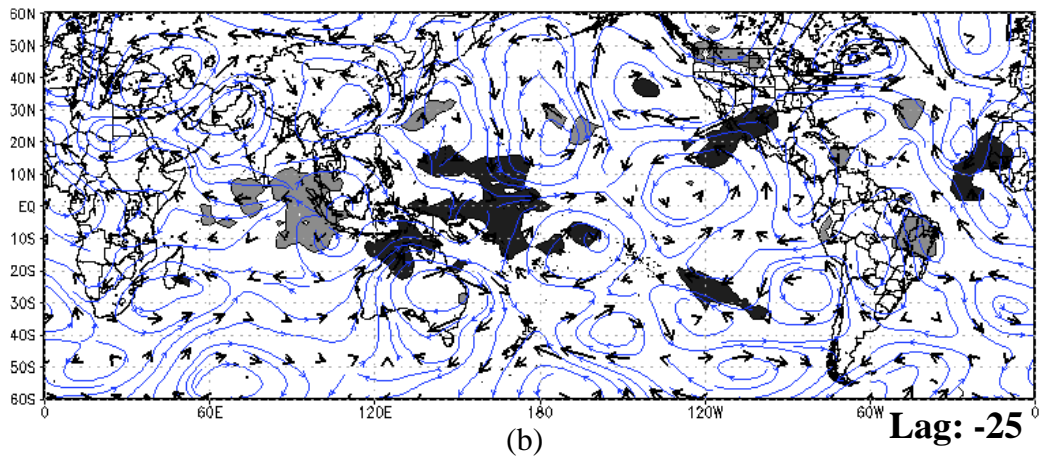


Figura 4.21 – (Continua).

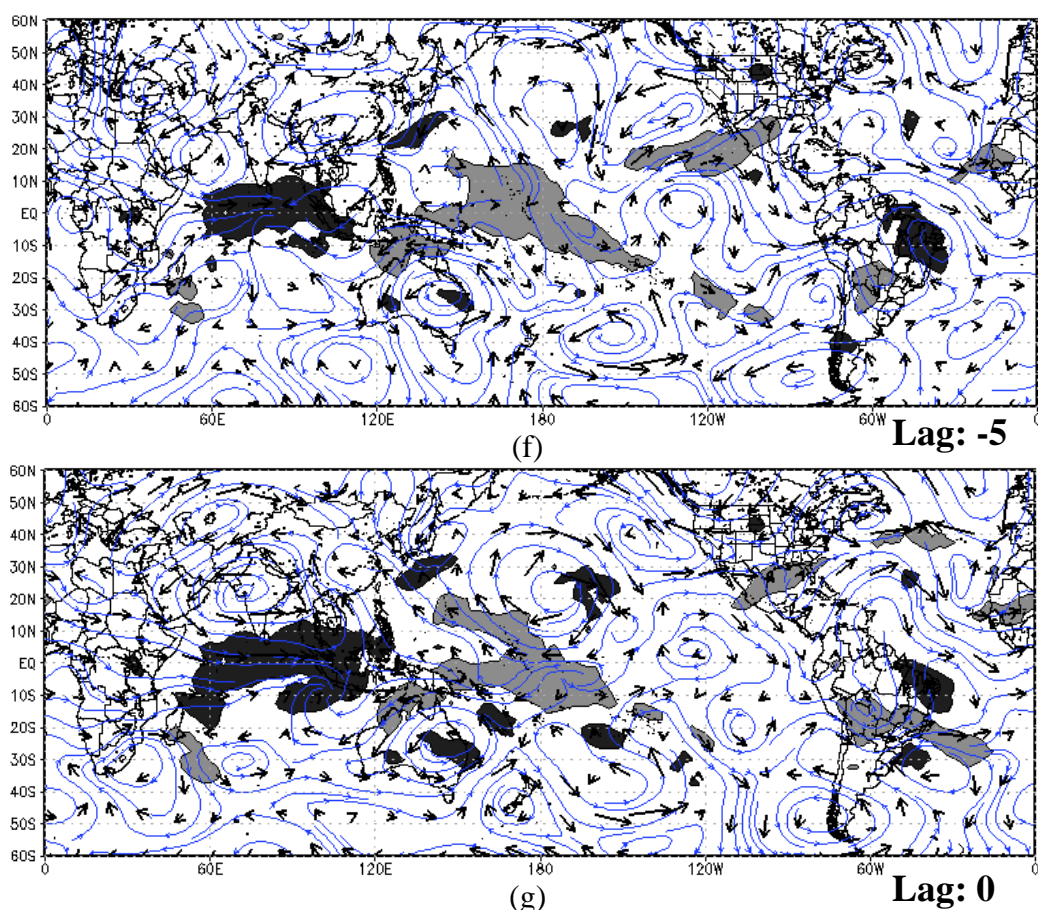


Figura 4.21 – Conclusão.

4.3.2 Estudo de caso: ZCAS C19

O episódio selecionado para o estudo de caso é o C19, que teve início em 07/dez/2006 e término em 16/dez/2006 (Tabela 4.3). A Figura 4.22 apresenta uma imagem de temperatura de brilho média referente ao período do evento, além do campo médio de AROLE não-filtrada para o mesmo período. A presença da ZCAS na área central é destacada em ambas as figuras, tanto nos valores mais negativos de AROLE (Fig. 4.22.(b)) quanto nos mais baixos valores de temperatura de brilho representados pelos tons de cinza mais claros (Fig. 4.22.(a)). O ponto escolhido para extrair a série temporal de AROLE não-filtrada na área central da ZCAS é 17°S/37°W (Fig. 4.22.(b)). A transformada de ondeleta foi aplicada sobre a série temporal diária com início em 01/dez/2005 e término 28/fev/2007.

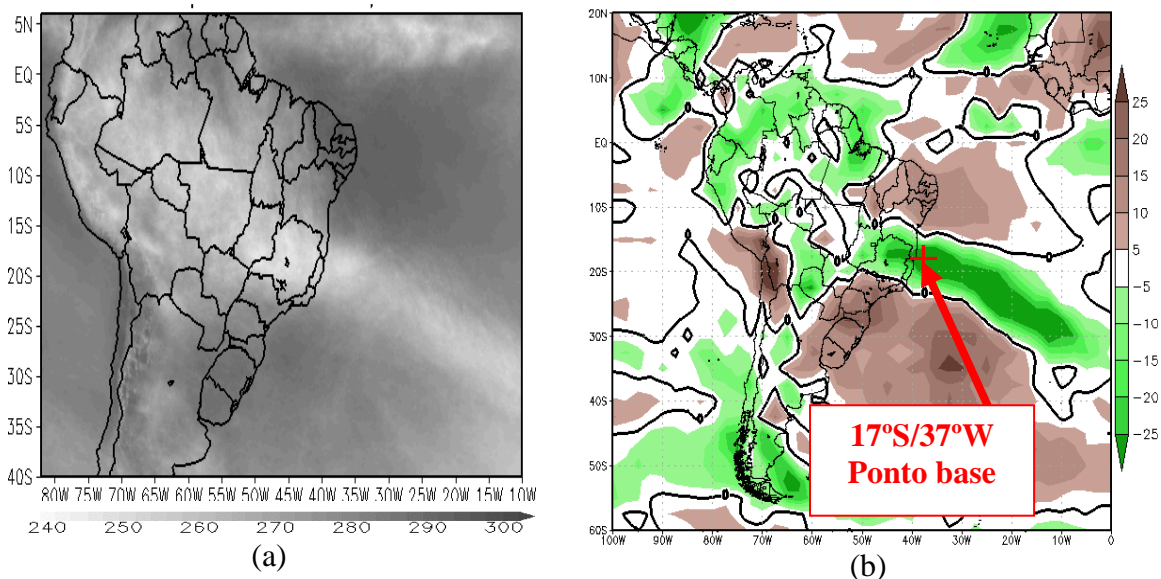


Figura 4.22 - (a) Temperatura de brilho média para o período de duração do evento C19 (Fonte: CPTEC/INPE); e (b) Média da AROLE não-filtrada ao longo do período de ocorrência do evento C19. O contorno sólido espesso em (b) é a linha do zero e o ponto de Lat. x Lon. para obtenção da série temporal é destacado com (+).

O espectro de potência da ondeleta, da série temporal de AROLE não-filtrada extraída de um ponto base na área central da ZCAS (Fig. 4.23.(a)), mostra ao longo do período de duração do evento C19 um alto conteúdo de energia no espectro intrassazonal entre 20-60 dias (Fig. 4.23.(b)), destacando a importância das oscilações com períodos médios de 22 e 40 dias na formação e manutenção da ZCAS (NOGUÉS-PAEGLE et al., 2000). Alguns dias antes do estabelecimento da ZCAS C19 nota-se um conteúdo de energia em 2-4 dias, mostrando a participação dos transientes de alta frequência no processo inicial de formação do evento. Um aspecto interessante também observado no espectro de potência é a baixa quantidade de energia entre o final de julho/2006 e o início de outubro/2006 em todas as frequências, refletindo nas pequenas amplitudes dos valores normalizados de AROLE não-filtrada da série temporal observada (Fig. 4.23.(a)). O espectro global da série temporal destaca potência máxima em 32 dias e 60 dias (Fig. 4.23.(c)), confirmando os altos conteúdos de energia contidos na escala de tempo intrassazonal de baixa frequência, especialmente entre novembro/2006 e janeiro/2007 (Fig. 4.23.(b)). Um pico secundário no espectro global é observado em 10-12 dias apresentando-se a direita da curva vermelha tracejada, indicando confiança acima de 95%. Existe um aumento no conteúdo de energia nesta escala de tempo a partir da metade do período de atuação do evento C19, contribuindo

para a manutenção do evento juntamente com as oscilações de frequência mais baixa, que carregam um alto conteúdo de energia (Fig. 4.23.(b)). A partição da variância nas bandas temporais de 2-10, 10-30 e 30-60 dias (Fig. 4.23.(d)), ressalta principalmente a importância das oscilações intrassazonais no processo de modulação da ZCAS C19 através das curvas contendo os maiores picos de variância ao longo do período de ocorrência do evento. Destaca-se também a influência dos transientes em 2-8 dias, especialmente na etapa inicial do desenvolvimento do evento C19, como discutido na análise do espectro de potência para a banda de 2-4 dias (Fig. 4.23.(b)).

Através da análise do espectro de ondeleta sugere-se que o evento C19 tenha sido engatilhado devido à incursão de um transiente de alta frequência na área central da ZCAS cerca de 1 a 2 dias antes do início do evento, e ao estabelecer conexão com as oscilações intrassazonais compreendidas entre 16-60 dias o evento C19 organizou-se e manteve-se estacionário por alguns dias sobre a área central, sendo modulado principalmente pelas oscilações intrassazonais com alto conteúdo de energia entre 25-60 dias.

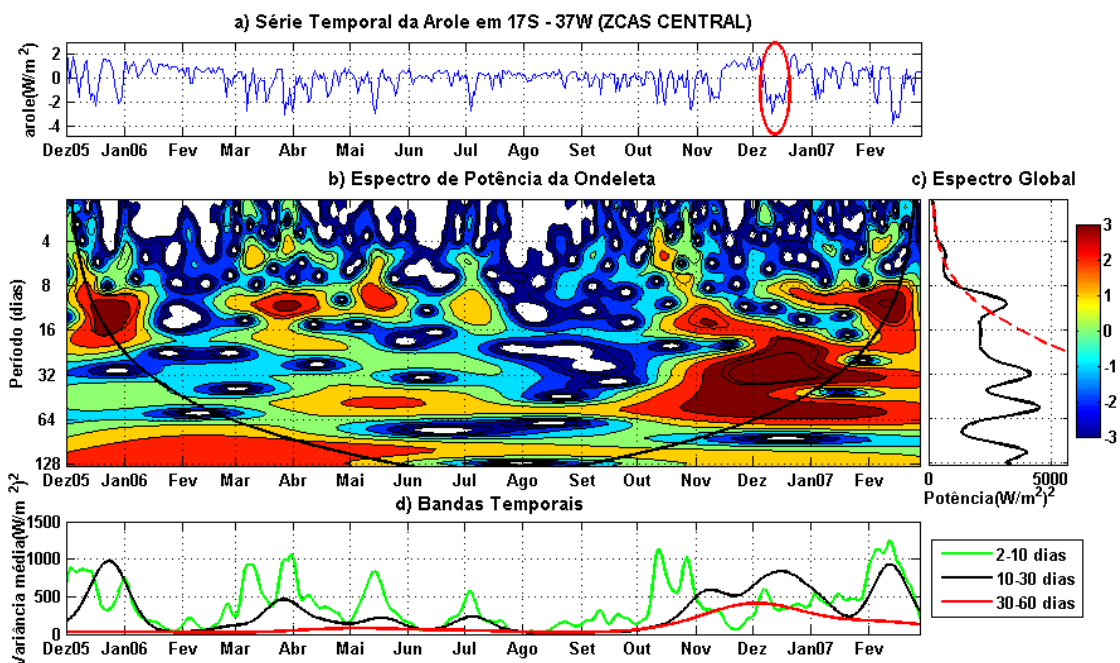


Figura 4.23 – Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto base em 17°S/37°W. O círculo vermelho em (a) ilustra o período de duração do evento C19.

Com o intuito de identificar as principais forçantes remotas da variabilidade intrassazonal responsáveis pela modulação do evento C19, a Fig. 4.24 ilustra a evolução temporal da média da AROLE não-filtrada nas faixas latitudinais entre 10°S – 10°N (equatorial), 25°S – 10°S (tropical) e 35°S – 25°S (subtropical) através de diagramas de tempo x longitude. A análise se estende desde o fim de outubro de 2006 até o fim de dezembro de 2006, destacando especialmente a variabilidade intrassazonal.

Na faixa equatorial pode-se verificar que a convecção anômala aparece persistente principalmente no centro-oeste do Índico (40°E – 90°E), caracterizando na média latitudinal um dipólo de convecção com a região da Indonésia (110°E – 140°E) ao longo de todo o mês de novembro/2006 (Fig. 4.24.(a)). Pulsos de convecção também aparecem no centro-oeste do Pacífico (160°E – 160°W). A alternância do sinal convectivo entre o Índico/Indonésia/centro-oeste do Pacífico equatorial mostra um comportamento inverso ao verificado na evolução temporal da AROLE não-filtrada na mesma faixa latitudinal ao longo do mês de dezembro/1998 antes do estabelecimento do evento S9 (Fig. 4.6.(a)). Estas características opostas dos sinais persistentes de convecção na faixa equatorial podem estar demonstrando diferentes manifestações das fases da OMJ (KOUSKY E KAYANO, 1992; 1994), indicando possivelmente condições atmosféricas preferenciais para o desenvolvimento e manutenção de um determinado padrão de ZCAS. Kousky e Kayano (1992) verificaram que quando a atividade convectiva está inibida sobre a Indonésia, existe um aumento da convecção no centro-leste da AS tropical, concordando com o estudo de Weickmann et al. (1985). Castro (2009) constatou esta relação intrassazonal através da análise de correlação espacial e temporal utilizando dados de AROLE filtrados em 30-90 dias. É notável a pouca atividade convectiva na região da ZCIT (50°W – 30°W) no Atlântico norte, diferentemente do observado ao longo do período de análise do evento S9 (Fig. 4.6.(a)). Na região tropical os sinais de convecção não apresentam uma trajetória de propagação bem definida, mostrando apenas alguns pulsos isolados e pouco persistentes no centro-oeste do Pacífico sul (150°E – 150°W), com exceção do sinal entre 160°E e 180°, que apresenta uma duração de aproximadamente 15 dias (Fig. 4.24.(b)). A evolução temporal das anomalias segue um comportamento semelhante ao observado na faixa equatorial (Fig. 4.24.(a)), destacando os sinais de convecção (inibição) no centro-oeste (leste) do Índico. A evolução temporal da AROLE não-filtrada na região subtropical

mostra uma progressão pra leste, evidenciando alguns pulsos de convecção desde o leste da África, atravessando o Índico e possivelmente apresentando conexão com os sinais convectivos localizados no centro-oeste do Pacífico sul (180° - 120°W) (Fig. 4.24.(c)). As anomalias de convecção associadas com a ZCAS C19 ao longo do respectivo período de manifestação do evento são ilustradas com um círculo preto.

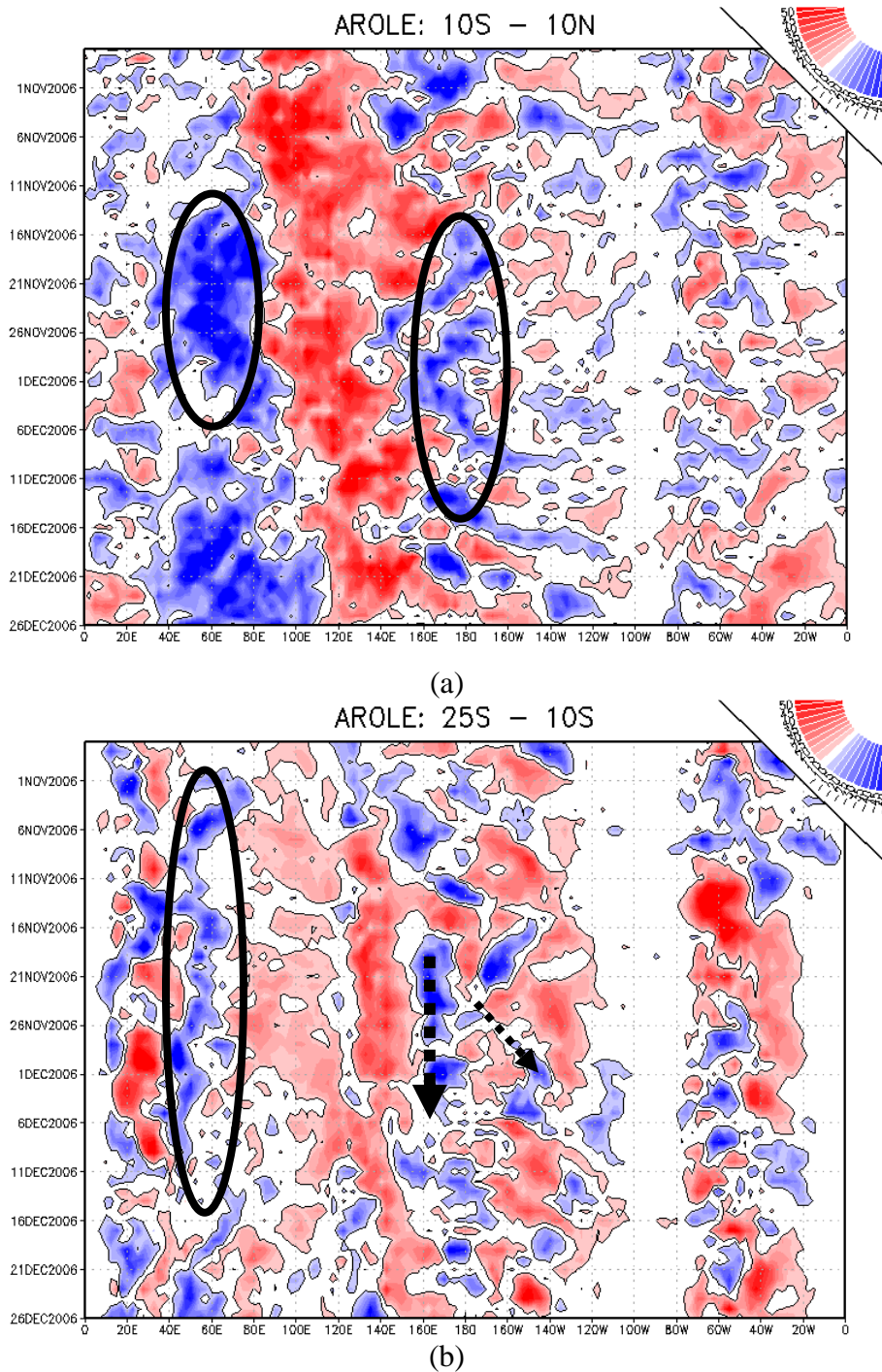
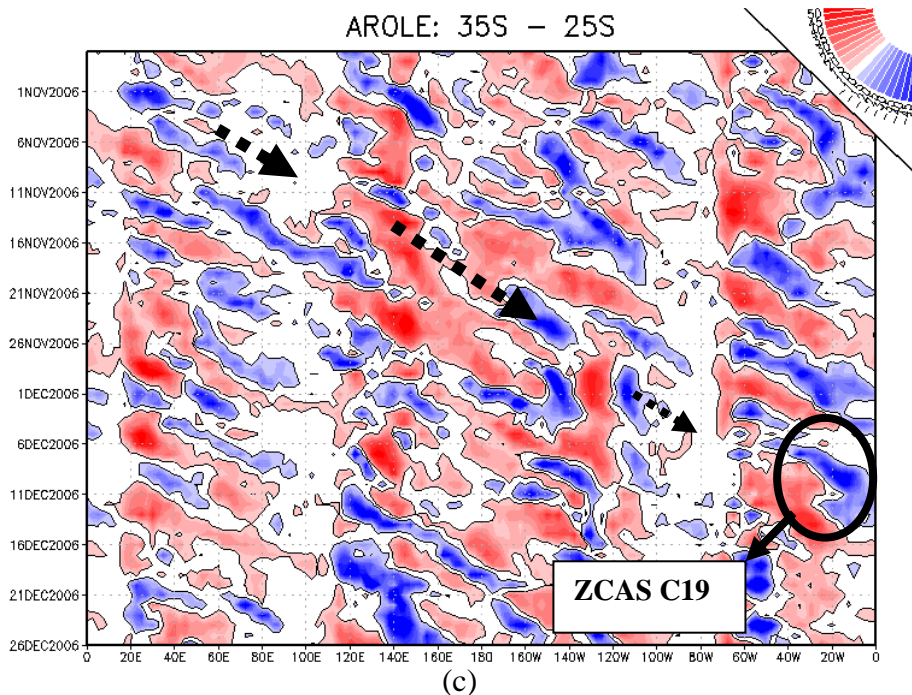


Figura 4.24 – Como na Fig. 4.6. (Continua).



(c)
Figura 4.24 – Conclusão.

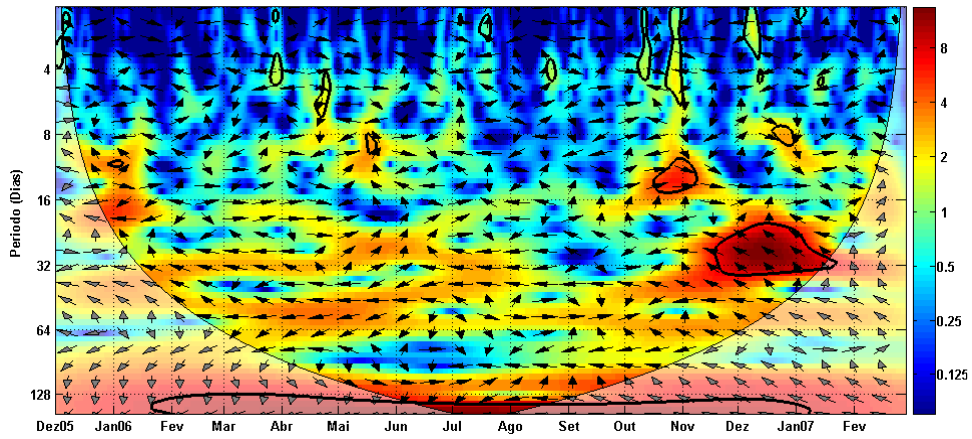
A identificação das possíveis fontes de calor remotas responsáveis pelo desenvolvimento do sinal intrassazonal na área central da ZCAS é feita inicialmente através da análise de ondeleta cruzada e da coerência entre alguns pontos remotos e o ponto base em que a série temporal da AROLE não-filtrada referente ao evento C19 foi extraída (Fig. 4.22.(b)). As latitudes escolhidas para extração dos pontos em cada faixa latitudinal são as mesmas descritas na análise do evento S9 (ver seção 4.2.2), entretanto, a seleção das longitudes é feita através dos diagramas de Hovmöller ilustrados pela Fig. 4.24. Sendo assim, as longitudes selecionadas são as seguintes: a) Equador: 10°E, 70°E, 150°E, 170°E e 40°W; b) Trópico: 50°E, 170°E, 170°W, 145°W, 110°W; c) Subtrópico: 30°E, 70°E, 100°E, 130°E; 170°W, 145°W e 110°W.

Na região equatorial os pontos remotos a serem analisados são 0°/70°E (Índico central) e 0°/170°E (oeste do Pacífico), onde as ondeletas cruzadas, coerências, ângulos de fase (vetores) e os intervalos de confiança no nível de 95% (contornos sólidos espessos) com o ponto base na ZCAS C19 são mostrados nas Figuras 4.25 e 4.26, respectivamente. A escolha destes pontos teve como critério verificar se os sinais convectivos persistentes em ambas as regiões apresentaram um potencial eficiente em produzir anomalias de circulação extratropicais que contribuíram para a modulação intrassazonal da ZCAS C19, além de avaliar o comportamento da OMJ. Todas as

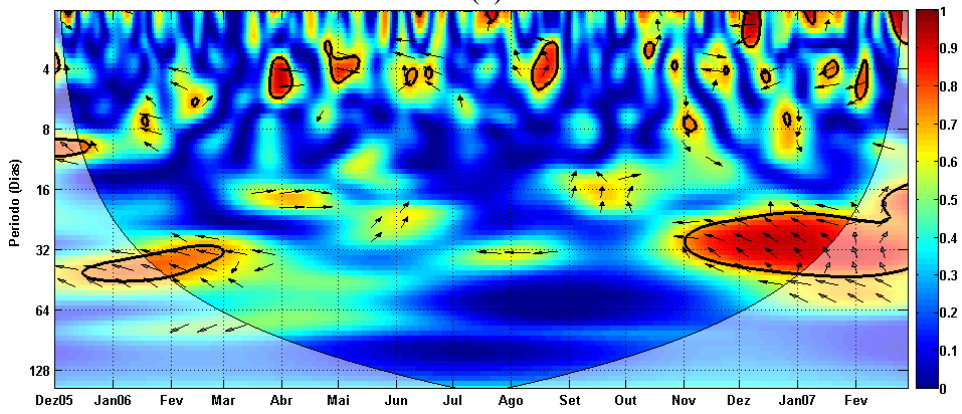
análises de ondeletas cruzada e coerência serão feitas ao longo do período de duração do evento C19 (07/dez/2006 – 16/dez/2006).

A potência cruzada com um ponto no Índico central equatorial ($0^{\circ}/70^{\circ}\text{E}$) mostra sinais nas escalas de tempo 2-4, 8 e 16-60 dias, sobretudo na faixa intermediária entre 22-32 dias, mostrando um nível acima de 95% de confiança (Fig. 4.25.(a)). Na análise da coerência, nota-se correlação com alguns sinais transientes em 2-8 dias, oscilando fora de fase, e altos valores de correlação no nível de 95% de confiança na banda temporal de 22-40 dias, indicando que o sinal intrassazonal na ZCAS precede o do Índico em 10-15 dias de antecedência (Fig. 4.25.(b)). A observação condiz com o deslocamento da OMJ, que promove na reta final de seu ciclo de vida a modulação da ZCAS e cerca de 10 a 20 dias depois influencia o centro-oeste do Índico em um novo ciclo de vida (KNUTSON E WEICKMANN, 1987; CASTRO, 2009).

No oeste do Pacífico ($0^{\circ}/170^{\circ}\text{E}$) a ondeleta cruzada mostra potência em 2-4, 8 e 15-60 dias, com máxima quantidade de energia em 25-32 dias e 50-60 dias (Fig. 4.26.(a)). Esta potência cruzada carrega muito do sinal intrassazonal apresentado no espectro de potência da série temporal do ponto base na área central da ZCAS (Fig. 4.23.(b)), indicando possivelmente uma marcante relação energética entre as duas regiões. Sinais de correlação entre as duas séries temporais são observados em 2-4 e 8-25 dias, com fases aproximadamente opostas, além de 45-60 dias, onde o sinal no oeste do Pacífico está avançado em $1/4$ do período, indicando que a potência intrassazonal alcança a área central da ZCAS em 10-15 dias de defasagem (Fig. 4.26.(b)). Os padrões de correlação das AROLE filtradas em 30-90 dias obtidos por Castro (2009) destacam que 10-15 dias após o sinal da OMJ ter alcançado o oeste do Pacífico equatorial, a ZCAS pode ser modulada na área central, concordando com os estudos de Kousky e Kayano (1992). Esta modulação pode ser realizada tanto no contexto de teleconexão trópico-trópico, devido à propagação para leste natural do ciclo de vida da OMJ, quanto no contexto de teleconexão trópico-extratropical, em que a propagação da convecção associada ao deslocamento da OMJ promove o desenvolvimento de perturbações nos extratropicais que alcançam a área central da ZCAS e contribuem para o estabelecimento dos episódios (NOGUÉS-PAEGLE et al., 2000; CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006; CASTRO, 2009).

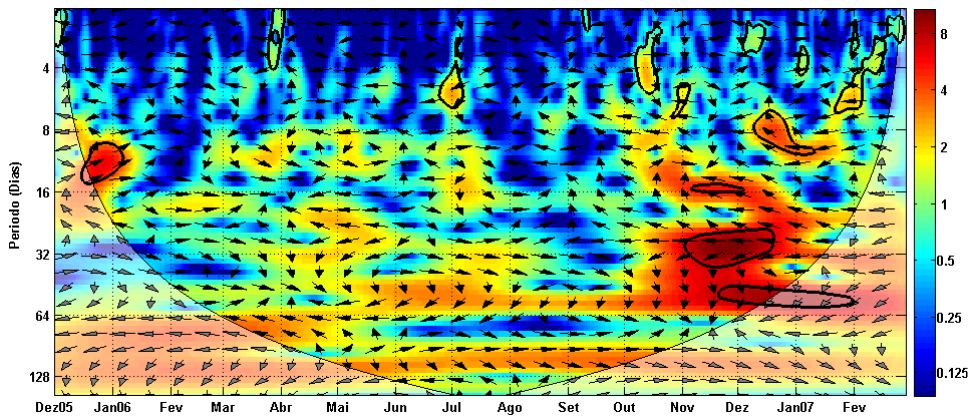


(a)



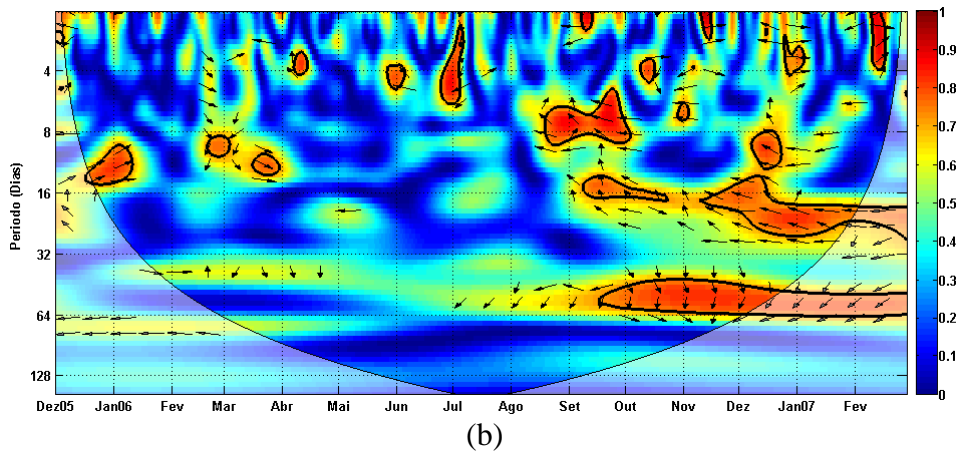
(b)

Figura 4.25 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no Índico central equatorial e a AROLE não-filtrada em um ponto na área central da ZCAS.



(a)

Figura 4.26 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no oeste do Pacífico equatorial e a AROLE não-filtrada em um ponto na área central da ZCAS. (Continua).



(b)
Figura 4.26 – Conclusão.

A Fig. 4.27 mostra a análise de ondeleta individual da série temporal extraída do ponto $0^{\circ}/170^{\circ}\text{E}$ (oeste do Pacífico). O espectro de potência da ondeleta evidencia alto conteúdo de energia nas bandas intrassazonais de 15-18 dias e de 25-60 dias no período de 15 a 20 dias antes do início do evento C19 (Fig. 4.27.(b)), confirmando a quantidade de energia intrassazonal que possivelmente foi transferida para a área central da ZCAS na banda de 45-60 dias (Figs. 4.23.(b) e 4.26.(b)).

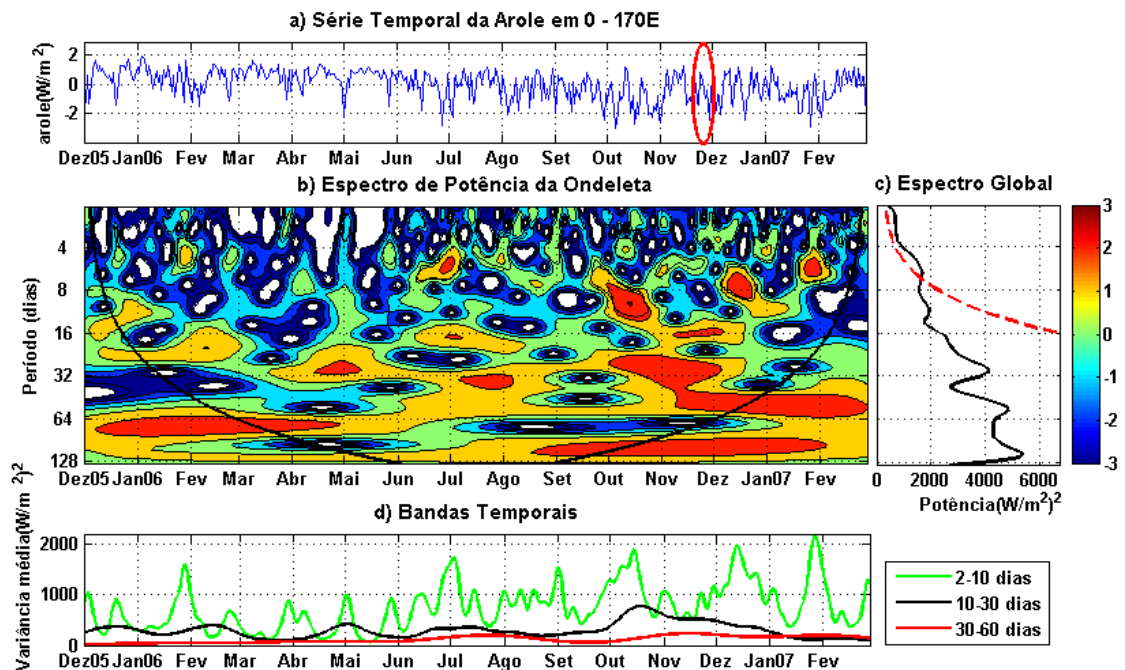
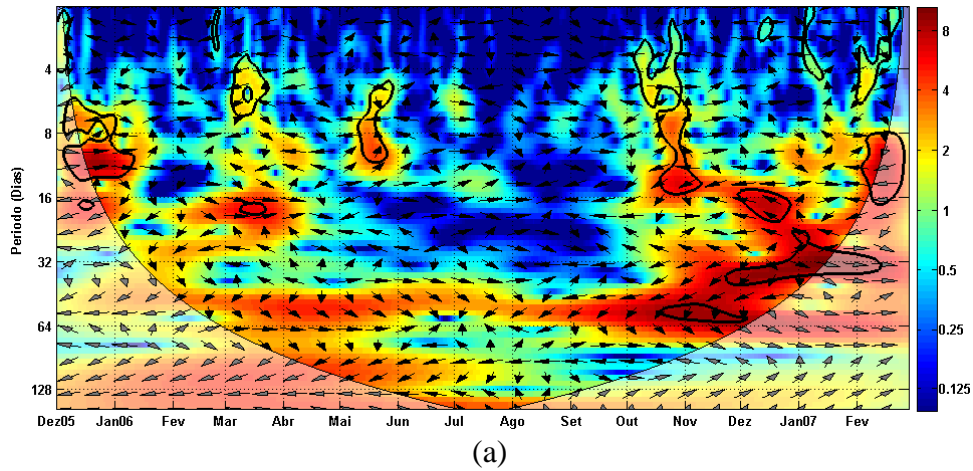


Figura 4.27 – Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto $0/170^{\circ}\text{E}$. O círculo vermelho em (a) ilustra aproximadamente o período de 15 a 20 dias antes do início do evento C19.

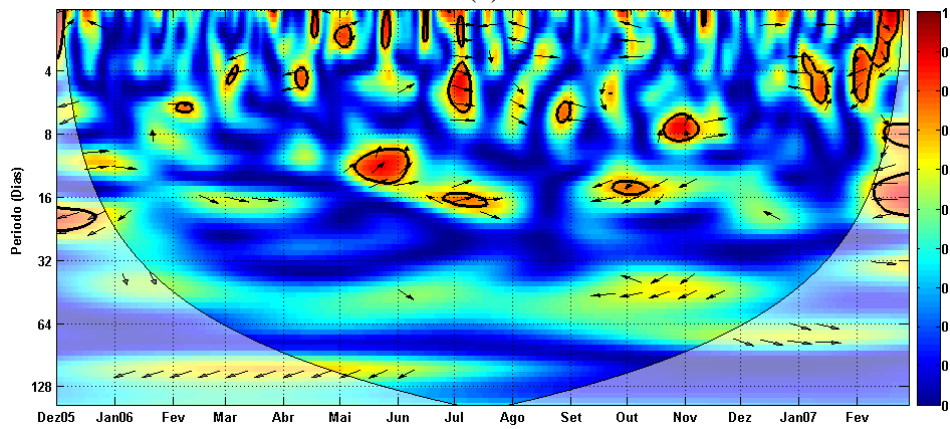
Na faixa tropical os pontos remotos a serem analisados são 15°S/170°E (oeste do Pacífico sul) e 15°S/145°W (Pacífico sul central), onde as ondeletas cruzadas, coerências, ângulos de fase (vetores) e os intervalos de confiança (contornos sólidos espessos) com o ponto base na ZCAS C19 são mostrados nas Figuras 4.28 e 4.29, respectivamente. Optou-se por analisar estes específicos pontos com o intuito de verificar se a presença de alguns pulsos de convecção na área centro-oeste do Pacífico sul pode afetar no estabelecimento da ZCAS C19.

A ondeleta cruzada com o oeste do Pacífico sul (15°S/170°E) mostra sinais comuns entre 15-60 dias, com maior conteúdo de energia em 15-22 dias e 32-45 dias (Fig. 4.28.(a)). A coerência apresenta baixos valores em todo o espectro intrassazonal, indicando que o sinal convectivo persistente neste ponto não foi eficiente em modular a variabilidade intrassazonal responsável pelo desenvolvimento da ZCAS C19 (Fig. 4.28.(b)). O espectro de potência cruzado com o Pacífico sul central (15°S/145°W) mostra alto conteúdo de energia especialmente nas bandas temporais de 15-22 dias e 32-60 dias (Fig. 4.29.(a)). Isto demonstra à forte intrassazonalidade contida nas duas regiões em decorrência da manifestação da OMJ (KOUSKY E KAYANO, 1992). Correlação em 15-22 dias mostra as duas séries oscilando fora de fase, enquanto em 45 dias os ângulos de fase indicam o sinal no Pacífico avançado em 1/8 do período, com o sinal na ZCAS respondendo cerca de 5 dias depois (Fig. 4.29.(b)). Esta observação demonstra o potencial da região tropical da ZCPS em estabelecer uma conexão intrassazonal com a ZCAS em alguns dias de defasagem (CASARIN E KOUSKY, 1986; GRIMM E SILVA DIAS, 1995), como também verificado na análise de ondeleta referente ao evento S9 (ver seção 4.2.2).

O espectro de potência da ondeleta, da série temporal de AROLE não-filtrada extraída de um ponto na porção tropical da ZCPS (Fig. 4.30.(a)), mostra que no período de 15 a 20 dias antes do início do episódio C19 a região central do Pacífico sul apresentou conteúdos de energia elevados nas escalas de tempo de 8-18 dias e 32-60 dias (Fig. 4.30.(b)). Desde o início de setembro/2006 a quantidade de potência na escala de tempo de 45-60 dias evidenciou valores elevados, caracterizando a região tropical da ZCPS como uma fonte de variabilidade intrassazonal (SHIMIZU E CAVALCANTI, 2010).

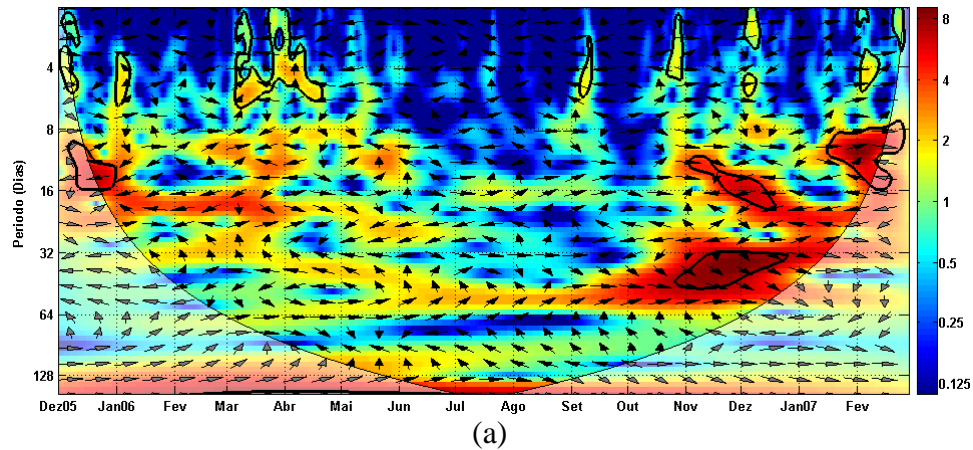


(a)



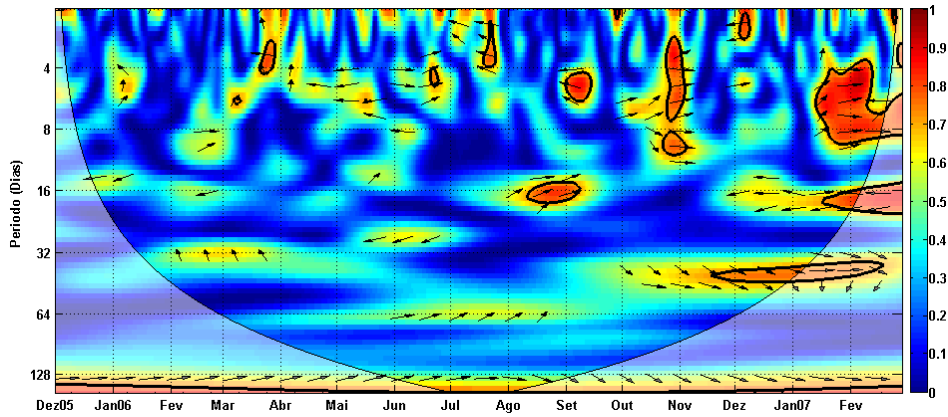
(b)

Figura 4.28 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no oeste do Pacífico sul tropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área central da ZCAS.



(a)

Figura 4.29 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no Pacífico sul central tropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área central da ZCAS. (Continua).



(b)
 Figura 4.29 – Conclusão.

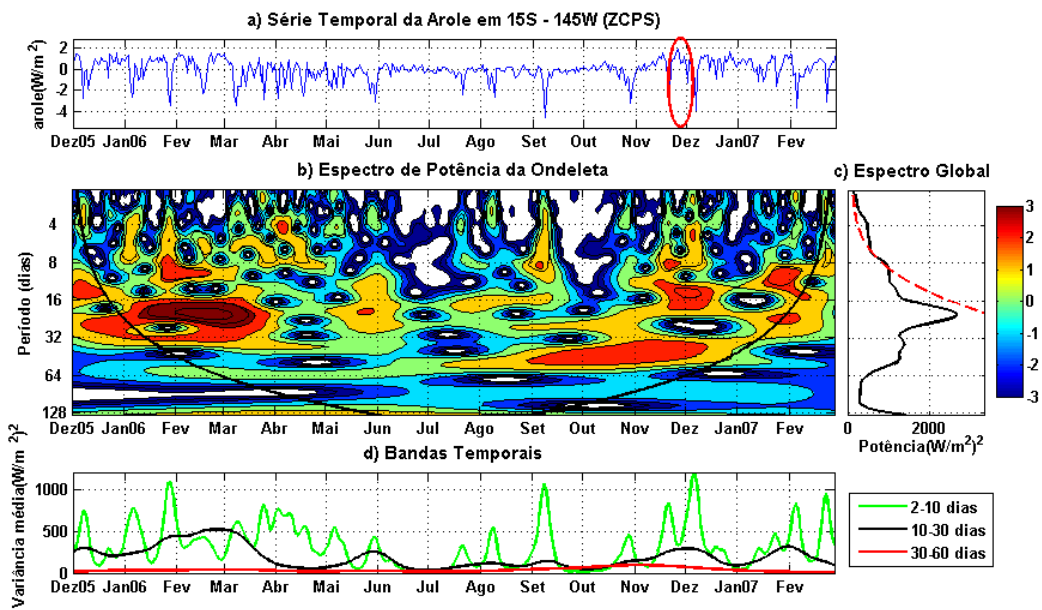


Figura 4.30 – Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto 15°S/145°W. O círculo vermelho em (a) ilustra aproximadamente o período de 15 a 20 dias antes do início do evento C19.

Na região subtropical os pontos escolhidos para análise são 30°S/145°W (Pacífico sul central) e 30°S/110°W (centro-leste do Pacífico sul), onde as ondeletas cruzadas, coerências, ângulos de fase (vetores) e os intervalos de confiança (contornos sólidos espessos) com o ponto base na ZCAS C19 são mostrados nas Figuras 4.31 e 4.32, respectivamente. O sinal cruzado e a coerência com os outros pontos selecionados para análise não apresentaram correlações significativas com o ponto base na área central da ZCAS (resultado não mostrado) e, portanto, justifica-se a escolha dos dois pontos mencionados anteriormente por apresentarem altos valores de correlação. Além disso, a verificação da influência do sinal convectivo que se propaga em direção a

porção central do Pacífico sul torna-se uma investigação interessante, uma vez que os mais altos valores de correlação com o ponto na ZCAS estão sendo observados na região de atuação da ZCPS (Fig. 4.26.(b)).

O sinal cruzado com Pacífico sul central (30°S/145°W) destaca potência comum em 2-4 dias, 8 dias e 16-60 dias, sobretudo entre 25-60 dias (Fig. 4.31.(a)). Existe coerência no sinal entre 45-60 dias, com as séries oscilando fora de fase, e em 25-32 dias, mostrando que a energia intrassazonal na ZCPS está avançada 90° em relação ao sinal da ZCAS, que responde em 6 a 8 dias (Fig. 4.31.(b)). O espectro de potência cruzado com um ponto no centro-leste do Pacífico sul (30°S/110°W) destaca energia comum principalmente em 25-60 dias, com alto conteúdo de energia e confiança acima do nível de 95% (Fig. 4.32.(a)). A coerência mostra correlação em 22 dias, com os sinais oscilando aproximadamente fora de fase (Fig. 4.32.(b)). A coerência em 60 dias no período de duração do evento C19 está praticamente fora da área do cone de influência, não sendo considerada na análise. Estes resultados também mostram a contribuição efetiva da região subtropical da ZCPS como fonte de variabilidade intrassazonal que modula a ZCAS em alguns dias de defasagens (GRIMM E SILVA DIAS, 1995; CASTRO, 2009).

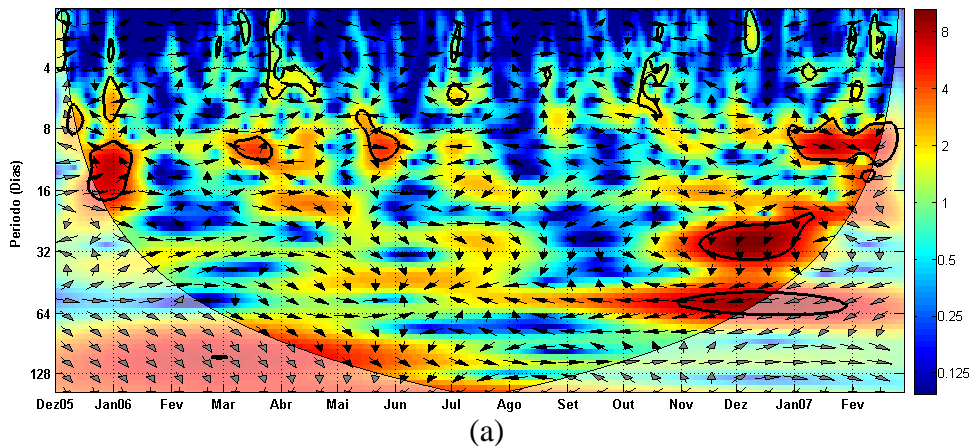
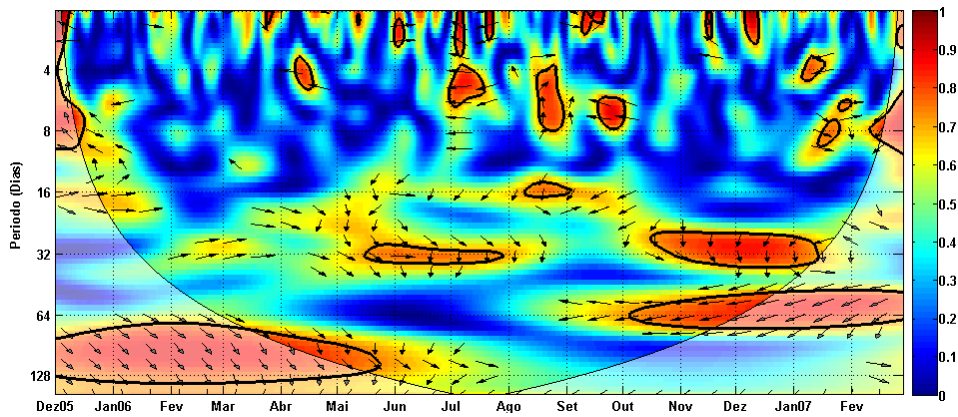
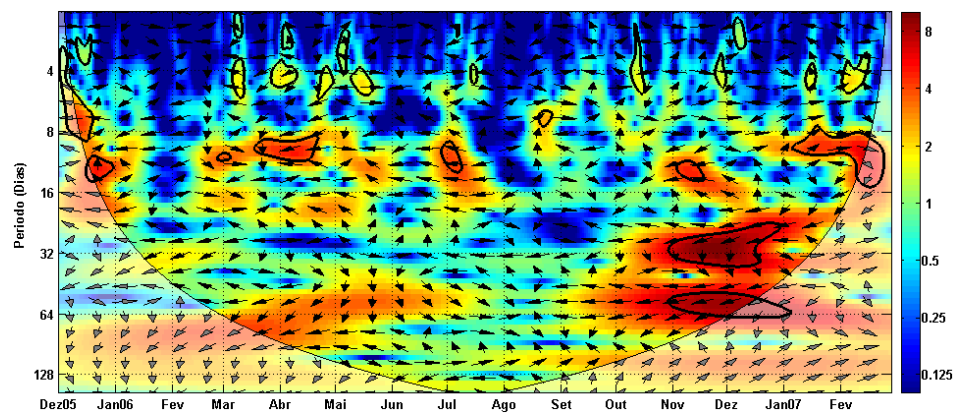


Figura 4.31 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no Pacífico sul central subtropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área central da ZCAS. (Continua).

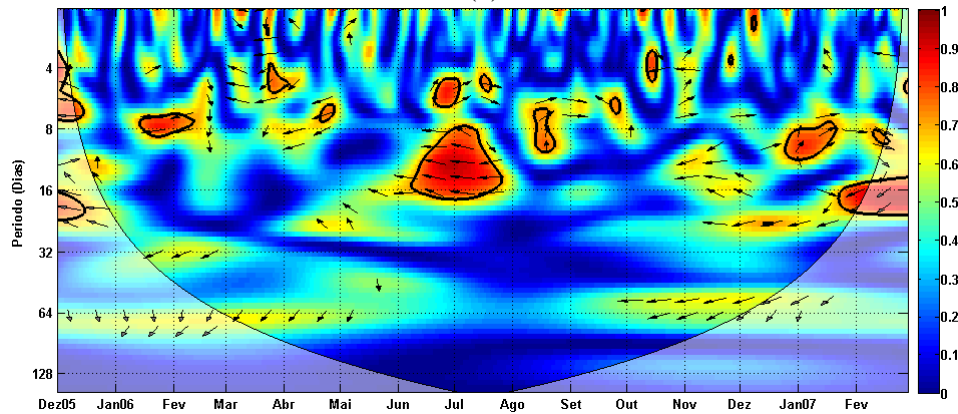


(b)

Figura 4.31 – Conclusão.



(a)



(b)

Figura 4.32 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no centro-leste do Pacífico sul subtropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área central da ZCAS.

A Fig. 4.33 mostra a análise de ondeleta individual para a série temporal extraída do ponto 30°S/145°W (Fig. 4.33.(a)). Observa-se no espectro de potência que justamente no período de aproximadamente 15 a 20 dias antes do início do evento C19, a região central do Pacífico sul subtropical mostrou um alto conteúdo de energia nas

escalas de tempo de 25-32 dias e 45-60 dias (Fig. 4.33.(b)), indicando um possível sinal intrassazonal precursor que posteriormente modulou o evento C19.

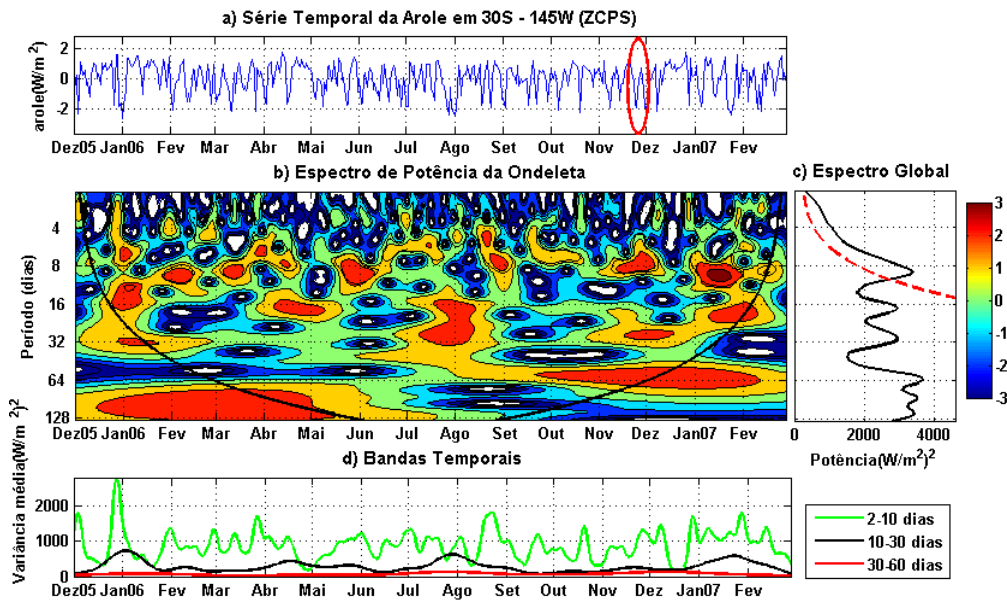


Figura 4.33 – Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto 30°S/145°W. O círculo vermelho em (a) ilustra aproximadamente o período 15 a 20 dias antes do início do evento C19.

As análises de ondeleta cruzada e coerência mostraram que os modos de variabilidade compreendidos na escala de tempo de 25-60 dias que atuaram na área central da ZCAS durante o período de manifestação do evento C19 são provenientes da região centro-oeste do Pacífico sul, entretanto, não mostraram quais os mecanismos de teleconexão que possivelmente transferiram estes sinais para a área central da ZCAS. Por este motivo, sugere-se que a potência observada em 45-60 dias no oeste do Pacífico equatorial está associada com o ciclo natural de progressão pra leste da OMJ, promovendo o aumento da convecção na área central da ZCAS em 10 a 15 dias de defasagens (CASTRO, 2009). No contexto de teleconexão trópico-extratropical, o deslocamento da atividade convectiva associada à OMJ em direção ao centro-oeste do Pacífico sul contribuiu para o surgimento de anomalias de convecção na região da ZCPS, onde, posteriormente, os sinais em 25-45 dias foram transferidos para a ZCAS em defasagens de 5 a 10 dias.

Para avaliar estas hipóteses, a Fig. 4.34.(a) apresenta o campo de FI da anomalia de Z considerando o estado básico climatológico referente ao mês de novembro para o ponto de interesse centrado em 28°S/30°W. Este ponto de interesse foi escolhido pelo fato de que o padrão médio da circulação em 200 hPa no período de manifestação do evento C19 mostra a presença de anomalias negativas de Z nas proximidades da área central da ZCAS restritas apenas a área oceânica (Fig. 4.34.(b)). A escolha da FI referente ao estado básico climatológico de novembro justifica-se por dois motivos: 1) pelo fato de que o evento C19 tenha ocorrido no começo do mês de dezembro e, portanto, pode ter sido influenciado por trens de ondas que foram conduzidos para a área central da ZCAS em função do comportamento climatológico do escoamento em novembro; 2) verificar se os posicionamentos das fontes de calor nos primeiros meses de ocorrência da ZCAS indicam variabilidades abruptas em relação ao apresentado pelo campo de FI referente à climatologia de janeiro, que representa satisfatoriamente o comportamento médio da circulação de verão no hemisfério sul. Em ambos os campos de FI, referentes aos estados básicos climatológicos de novembro (Fig. 4.34.(a)) e de janeiro (Fig. 4.34.(c)), verificou-se que a região central do Pacífico sul é a fonte remota que preferencialmente afeta a área central da ZCAS através da propagação de ondas de Rossby forçadas pela divergência anômala nos altos níveis (GRIMM, 1992). Obviamente que existem ligeiras variações no posicionamento das regiões fonte em cada campo de FI, mas as mudanças não são abruptas.

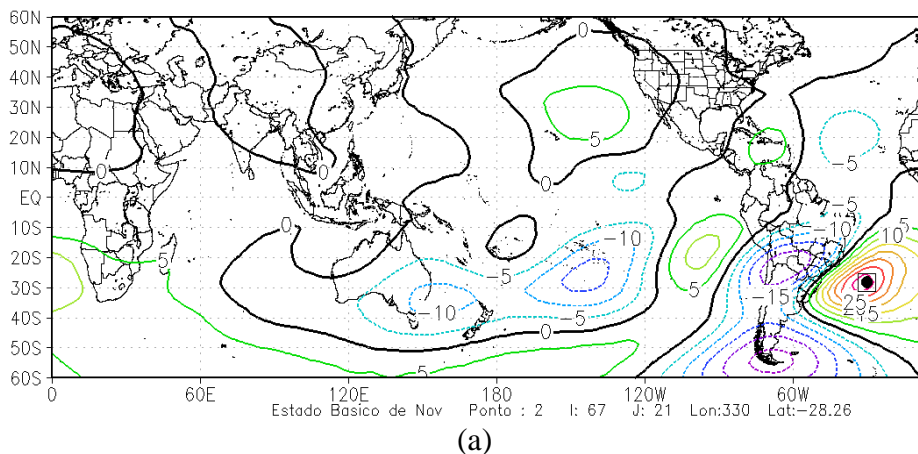


Figura 4.34 – (a) FI da anomalia de Z considerando estado básico climatológico de Novembro para o ponto de interesse em 28°S/30°W; (b) Média da anomalia de Z em 200 hPa no período de duração do evento C19; e (c) Como na letra (a), mas considerando estado básico climatológico de Janeiro. Em (b) contornos tracejados e sombreados em azul indicam anomalias negativas. Em (a) e (c) o ponto de interesse é indicado pelo ponto preto. (Continua).

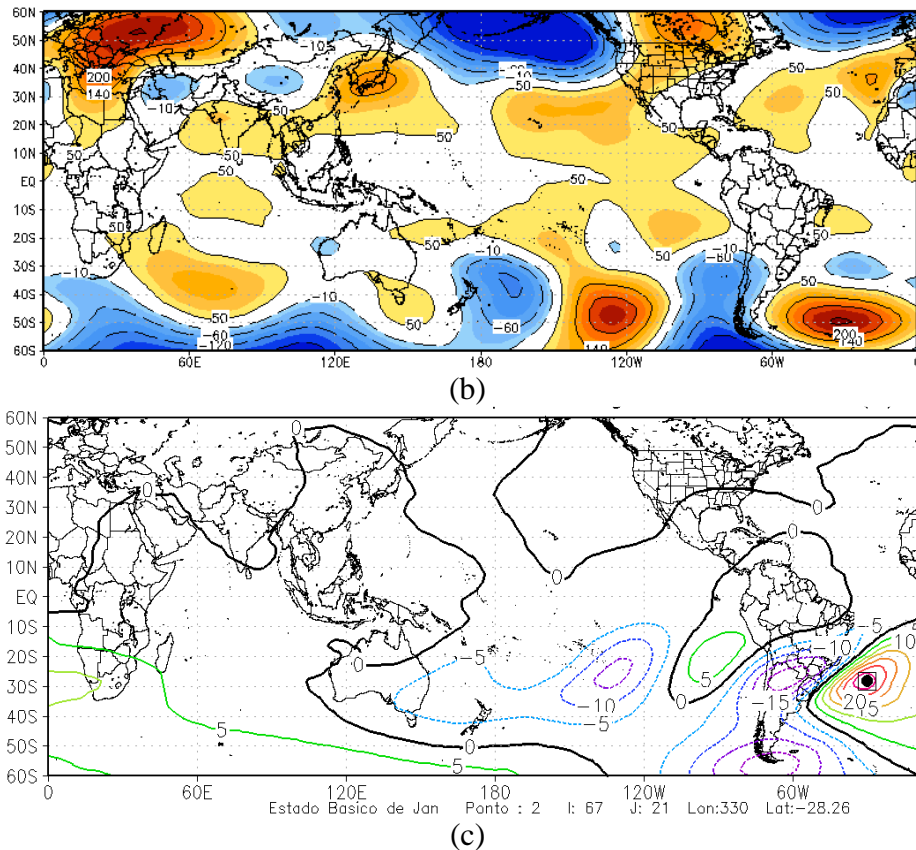


Figura 4.34 – Conclusão.

Para uma investigação mais detalhada, o uso do resultado do campo de FI deve ser associado à análise do campo forçante, podendo-se compor um campo de resposta através da integração da forçante com a FI referente ao estado básico climatológico de novembro. Para representação do campo forçante, utiliza-se uma fonte de massa derivada da AROLE não-filtrada e observada para a média dos últimos 10 dias antes do dia inicial do evento C19 (Fig. 4.35.(b)). No campo médio de AROLE não-filtrada destaca-se o dipólo de convecção bem marcante entre a Indonésia e o oeste do Pacífico tropical (Fig. 4.35.(a)), um comportamento convectivo oposto ao apresentado pela Fig. 4.15.(a). Esta observação evidencia que no período utilizado como forçante da variabilidade intrassazonal que modulou o evento S9, a convecção anômala na ZCPS estava conectada com a intensa atividade convectiva sobre a Indonésia (Fig. 4.15.(a)), um aspecto não verificado na Fig. 4.35.(a). Sugere-se que estas variabilidades no posicionamento dos sinais convectivos na região tropical a oeste da linha de data podem estar exercendo influências no estabelecimento de cada tipo de evento aqui analisado, uma vez que a estrutura espacial do dipólo de convecção entre a Indonésia e o centro-oeste do Pacífico sul tropical exibiu diferentes fases ao longo de uma mesma estação do

ano, evidenciando a manifestação intrassazonal associada com o deslocamento da OMJ que modula o cenário convectivo sobre a AS (WEICKMANN et al., 1985; KOUSKY E KAYANO, 1992; CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006; entre outros). A fonte de massa positiva representa satisfatoriamente o posicionamento das anomalias de convecção ilustradas no campo médio de AROLE (Fig. 4.35.(a)). A média de AROLE para os últimos 40, 30 e 20 dias antes do inicial da ZCAS C19 são apresentadas, respectivamente, pelas Figuras 4.36 (a), (b) e (c), ressaltando as regiões preferenciais de manifestação das anomalias de convecção mais persistentes ao longo dos últimos 40 dias antes do início do evento C19. O posicionamento e a intensidade destas anomalias são aproximadamente similares ao apresentado na média dos últimos 10 dias, confirmando a representatividade deste período como forçante para obtenção da resposta rotacional.

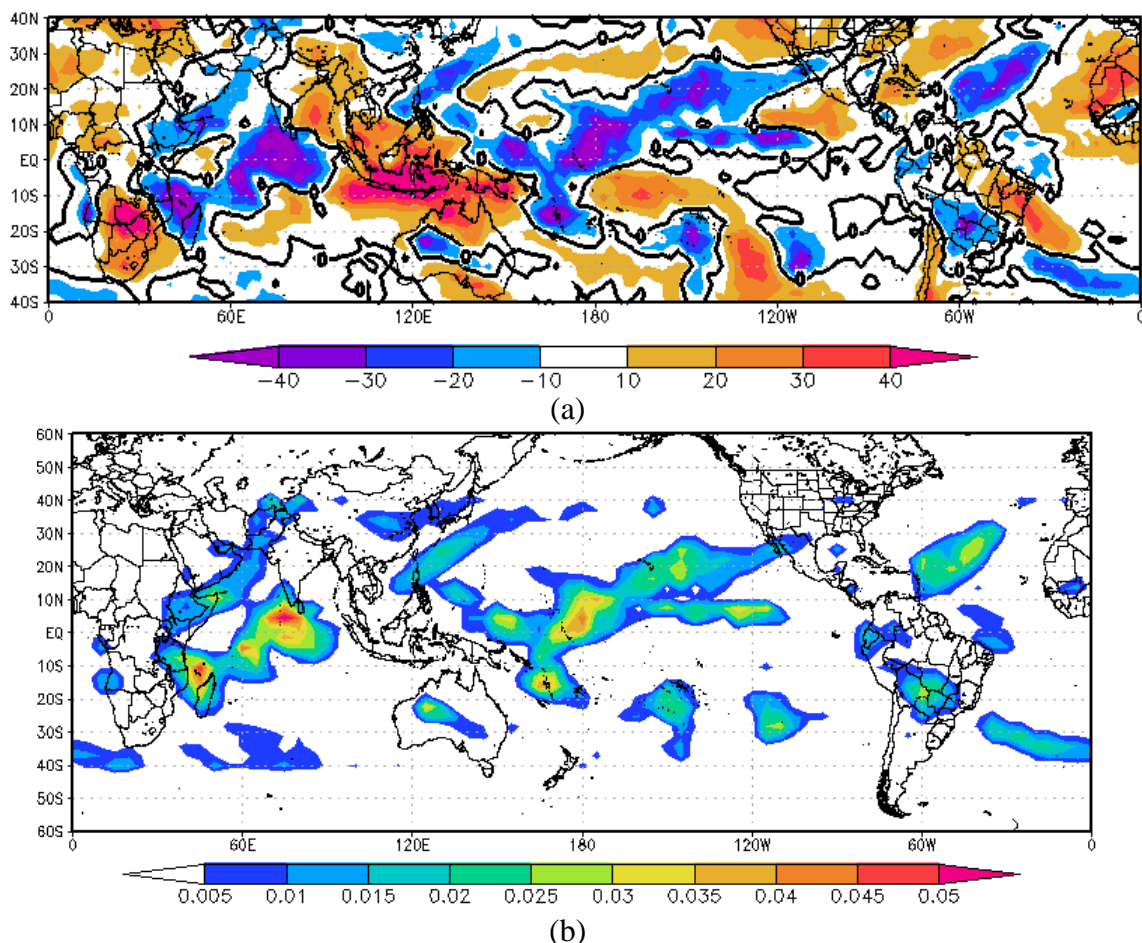


Figura 4.35 – (a) Média da AROLE não-filtrada dos últimos 10 dias antes do início do evento C19; e (b) Fonte de massa positiva derivada da média de AROLE não-filtrada para o período descrito em (a).

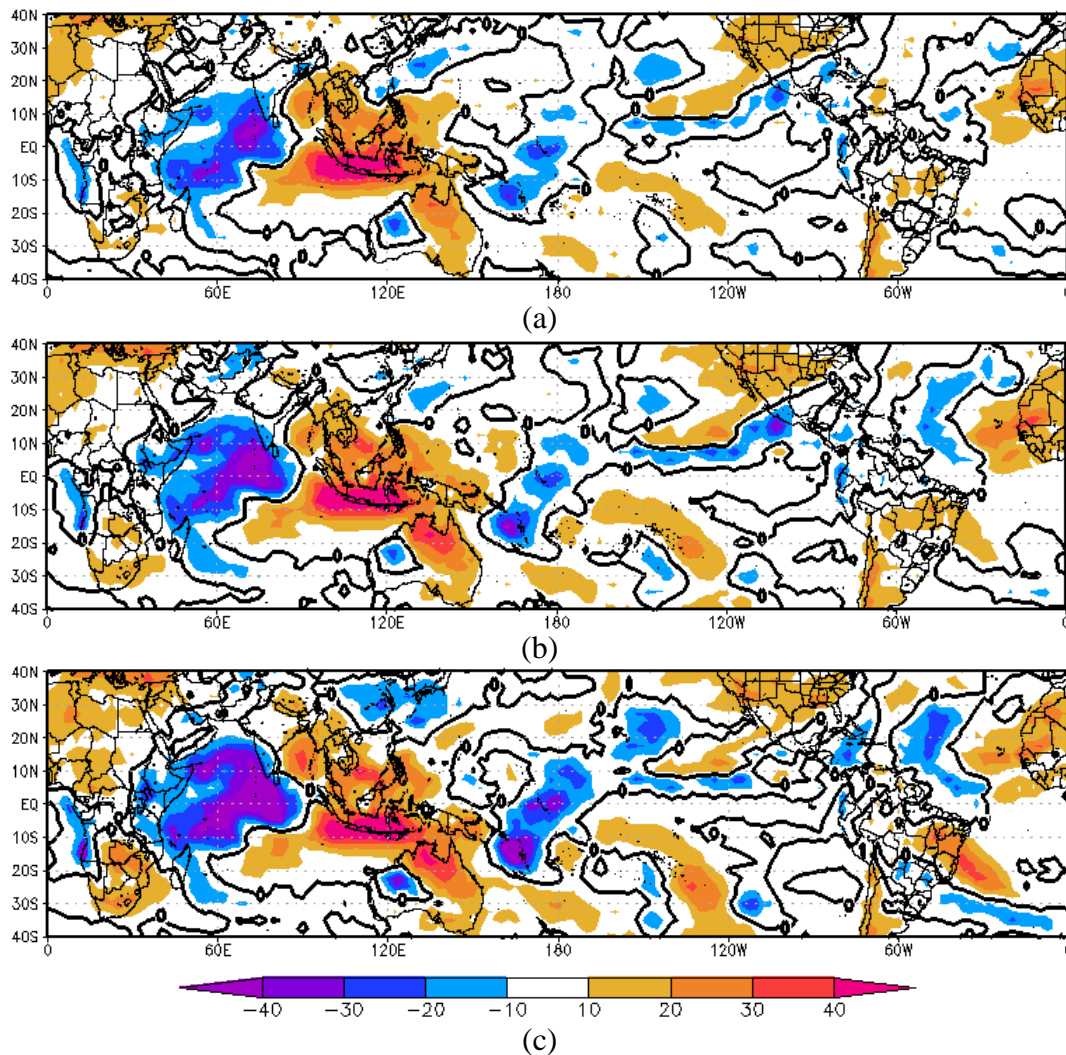


Figura 4.36 – Média da AROLE não-filtrada para os últimos (a) 40 dias; (b) 30 dias; e (c) 20 dias antes do dia inicial do evento C19.

Para o estudo do efeito da forçante na média dos últimos 10 dias antes do início da ZCAS C19, foram realizadas várias integrações para obtenção da resposta rotacional que represente o padrão médio observado da circulação em 200 hPa ao longo do período de duração do evento (Fig. 4.34.(b)). A Fig. 4.37.(a) ilustra a integração considerando a fonte de massa total no globo, enquanto as Figs. 4.37 de (b) a (j) destacam integrações com a forçante reduzida a algumas partes do domínio e anuladas no restante do domínio. Nota-se que a integração que melhor se aproxima ao padrão de circulação observado sobre a AS e adjacências é aquela em que a região forçante selecionada inclui a fonte de calor sobre Pacífico sul central (Fig. 4.37.(i)). Na Fig. 4.37.(i) verifica-se a presença de anomalias negativas de Z nas proximidades da área central da ZCAS conectadas a um trem de ondas que se estende desde a ZCPS, passa pelo cone sul da AS e alcança a região da ZCAS. Uma das observações neste resultado de integração que

difere significativamente do padrão observado é a presença de anomalias negativas de Z entre 180° e 120°W no Pacífico sul, contrapondo com as anomalias positivas observadas (Fig. 4.34.(b)). Esta distinção no padrão de circulação está relacionada possivelmente com a utilização de um campo de FI calculado com um estado básico climatológico, que pode revelar algumas características que diferem do escoamento observado no mesmo período da forçante, por exemplo. Como sugerido na análise do evento S9, uma investigação considerando um período mais curto para o estado básico poderia ser uma alternativa para verificar se o padrão de circulação é recuperado na íntegra.

O fato do resultado do modelo forçado com todo o campo derivado da AROLE não-filtrada mostrar diferenças com o padrão médio observado da circulação em 200 hPa, deve indicar que algumas áreas incluídas na forçante são também partes da resposta ao sinal mais intenso observado, no caso sobre o Índico e Pacífico equatorial. Concluí-se que a resposta rotacional global observada para a média do período de duração do evento C19 se deve a uma combinação e interação entre as forçantes distribuídas espacialmente em distintas regiões do domínio, como descrito na análise do evento S9.

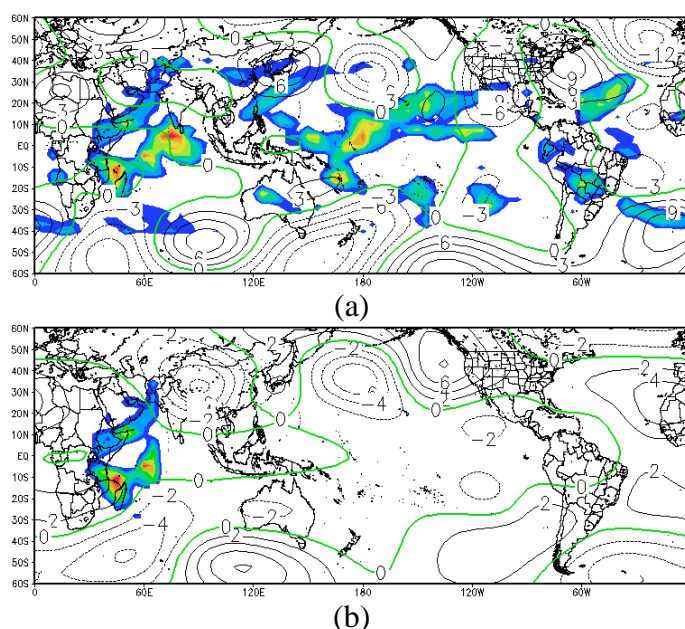
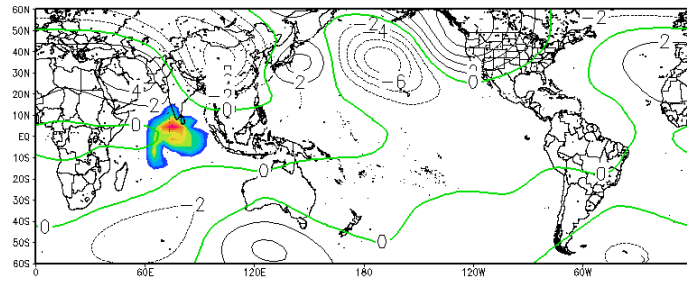
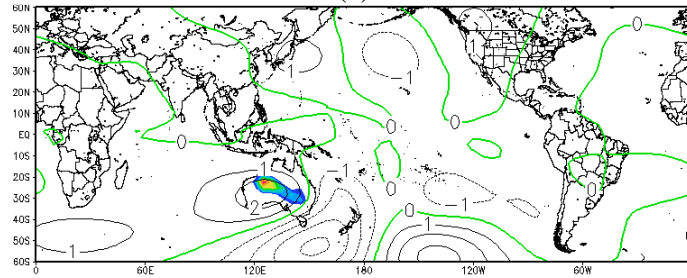


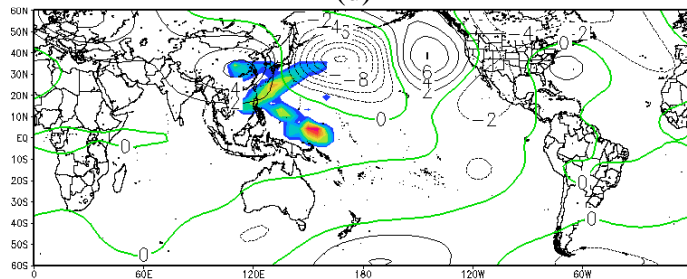
Figura 4.37 - Altura Geopotencial em 200 hPa (contornos em m_gp) dados pela integração dos resultados de FI com a fonte de massa derivada da AROLE média dos 10 últimos dias antes do início do evento C19, selecionada por áreas da forçante (sombreado). A escala de cores é similar a da Fig. 4.35.(b). (Continua).



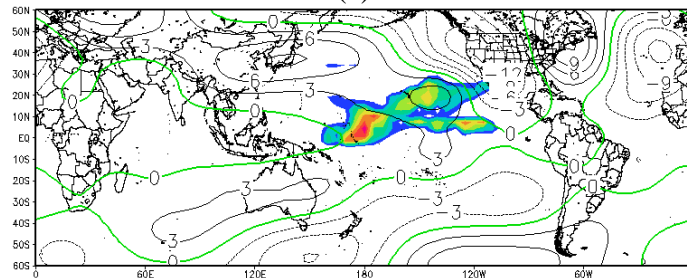
(c)



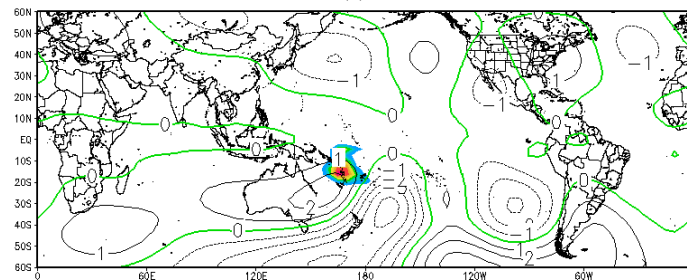
(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 4.37 – (Continua).

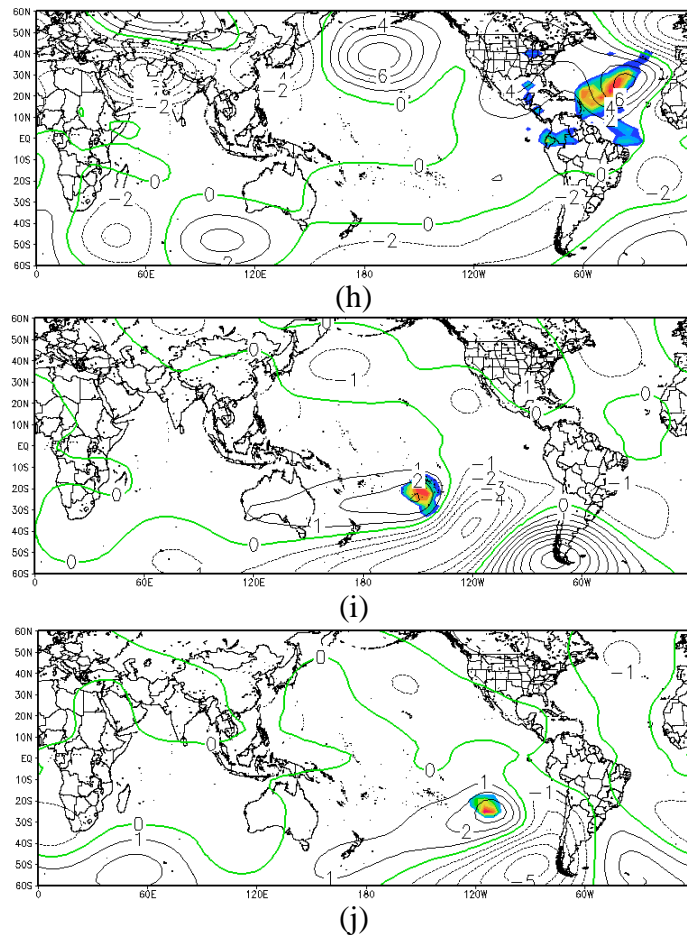


Figura 4.37 – Conclusão.

Para verificar a conexão entre a propagação da OMJ, o escoamento extratropical resultante e a modulação intrassazonal da ZCAS C19, a Figura 4.38 apresenta uma evolução temporal das anomalias de ROLE (sombreado), do vetor vento e das linhas de corrente em 200 hPa filtradas em 30-60 dias para a sequência temporal de 20, 15, 10 e 0 dias antes do início do evento. Destaca-se inicialmente a presença de anomalias de convecção no oeste do Pacífico equatorial cerca de 15 dias antes do início do evento C19 (Fig. 4.38.(b)). Com a evolução temporal da OMJ, observa-se que após 15 dias o sinal intrassazonal alcança a área central da ZCAS, iniciando o processo de modulação do evento (Fig. 4.38.(d)). Este resultado concorda com a análise de coerência e ângulo de fase entre o ponto $0^{\circ}/170^{\circ}\text{E}$ e o ponto base na área central da ZCAS (Fig. 4.26.(b)), mostrando a influência da teleconexão trópico-trópico associada com a propagação da OMJ (KOUSKY E KAYANO, 1992). O deslocamento do sinal convectivo alcança a região central do Pacífico sul entre as defasagens de -15 dias e -10 dias, indicando um processo de transferência de energia para a área central da ZCAS através da propagação de um trem de ondas de Rossby que a conecta a ZCPS com a ZCAS (Figs. 4.38 (b) e

(c)). Sinais de AROLE positiva aparecem concentrados no leste do Índico no dia inicial do evento (Fig. 4.38.(d)), como também observado na análise do evento S9 (Fig. 4.18.(d)). Cunningham e Cavalcanti (2006) verificaram que eventos de ZCAS que se manifestam ao sul da climatologia e na própria posição climatológica estão associados com a fase da OMJ que indica sinais de inibição (convecção) no leste do Índico (no centro-oeste do Pacífico sul) nos primeiros dias de ocorrência destes eventos. O trem de ondas no hemisfério sul resultante da convecção anômala sobre a ZCPS demonstra no dia inicial do evento (Fig. 4.38.(d)) um comportamento espacial próximo do padrão de circulação obtido pela integração do campo de FI com a fonte de convecção na região central do Pacífico sul (Fig. 4.37.(i)), confirmando a importância da fonte de calor na ZCPS para a possível transferência de energia intrassazonal responsável pela modulação do evento C19.

A Figura 4.39 sintetiza o papel das oscilações intrassazonais de frequência intermediária e dos transientes de alta frequência no processo de formação e manutenção do evento C19. As Figs. 4.39.(a) e (b) mostram o campo de AROLE filtrada em 2-10 dias para 1 dia antes do início e no dia inicial do evento, respectivamente. A presença dos transientes na área central da ZCAS, considerando a evolução temporal da AROLE a partir da defasagem de -1 dia para o dia inicial do evento, indica anomalias de convecção organizando-se como uma faixa com estrutura noroeste-sudeste que está associada com o avanço de um sistema frontal sobre a AS e Atlântico sul adjacente (OLIVEIRA, 1986). Com o avanço deste sistema frontal para área central da ZCAS, o evento C19 inicia seu processo de formação, pois o transiente é modulado pelas flutuações intrassazonais de escala intermediária que estão ancoradas sobre a área de manifestação do evento C19 (Fig. 4.39.(c)). Estas observações concordam com a análise do espectro de potência da ondeleta da série temporal de AROLE não-filtrada extraída do ponto base na área central da ZCAS (Fig. 4.23.(b)). De acordo com a Fig. 4.23.(b), o evento C19 teve início devido à incursão de um transiente de alta frequência na área central da ZCAS, sendo modulado preferencialmente pelas oscilações intrassazonais compreendidas na escala de tempo de 25-60 dias.

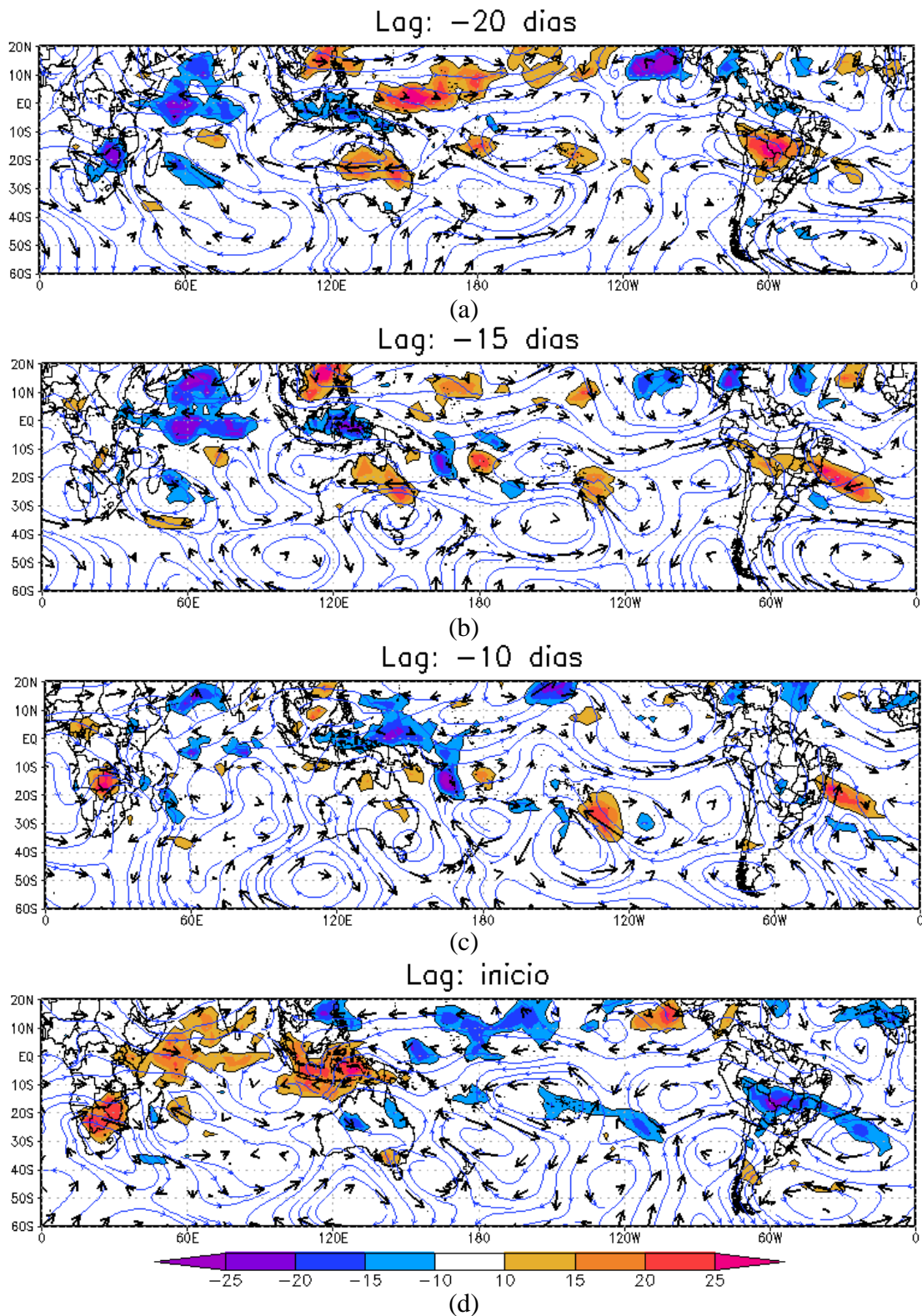


Figura 4.38 – Anomalias de ROLE (sombreado), vetor vento e linhas de corrente em 200 hPa filtradas em 30-60 dias para: (a) 20 dias; (b) 15 dias; (c) 10 dias; e (d) 0 dia antes do início do evento C19.

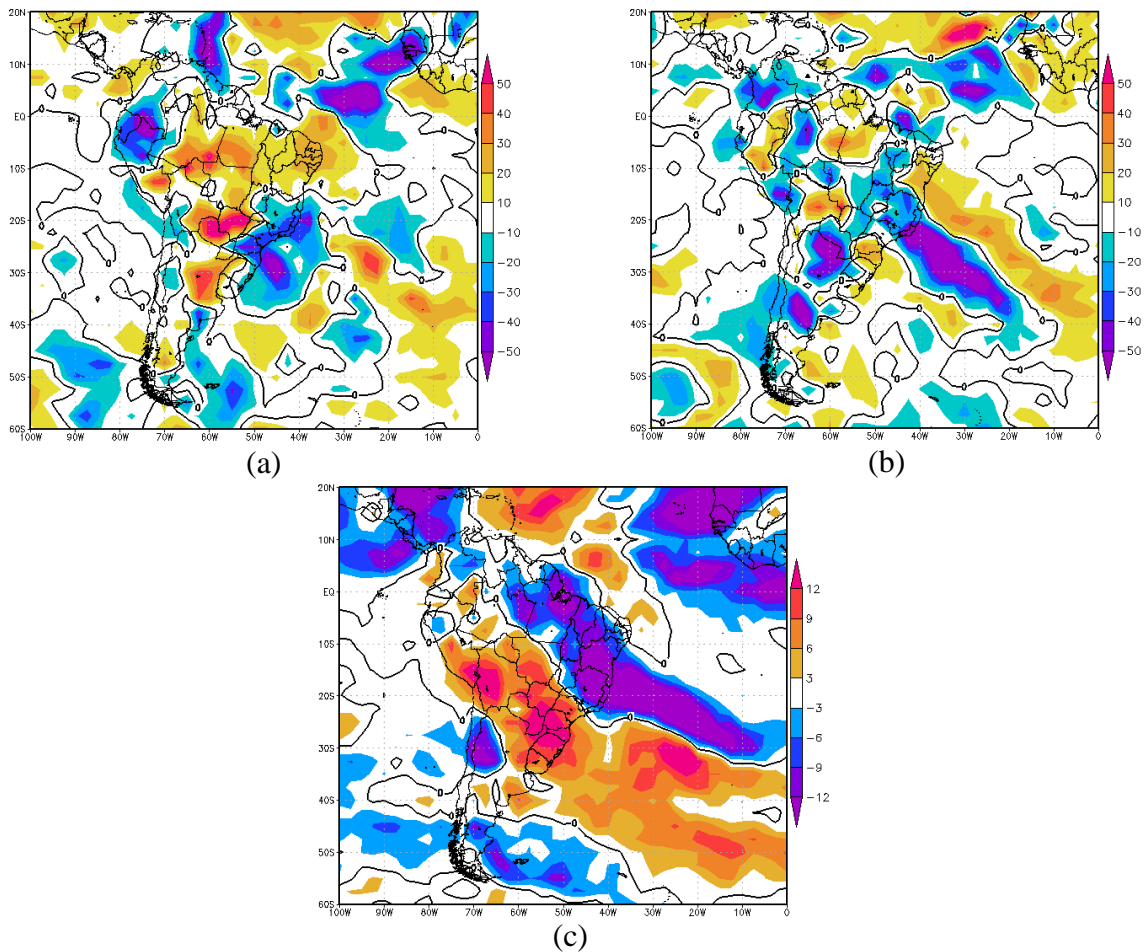


Figura 4.39 – AROLE filtrada em 2-10 dias para (a) 1 dia antes do início do evento C19; (b) para o dia inicial do evento; e (c) Média da AROLE filtrada em 10-30 dias para o período de duração do evento C19.

A influência das oscilações intrassazonais em 25-60 dias sobre a área central da ZCAS esteve relacionada inicialmente com a propagação da OMJ sobre o oeste do Pacífico equatorial, onde promoveu um aumento na atividade convectiva anômala na região central do Pacífico sul, que, conseqüentemente, induziu à formação de um trem de ondas de Rossby responsável pela propagação de energia em direção a ZCAS C19 com uma defasagem temporal de 5 a 10 dias. O transiente de alta frequência ao se deslocar para a área central da ZCAS encontrou um ambiente favorável à formação do evento C19, uma vez que as flutuações intrassazonais em 25-60 dias já estavam contribuindo com um alto conteúdo de energia.

4.4 Padrão Norte

A Tabela 4.4 apresenta informações sobre o período de ocorrência e a duração dos 22 eventos de ZCAS que apresentaram em média as AROLE negativas concentradas na área norte. A duração média destes eventos é de 6 a 7 dias e os meses de maior frequência de ocorrência são novembro e janeiro, totalizando em cada um a ocorrência de 6 episódios. O evento de mais longa duração persistiu na área norte por 12 dias, entretanto, atuou em grande parte do período durante outubro, que não foi registrado como o mês de maior frequência de ocorrência de episódios na área norte. Sendo assim, para análise do estudo de caso selecionou-se o episódio referido como N16, pois foi o evento com maior persistência de duração durante os meses de máxima frequência de ocorrência.

Tabela 4.4 – Episódios ocorridos na área norte. (Continua).

Evento	Período de ocorrência	Duração (dias)
N1	05/Jan/1991 – 08/Jan/1991	4
N2	12/Jan/1991 – 19/Jan/1991	8
N3	01/Dez/1991 – 05/Dez/1991	5
N4	05/Jan/1992 – 10/Jan/1992	6
N5	15/Jan/1992 – 20/Jan/1992	6
N6	05/Dez/1995 – 10/Dez/1995	6
N7	01/Mar/1997 – 05/Mar/1997	5
N8	17/Mar/1997 – 23/Mar/1997	7
N9	20/Nov/1998 – 25/Nov/1998	6
N10	23/Out/1999 – 03/Nov/1999	12
N11	17/Nov/1999 – 25/Nov/1999	9
N12	16/Dez/1999 – 20/Dez/1999	5
N13	21/Jan/2000 – 24/Jan/2000	4
N14	17/Dez/2000 – 22/Dez/2000	6
N15	04/Fev/2002 – 07/Fev/2002	4
N16	10/Jan/2004 – 20/Jan/2004	11
N17	20/Nov/2004 – 25/Nov/2004	6
N18	13/Fev/2005 – 22/Fev/2005	10

Tabela 4.4 - Conclusão

Evento	Período de ocorrência	Duração (dias)
N19	10/Nov/2005 15/Nov/2005	6
N20	10/Nov/2006 –14/Nov/2006	5
N21	12/Fev/2007 – 17/Fev/2007	6
N22	27/Nov/2007 –02/Dez/2007	6

4.4.1 Comportamento médio

4.4.1.1 Distribuição horizontal da AROLE

A composição da média dos 22 eventos ao longo de seus respectivos períodos de ocorrência para AROLE não-filtrada é indicada pela Figura 4.40.(a). A concentração de AROLE negativas na área norte da ZCAS apresenta uma distribuição espacial semelhante à categoria intensa da ZCAS analisada por Carvalho et al. (2004). Naquele estudo os autores associaram esta categoria da ZCAS com a propagação de anomalias tropicais no oceano Pacífico, especialmente as relacionadas ao deslocamento da OMJ. A estrutura espacial da atividade convectiva sobre a AS e adjacências se assemelha com a EOF1 obtida por Kousky e Cavalcanti (1988). Os autores sugeriram que este comportamento anômalo está relacionado com a maior parte da variância atmosférica contida nas escalas de tempo interanual e intrassazonal, onde se destacam as influências do ENOS e da OMJ na modulação da variabilidade de baixa frequência sobre a AS (KOUSKY E KAYANO, 1994). As Figs. 4.40.(b) e 4.40.(c) apresentam uma composição da média dos 22 eventos ao longo de seus respectivos períodos de ocorrência para a AROLE filtrada nas bandas temporais de 10-90 dias e 2-10 dias, respectivamente. Na escala de tempo intrassazonal o padrão espacial é bem caracterizado, indicando a importância destas oscilações no estabelecimento de episódios de ZCAS na área norte. O segundo modo de variabilidade das AROLE filtradas em 30-90 dias, obtido por Cunningham e Cavalcanti (2006), se assemelha a este comportamento médio intrassazonal associado aos episódios de ZCAS na área norte. Este resultado é ilustrado pela Fig. 4.40.(d), podendo-se verificar a conexão das anomalias de mesmo sinal entre o nordeste do Brasil e noroeste da África tropical. Segundo Cunningham e Cavalcanti (2006) este modo de variabilidade está associado

preferencialmente com a propagação tropical para leste da OMJ, que influencia no comportamento da convecção tropical sobre a AS, como sugerido por Weickmann et al. (1985), Kousky e Kayano (1992; 1994) e Cunningham e Cavalcanti (2006). Na análise de alta frequência observa-se uma estrutura espacial semelhante à manifestação de sistemas frontais sobre AS, onde promovem a alternância do sinal anômalo de convecção em associação com a trajetória típica de sudoeste-nordeste. Este comportamento em fase dos transientes de alta frequência e da variabilidade intrassazonal atmosférica permite o desenvolvimento e a manutenção de episódios de ZCAS mais persistentes na área norte (CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006).

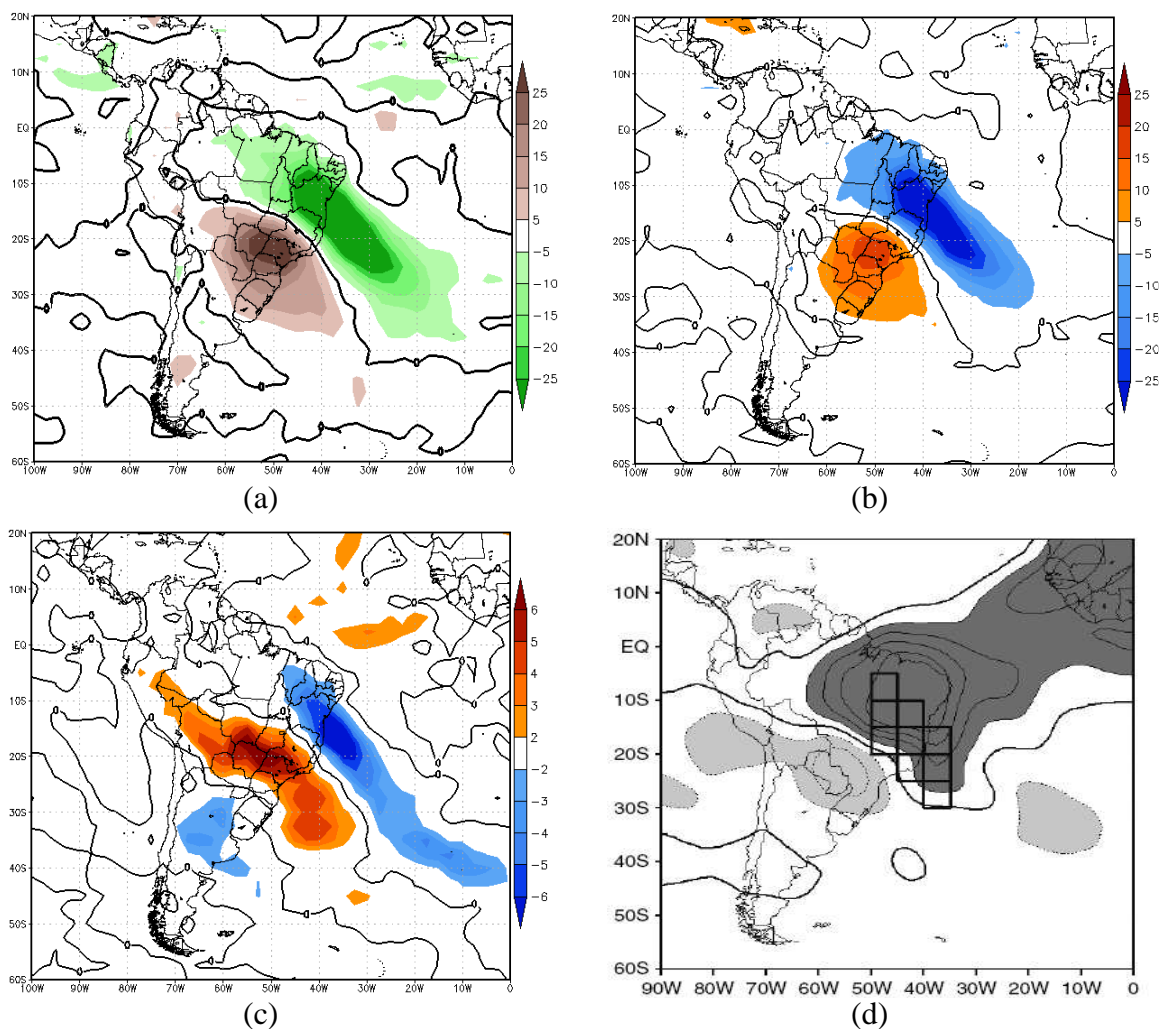


Figura 4.40 - Composição da média dos 22 eventos ao longo de seus respectivos períodos de ocorrência para a AROLE (a) não-filtrada; (b) filtrada em 10-90 dias; e (c) filtrada em 2-10 dias; (d) EOF2 da AROLE filtrada em 30-90 dias (Fonte: Cunningham e Cavalcanti (2006)). Os contornos sólidos espessos indicam a linha do zero em todas as figuras. Em (d) o intervalo das anomalias é de 2 W/m^2 e os quadrados em preto representam posições preferenciais de manifestação da ZCAS.

4.4.1.2 Oscilação de 30-60 dias

A Figura 4.41 apresenta uma sequência de composições conjuntas dos 22 eventos para as anomalias de ROLE (sombreado), de vetor vento e de linhas de corrente em 200 hPa filtradas em 30-60 dias para defasagens de -30 dias até o dia inicial de cada evento (lag 0) em intervalos de 5 dias. Apenas as AROLE mais positivas (negativas) do que $2 (-2) \text{ W/m}^2$ são mostradas em sombreado escuro (claro).

As defasagens de -30 dias (Fig. 4.41.(a)) e -25 dias (Fig. 4.41.(b)) antes do dia inicial de cada evento indicam uma ampla região com inibição no oeste do Pacífico sul tropical com prolongamento para a região da ZCPS. Simultaneamente, verificam-se sinais negativos de AROLE no leste do Índico e Austrália. Sobre a AS destaca-se os sinais de inibição que iniciam o desenvolvimento sobre parte da área central da ZCAS, nas proximidades do nordeste do Brasil e oceano adjacente, em associação com uma circulação anticiclônica possivelmente conectada com um trem de ondas proveniente do Pacífico sul.

Com -20 dias (Fig. 4.41.(c)) e -15 dias (Fig. 4.41.(d)) de defasagens verifica-se um fortalecimento das AROLE positivas na área norte da ZCAS, evidenciando uma conexão com o noroeste da África tropical, o que demonstra uma estrutura espacial semelhante ao comportamento médio intrassazonal do padrão norte (Fig. 4.40.(b)), mas com sinal inverso. Este comportamento médio aparece associado simultaneamente com inibição sobre a região central do Pacífico sul tropical, ligeiramente a leste da linha de data, e um aumento da convecção sobre o leste do Índico e Indonésia, evidenciando o deslocamento zonal típico da OMJ (WEICKMANN et al., 1985; KOUSKY E KAYANO, 1992). Na defasagem de -20 dias o padrão espacial das AROLE se assemelha em certos aspectos com a EOF1 da AROLE filtrada em 30-90 dias obtida por Castro (2009) (Fig. 2.1.(a)), destacando o comportamento convectivo similar (oposto) entre a ZCPS (o leste do Índico) e a ZCAS. Estas observações se assemelham com a análise da evolução temporal das AROLE filtradas em 10-90 dias descrita por Mo e Nogués-Paegle (2001). Naquele estudo, os autores associaram este tipo de propagação das anomalias de convecção intrassazonais com a manifestação do modo PSA2. Em relação ao padrão de circulação, é notável a presença de um par de circulações

ciclônicas no oeste do Pacífico, uma em cada hemisfério, em decorrência da inibição anômala na região da ZCPS. O escoamento extratropical resultante sugere um trem de ondas de Rossby no hemisfério norte conectando o oeste do Pacífico norte com o leste da América do norte e no hemisfério sul conectando o oeste do Pacífico sul com o leste da AS, principalmente na defasagem de -20 dias.

Com -10 dias (Fig. 4.41.(e)) de defasagem as anomalias positivas de ROLE concentram-se em grande parte do nordeste do Brasil, evidenciando um comportamento convectivo similar a região central do Pacífico sul tropical. Em contrapartida, anomalias de convecção se aproximam da ZCPS simultaneamente com o surgimento de convecção na região subtropical do Atlântico sul. Este padrão espacial das AROLE se assemelha com a EOF2 da AROLE filtrada em 30-90 dias obtida por Castro (2009) (Fig. 2.1.(b)), destacando o comportamento convectivo oposto (similar) entre o oeste do Pacífico tropical (o centro-leste do Índico) e o nordeste do Brasil. Na defasagem de -5 dias (Fig. 4.41.(f)) novos sinais de convecção surgem na área norte da ZCAS, possivelmente induzindo à formação de um episódio de ZCAS. O escoamento ondulatório em ambas as defasagens revela ligeiras variações em relação à defasagem de -15 dias (Fig. 4.41.(d)), mostrando o início do desenvolvimento de uma circulação ciclônica nas proximidades da área central da ZCAS, associada com a mudança do padrão de circulação na região subtropical do centro-oeste do Pacífico sul em relação aos últimos 20 dias (Figs. 4.41.(a) e (b)).

No dia inicial (Fig. 4.41.(g)) o padrão espacial das anomalias de ROLE sobre a AS demonstra um comportamento similar à EOF1 da AROLE filtrada em 30-90 dias obtida por Castro (2009) (Fig. 2.1.(a)), evidenciando a oscilação em fase entre a ZCPS e a ZCAS. O escoamento extratropical resultante mostra um comportamento inverso ao apresentado na defasagem de -20 dias (Fig. 4.41.(c)), destacando uma circulação anticiclônica em ambos os hemisférios no oeste do Pacífico subtropical, resultante da convecção anômala na ZCPS. No hemisfério sul, esta circulação anticiclônica está conectada a um trem de ondas que parece transferir energia para a área norte da ZCAS, contribuindo para o desenvolvimento de uma circulação ciclônica responsável pela modulação dos eventos. A partir destas análises, verifica-se que a transição de fase da OMJ a partir do segundo modo (Fig. 2.1.(b)) para o primeiro modo (Fig. 2.1.(a)) de

variabilidade ilustra estas características, sugerindo ser em média representativa da modulação intrassazonal da convecção na área norte da ZCAS através da ação dos trens de ondas resultantes da interação trópico-extratropical.

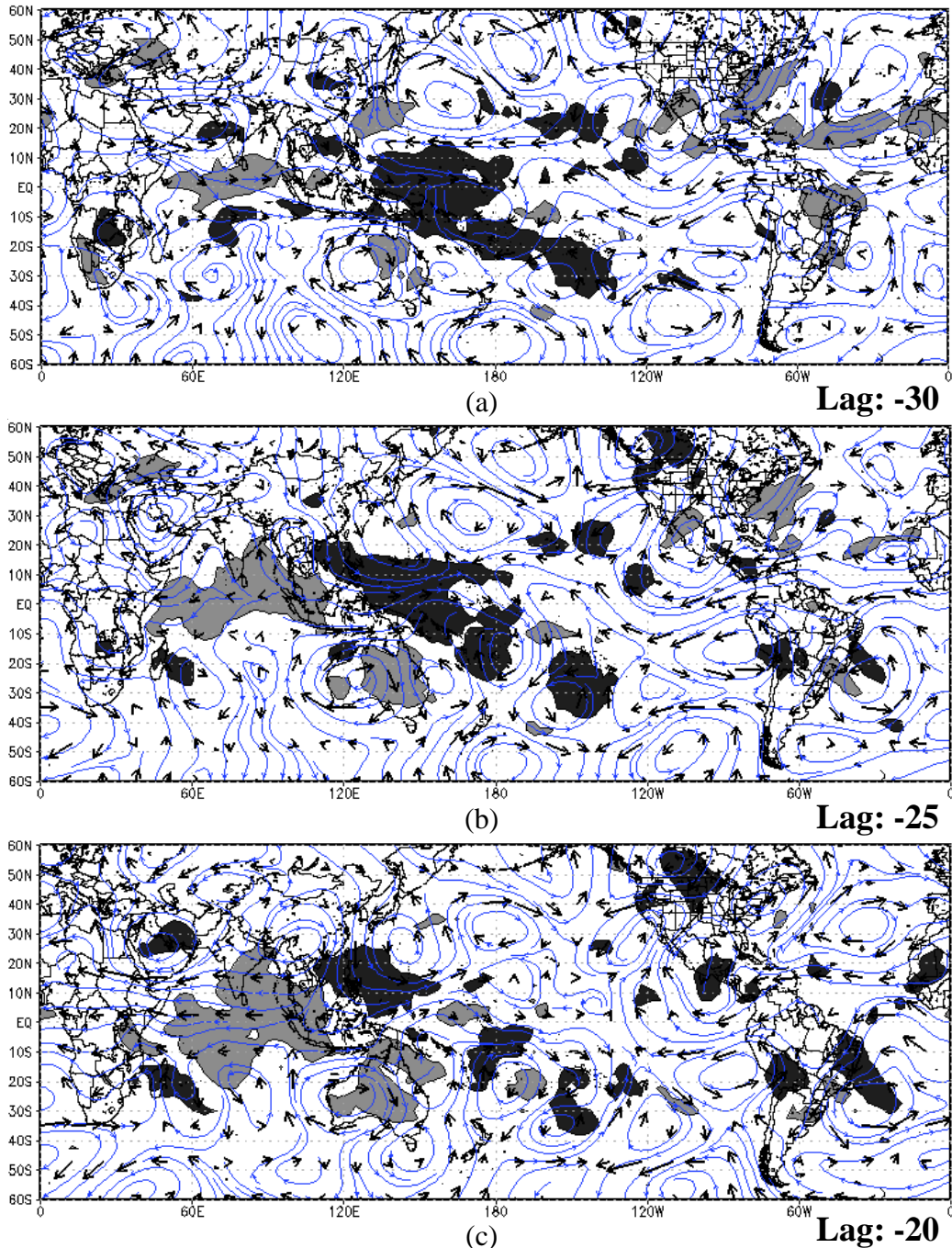


Figura 4.41 - Composições dos 22 eventos para as anomalias de ROLE (sombreado), linha de corrente e vetor vento em 200 hPa filtradas em 30-60 dias para defasagens de (a) -30 dias; (b) -25 dias; (c) -20 dias; (d) -15 dias; (e) -10 dias; (f) -5 dias; e (g) 0 dia antes do início de cada evento. Apenas AROLE mais positivas (negativas) do que 2 (-2) W/m^2 são mostradas em sombreado escuro (claro). (Continua).

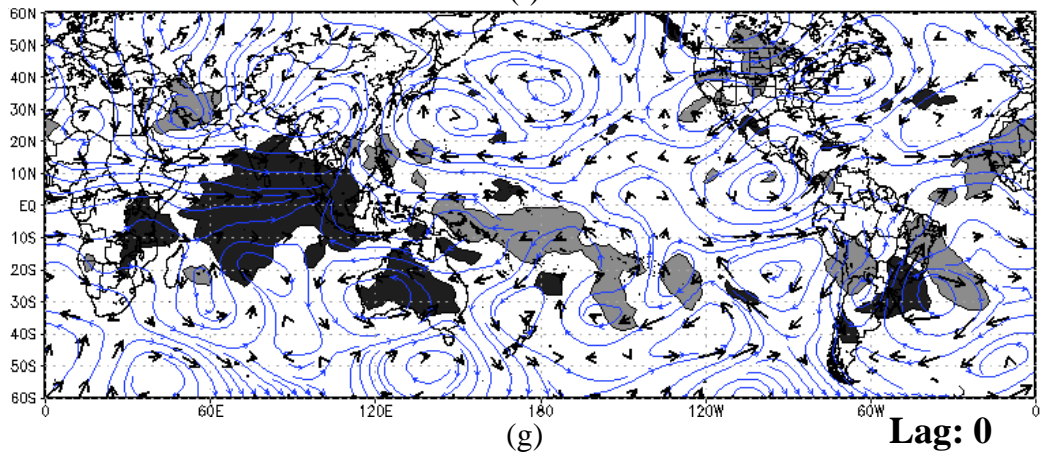
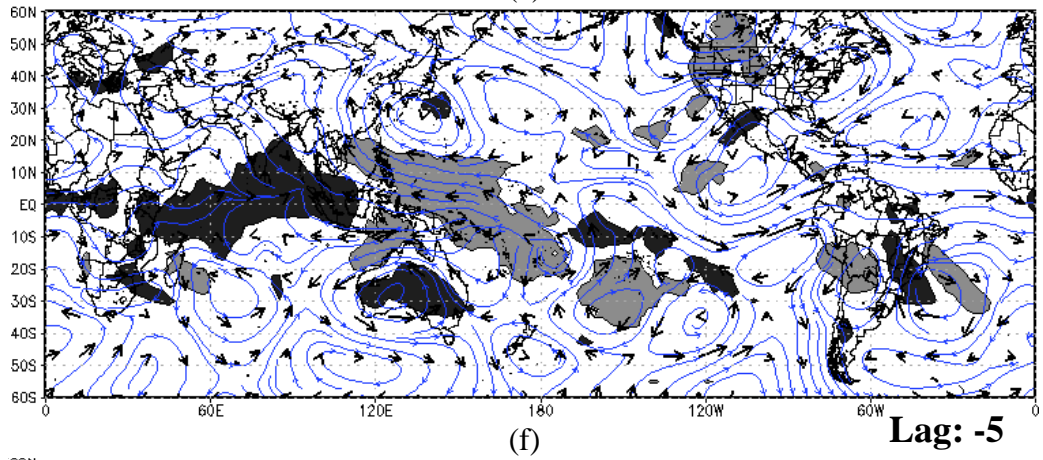
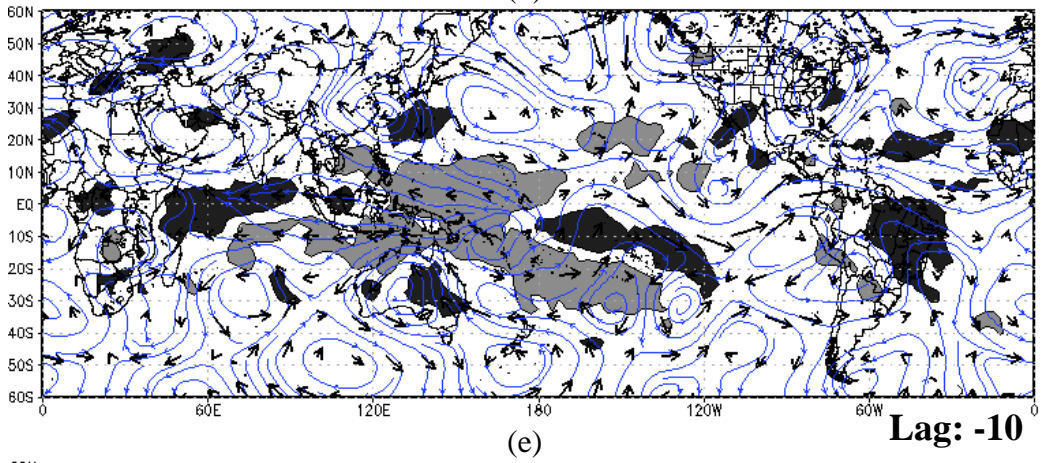
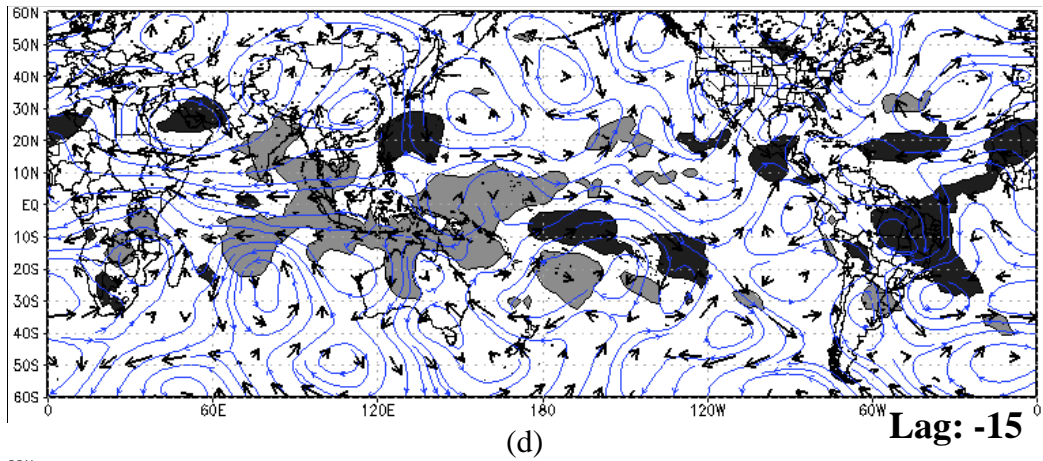


Figura 4.41 – Conclusão.

4.4.2 Estudo de caso: ZCAS N16

O episódio selecionado para o estudo de caso é o N16, que teve início em 10/jan/2004 e término em 20/jan/2004 (Tabela 4.4). A Fig. 4.42 apresenta uma imagem de temperatura de brilho média referente ao período do evento, além do campo médio de AROLE não-filtrada para o mesmo período. A presença da ZCAS na área norte é destacada em ambas as figuras, tanto nos valores mais negativos de AROLE (Fig. 4.42.(b)) quanto nos mais baixos valores de temperatura de brilho representados pelos tons de cinza mais claros (Fig. 4.42.(a)). O ponto escolhido para extrair a série temporal de AROLE não-filtrada na área norte da ZCAS é 12°S/37°W (Fig. 4.42.(b)). A transformada de ondeleta foi aplicada sobre a série temporal diária com início em 01/jan/2003 e término 31/mar/2004.

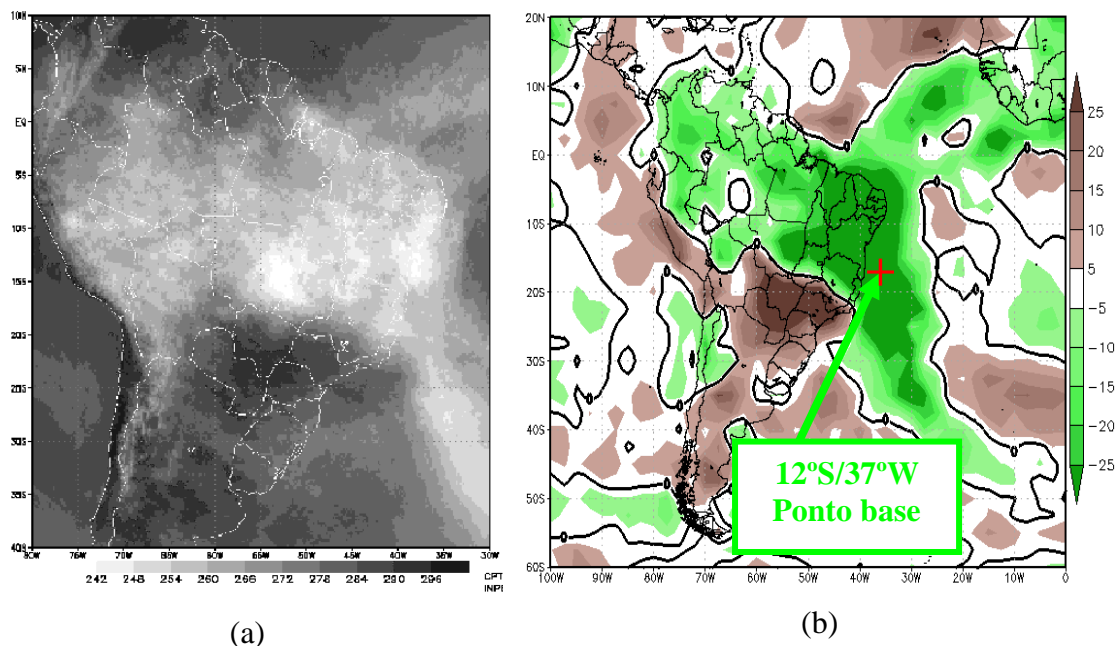


Figura 4.42 - (a) Temperatura de brilho média para o período de duração do evento N16 (Fonte: CPTEC/INPE); e (b) Média da AROLE não-filtrada no período do evento N16. O contorno sólido espesso em (b) é a linha do zero e o ponto de Lat. x Lon. para obtenção da série temporal é destacado com (+).

O espectro de potência da ondeleta, da série temporal de AROLE não-filtrada extraída de um ponto base na área norte da ZCAS (Fig. 4.43.(a)), mostra ao longo do período de duração do evento N16 um alto conteúdo de energia no espectro intrassazonal entre 16-60 dias (Fig. 4.43.(b)), destacando a importância das oscilações

intrassazonais na formação e manutenção da ZCAS (CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006; CASTRO, 2009). Diferentemente dos episódios analisados na área sul (Fig. 4.5.(b)) e na área central (Fig. 4.23.(b)), a variabilidade associada com os transientes de alta frequência em 2-10 dias mostra um conteúdo de energia muito baixo desde os últimos 15 dias antes do início do evento N16 (Fig. 4.43.(b)), sugerindo que o episódio N16 foi engatilhado e modulado inicialmente pelas flutuações intrassazonais de 10-30 dias e 30-60 dias. Todavia, existe um aumento no conteúdo de energia na escala de tempo de 5-8 dias a partir da metade do período de atuação do evento N16, possivelmente devido à incursão de um sistema frontal na área norte da ZCAS. A manifestação deste modo de variabilidade de mais alta frequência contribuiu para a manutenção e intensificação do evento juntamente com as oscilações de frequência mais baixa, refletindo nos picos mais amplificados observados na série temporal de AROLE não-filtrada (Fig. 4.43.(a)). O espectro global da série temporal de AROLE mostra os maiores valores de potência na escala de tempo 65-80 dias, em associação com o maior conteúdo de energia observado no espectro de ondeleta ao longo de todo o verão 2003/2004 (Fig. 4.43.(c)). A partição da variância nas bandas temporais de 2-10, 10-30 e 30-60 dias, ressalta principalmente a importância das oscilações intrassazonais no processo de modulação da ZCAS N16, através das amplitudes contendo os maiores picos de variância ao longo do período de ocorrência do evento (Fig. 4.43.(d)). Destaca-se também a influência dos transientes em 2-8 dias, especialmente na metade do período de duração do evento N16, como discutido na análise do espectro de potência para a banda de 5-8 dias (Fig. 4.43.(b)). Nota-se que quando as três curvas amplificam-se, simultaneamente existe a máxima amplitude negativa na série temporal de AROLE observada ao longo do período de duração do evento N16 (Fig. 4.43.(a)). Esta fase construtiva entre os modos de variabilidade pode promover um aumento na intensidade da convecção e na persistência dos eventos de ZCAS (CASTRO, 2009).

Através da análise do espectro de ondeleta sugere-se que o evento N16 tenha sido modulado inicialmente pelas oscilações intrassazonais compreendidas entre 16-60 dias e no decorrer do período de manifestação, um sistema frontal se deslocou em direção área norte de ZCAS, contribuindo para intensificar a atividade convectiva anômala. Esta suposição concorda com os estudos de Kousky e Cavalcanti (1988), Kousky e Kayano (1992) e Cunningham e Cavalcanti (2006), onde observaram que os

padrões de anomalias de convecção que se manifestam sobre o nordeste do Brasil ao longo do verão austral estão associados principalmente com a influência de oscilações de mais baixa frequência, como a OMJ e o ENOS.

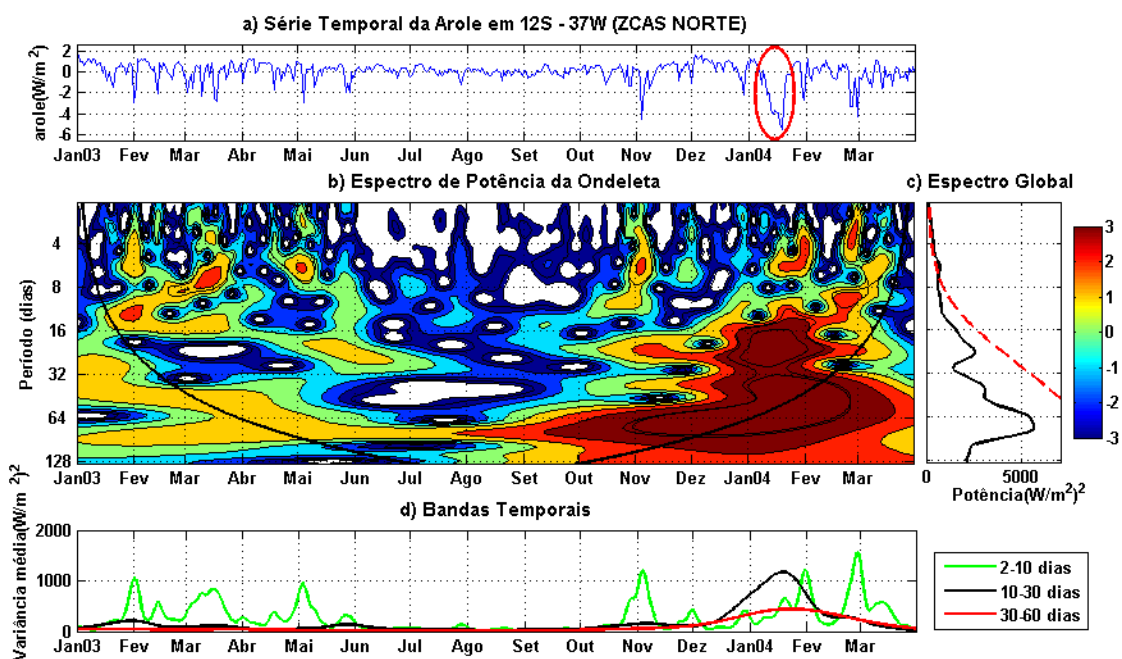
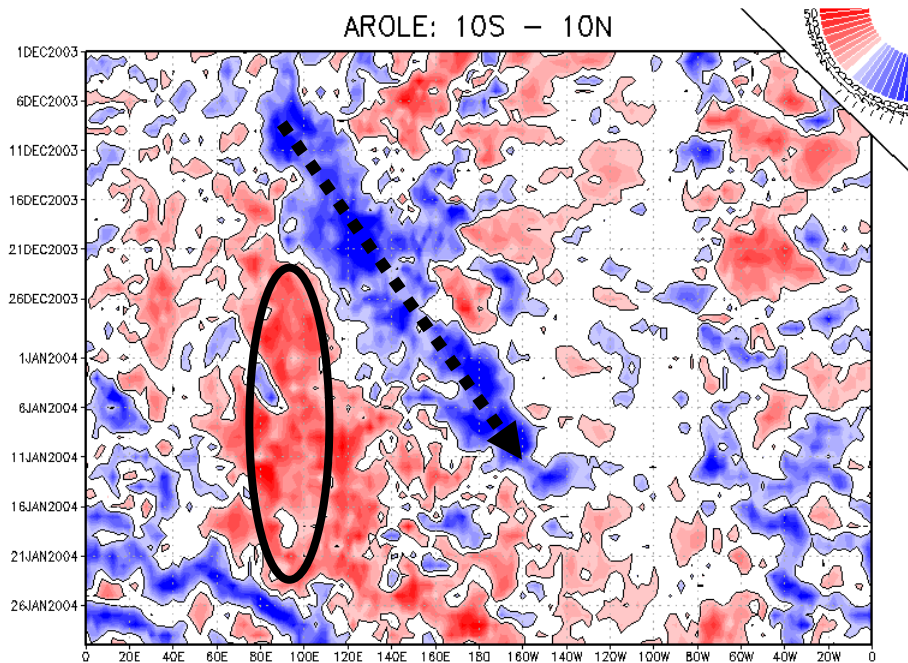


Figura 4.43 – Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto base em 12°S/37°W. O círculo vermelho em (a) ilustra o período de duração do evento N16.

Com o intuito de identificar as principais forçantes remotas da variabilidade intrassazonal responsáveis pela modulação do evento N16, a Fig. 4.44 ilustra a evolução temporal da média das AROLE não-filtrada nas faixas latitudinais entre 10°S – 10°N (equatorial), 25°S – 10°S (tropical) e 35°S – 25°S (subtropical) através de diagramas de tempo x longitude. A análise se estende desde o início de dezembro de 2003 até o fim de janeiro de 2004, destacando especialmente a variabilidade intrassazonal.

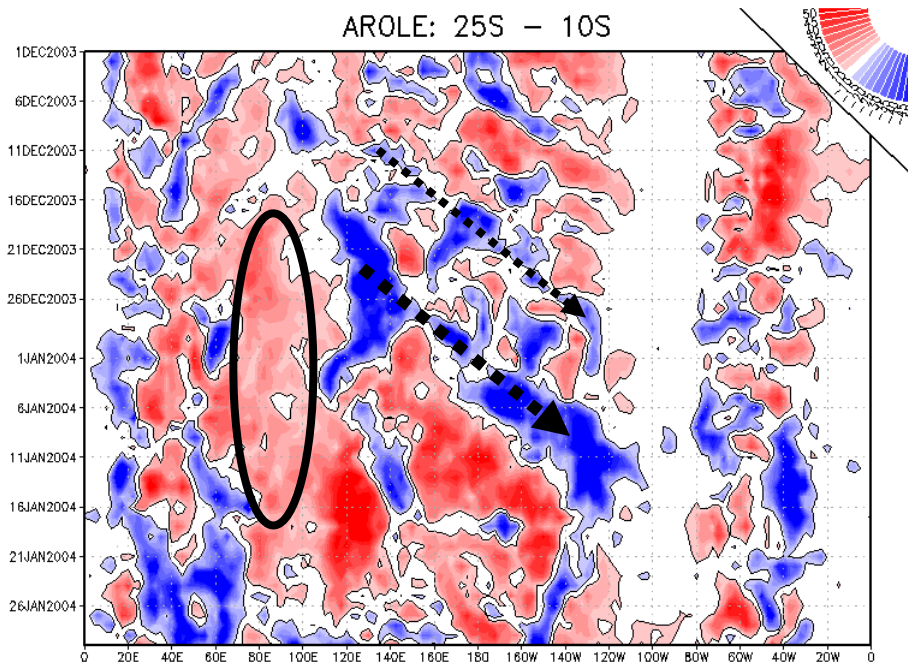
Na faixa equatorial pode-se verificar uma propagação para leste da convecção anômala a partir do leste do Índico em direção ao Pacífico central (80°E – 140°W) (Fig. 4.44.(a)). O deslocamento ocorre desde o início de dezembro/2003 e atinge o Pacífico central no início de janeiro/2004, totalizando aproximadamente 30 dias de duração do percurso. Este comportamento convectivo indica a manifestação típica da OMJ, que ao alcançar a região centro-oeste do Pacífico, simultaneamente novos sinais de inibição deslocam-se para o leste do Índico e Indonésia (WEICKMANN et al., 1985;

KNUTSON E WEICKMANN, 1987; KILADIS E WEICKMANN, 1992; KOUSKY E KAYANO, 1992; CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006; entre outros). Na região tropical a progressão para leste também aparece bem definida entre o extremo leste do Índico e o Pacífico central (100°E – 130°W), contrapondo com as AROLE positivas sobre o centro-oeste do Índico em todo o período da análise (Fig. 4.44.(b)). Finalmente na faixa subtropical os pulsos de convecção aparecem bem definidos no Pacífico sul, deslocando-se para o leste da linha de data e apresentando intensas anomalias de convecção desde os últimos 10 dias antecedentes ao início do evento N16 (Fig. 4.44(c)). As anomalias de convecção associadas com a ZCAS N16 ao longo do respectivo período de manifestação são ilustradas com um círculo preto.

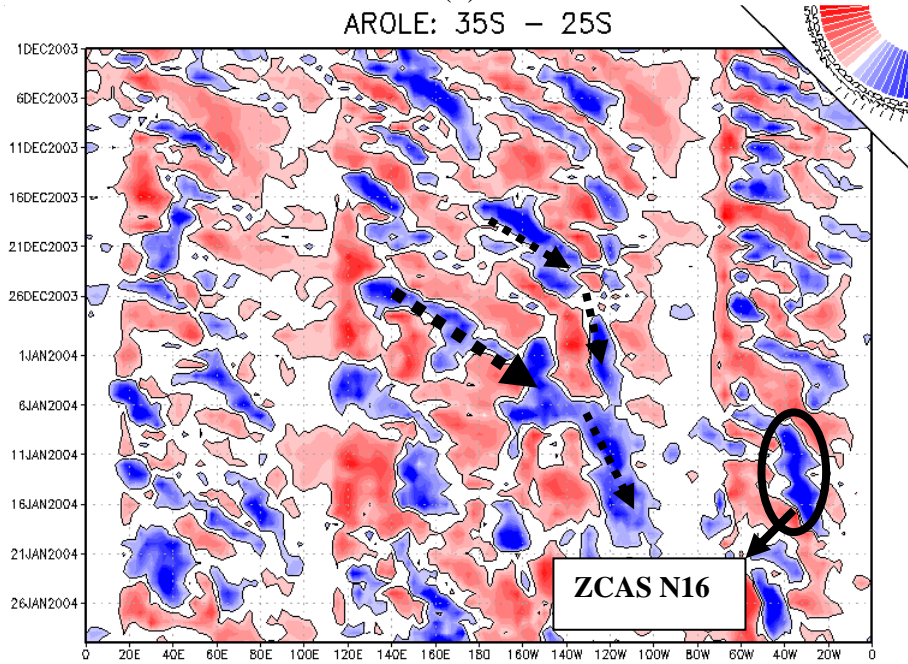


(a)

Figura 4.44 – Como na Fig. 4.6. (Continua).



(b)



(c)

Figura 4.44 – Conclusão.

A identificação das possíveis fontes de calor remotas responsáveis pelo desenvolvimento do sinal intrassazonal na área norte da ZCAS é feita inicialmente através da análise de ondeleta cruzada e da coerência entre alguns pontos remotos e o ponto base em que a série temporal da AROLE não-filtrada referente ao evento N16 foi extraída (Fig. 4.42.(b)). As latitudes escolhidas para extração dos pontos em cada faixa latitudinal são as mesmas descritas na análise do evento S9 (ver seção 4.2.2), entretanto, a seleção das longitudes é feita através dos diagramas de Hovmöller ilustrados pela Fig.

4.44. Sendo assim, as longitudes selecionadas são as seguintes: a) Equador: 10°E, 90°E, 120°E, 150°E, 180°, 150°W e 40°W; b) Trópico: 20°E, 40°E, 100°E, 130°E, 170°E, 170°W, 150°W, 130°W; c) Subtrópico: 40°E, 70°E, 130°E; 170°E, 150°W e 120°W.

Na região equatorial os pontos remotos a serem analisados são 0°/150°E (oeste do Pacífico) e 0°/150°W (Pacífico central), onde as ondeletas cruzadas, coerências, ângulos de fase (vetores) e os intervalos de confiança no nível de 95% (contornos sólidos espessos) com o ponto base na ZCAS N16 são mostrados nas Figuras 4.45 e 4.46, respectivamente. A escolha destes pontos teve como critério verificar se os sinais convectivos que se propagam desde o leste do Índico até o Pacífico central apresentam alguma influência sobre o sinal intrassazonal observado na área norte da ZCAS, destacando especialmente a região centro-oeste do Pacífico. Todas as análises de ondeletas cruzada e coerência serão feitas ao longo do período de duração do evento N16 (10/jan/2004 – 20/jan/2004).

A potência cruzada com o oeste do Pacífico equatorial (0°/150°E) destaca sinais comuns na escalas de tempo de 15-60 dias (Fig. 4.45.(a)). A coerência indica principalmente correlação em aproximadamente 40-45 dias ao longo de todo o período de duração do evento N16, com o sinal no Pacífico ligeiramente avançado em 135° na escala de tempo de 45 dias, mostrando que o sinal intrassazonal na ZCAS responde em 3/8 do período ou em 15 dias de defasagem (Fig. 4.45.(b)). Este comportamento intrassazonal em 45 dias está relacionado com um deslocamento típico da OMJ, que alcança a área norte da ZCAS cerca de 10-15 dias após ter modulado a atividade convectiva no oeste do Pacífico e Indonésia (KOUSKY E KAYANO, 1992; CASTRO, 2009), como também verificado no estudo de caso do evento ZCAS C19 (ver seção 4.3.2).

Ao acompanharmos a progressão para leste das anomalias de convecção em direção ao Pacífico central (0°/150°W), o sinal cruzado destaca principalmente altos valores de potência em 16-22 dias e 32-60 dias, demonstrando a influência marcante das flutuações intrassazonais nas duas regiões de análise (Fig. 4.46.(a)). A coerência indica correlação entre as duas séries temporais em quase todo o espectro intrassazonal, mostrando que o sinal no Pacífico central ocorre antes do que o sinal na área norte em

uma defasagem de 2 a 3 dias na escala de tempo de 16-22 dias e de 4 a 8 dias na escala de tempo de 32-60 dias (Fig. 4.46.(b)). A defasagem temporal em 32-60 dias entre o Pacífico central e a área norte da ZCAS é condizente com a análise de correlação defasada das AROLE em 30-90 dias descrita por Cunningham e Cavalcanti (2006). Os autores verificaram que quando a convecção (inibição) anômala alcança o nordeste do Brasil, a convecção diminui (aumenta) simultaneamente sobre a Indonésia. Os autores associaram esta correlação com a manifestação do modo PSA2 (MO E NOGUÉS-PAEGLE, 2001).

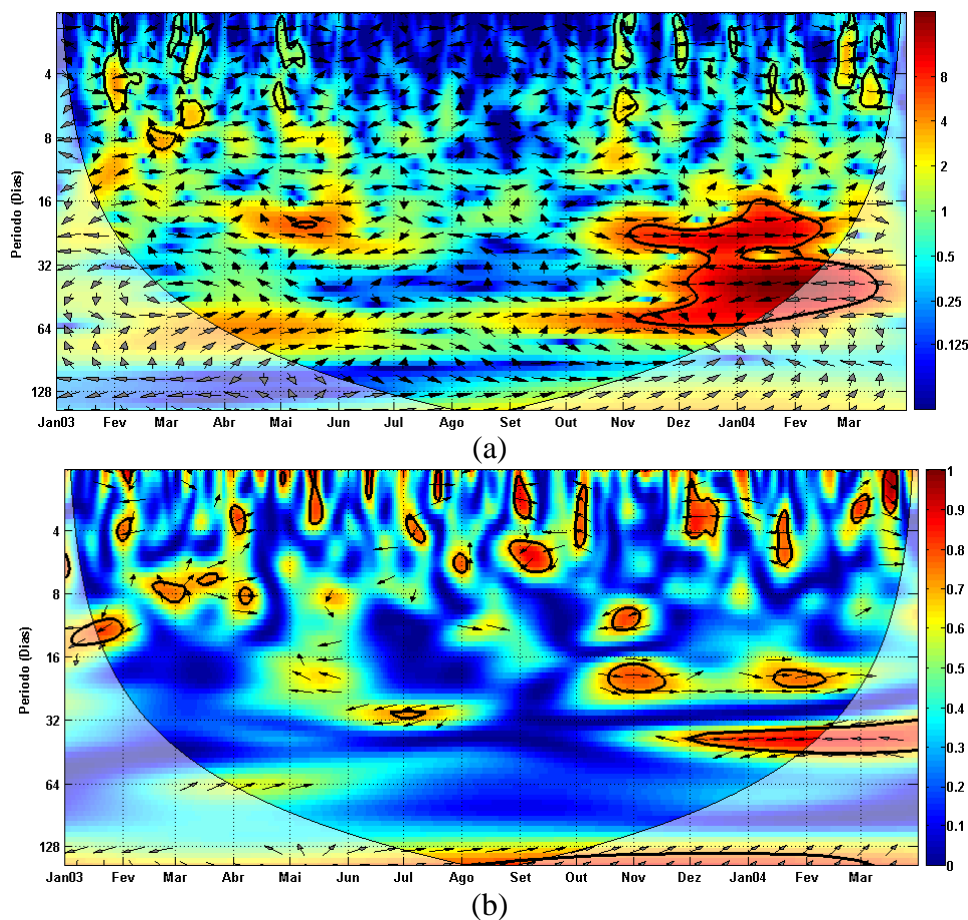


Figura 4.45 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no oeste do Pacífico equatorial e a AROLE não-filtrada em um ponto na área norte da ZCAS.

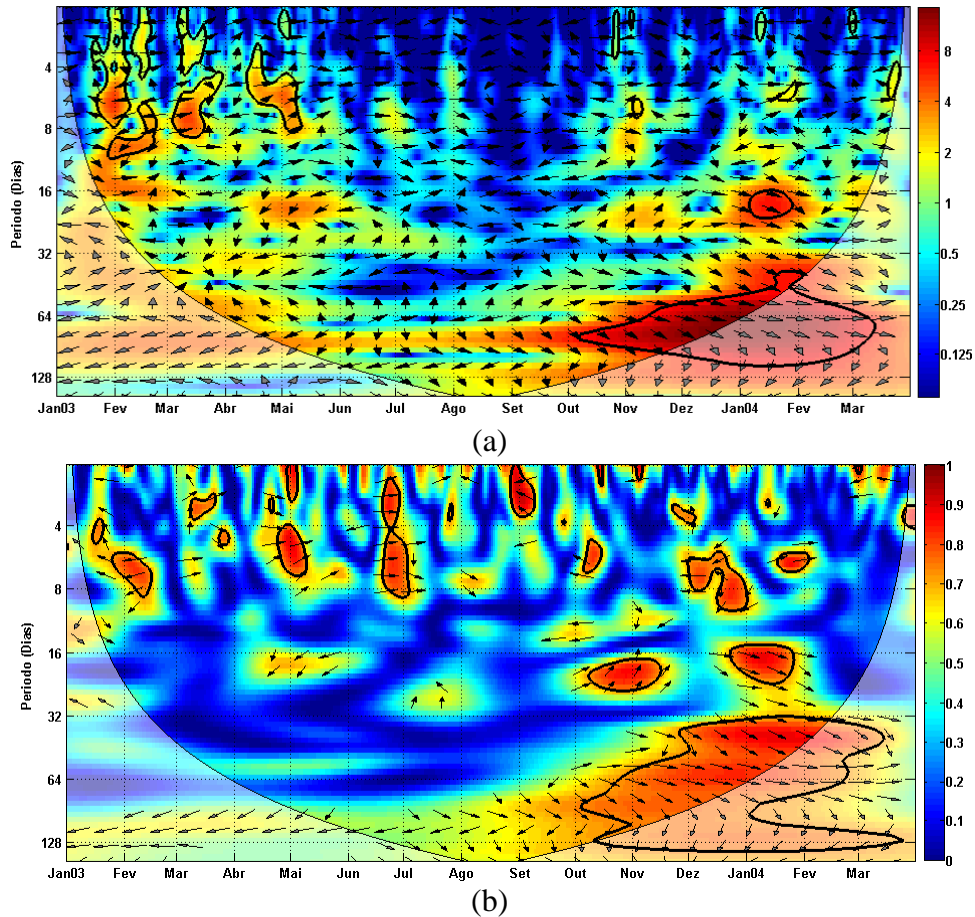


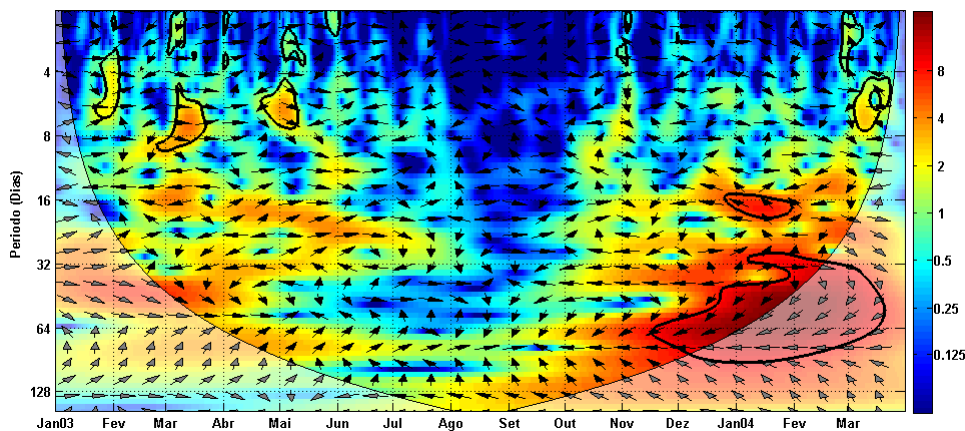
Figura 4.46 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no Pacífico central equatorial e a AROLE não-filtrada em um ponto na área norte da ZCAS.

Na região tropical os pontos remotos a serem analisados são $15^{\circ}\text{S}/170^{\circ}\text{E}$ (oeste do Pacífico) e $15^{\circ}\text{S}/130^{\circ}\text{W}$ (Pacífico centro-leste), onde as ondeletas cruzadas, coerências, ângulos de fase (vetores) e os intervalos de confiança no nível de 95% (contornos sólidos espessos) com o ponto base na ZCAS N16 são mostrados nas Figuras 4.47 e 4.48, respectivamente. A escolha destes pontos segue o mesmo critério descrito na análise da faixa equatorial, exceto por destacar o sinal cruzado com a região centro-leste do Pacífico sul tropical.

A potência cruzada com o sinal no oeste do Pacífico sul ($15^{\circ}\text{S}/170^{\circ}\text{E}$) indica energia comum em 16-60 dias, especialmente entre 40-60 dias (Fig. 4.47.(a)). A coerência apresenta altos sinais de correlação apenas na faixa entre 45-60 dias, evidenciando que o sinal no Pacífico está avançado em 135° em relação ao sinal na ZCAS (Fig. 4.47.(b)). Esta observação revela a atuação da OMJ percorrendo o cinturão

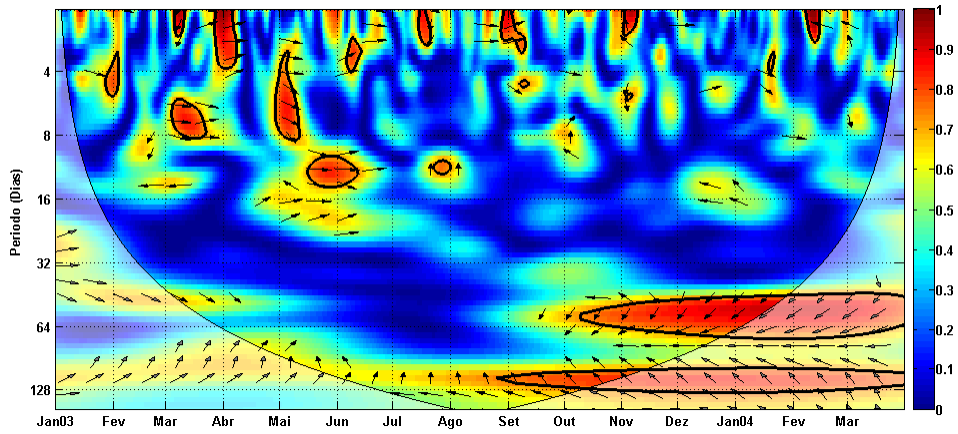
tropical e contribuindo para ativar o sinal intrassazonal de baixa frequência na área norte da ZCAS entre 15 e 20 dias de defasagens após ter intensificado a convecção no oeste do Pacífico sul tropical (CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006).

O espectro de potência cruzado com o centro-leste do Pacífico sul ($15^{\circ}\text{S}/130^{\circ}\text{W}$) destaca intensos sinais em todo espectro intrassazonal dentro da área do cone de influência (10-60 dias), caracterizando a importância destas flutuações em ambas as regiões (Fig. 4.48.(a)). A coerência está também elevada e com confiança acima do nível de 95% em todo o espectro intrassazonal, além de sinais em 4-8 dias (Fig. 4.48.(b)). Os ângulos de fase indicam o sinal no Pacífico avançado em todas as escalas de tempo de correlação, indicando que os sinais em 4-8, 16-30 e 30-60 dias alcançam a área norte da ZCAS em aproximadamente 2 dias, 2 a 4 dias e 5 dias de defasagens, respectivamente. Estas observações mostram a potente contribuição desta região para o desenvolvimento das anomalias intrassazonais que, posteriormente, alcançaram a área norte da ZCAS em alguns poucos dias de defasagem após o pico de convecção na região precursora. A Fig. 4.49 mostra a análise de ondeleta individual para a série temporal extraída do ponto $15^{\circ}\text{S}/130^{\circ}\text{W}$ (Fig. 4.49.(a)). Observa-se no espectro de potência que no período de 5 a 10 dias antes do pico de máxima amplitude negativa de AROLE ao longo do período de atuação do evento N16 (Fig. 4.43.(b)), a região centro-leste do Pacífico sul tropical evidencia altos conteúdos de energia em todo espectro intrassazonal e em modos de frequência mais alta, indicando especialmente os sinais intrassazonais precursoros que posteriormente modularam o evento N16 (Fig. 4.49.(b)).

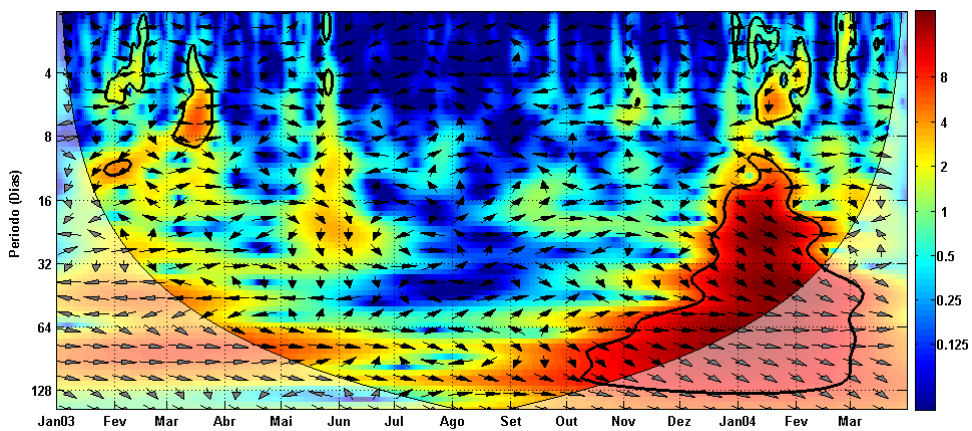


(a)

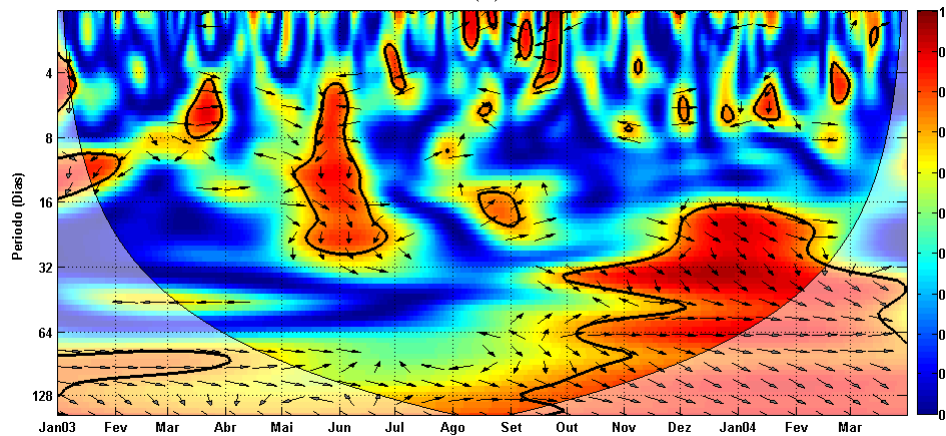
Figura 4.47 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no oeste do Pacífico sul tropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área norte da ZCAS. (Continua).



(b)
 Figura 4.47 – Conclusão.



(a)



(b)

Figura 4.48 – Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no centro-leste do Pacífico sul tropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área norte da ZCAS.

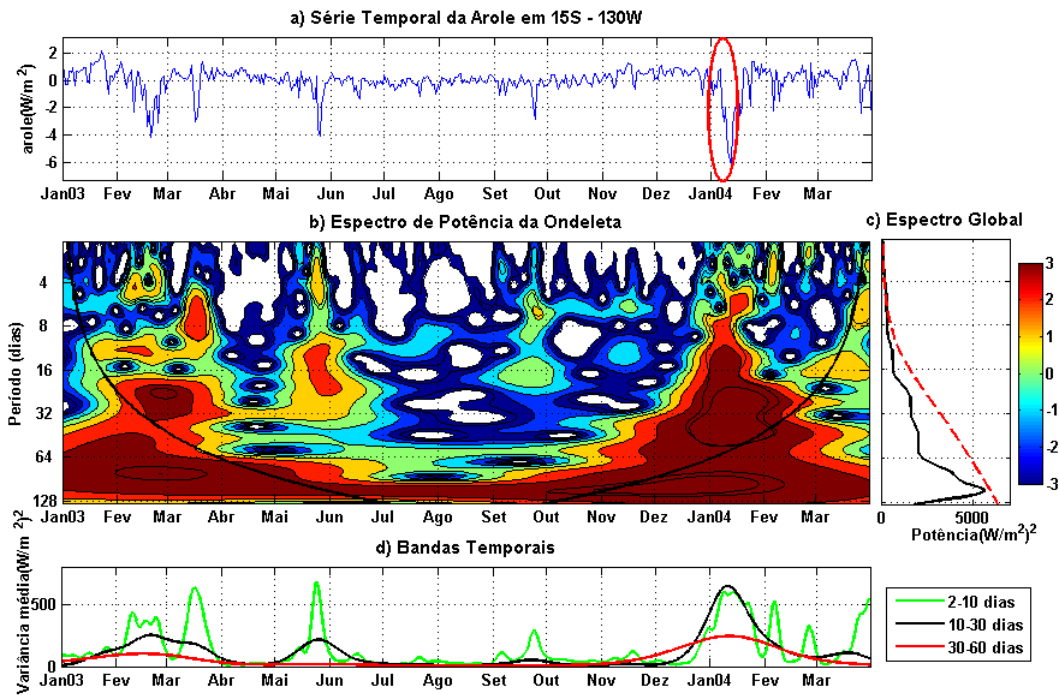


Figura 4.49 – Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto 15°S/130°W. O círculo vermelho em (a) ilustra o período de 5 a 10 dias antes do pico de máxima amplitude negativa de AROLE observada ao longo do período de duração do evento N16.

Na região subtropical os pontos escolhidos para análise são 30°S/150°W (Pacífico sul central) e 30°S/120°W (centro-leste do Pacífico sul), onde as ondeletas cruzadas, coerências, ângulos de fase (vetores) e os intervalos de confiança (contornos sólidos espessos) com o ponto base na ZCAS N16 são mostrados nas Figuras 4.50 e 4.51, respectivamente. Optou-se pela análise dos pontos mencionados anteriormente para acompanhar a trajetória do sinal intrassazonal pertencente ao núcleo de anomalias de convecção que se desloca desde o fim de dezembro/2003 nas proximidades da Austrália até a região centro-leste do Pacífico sul, onde permanece persistente ao longo de todo o período de manifestação do evento N16.

A potência cruzada com o Pacífico sul central (30°S/ 150°W) indica sinais comuns entre 15-60 dias, com máximos conteúdos de energia compreendidos na escala de tempo de 32-60 dias (Fig. 4.50.(a)). A coerência mostra o sinal em 30-45 dias ligeiramente avançado no Pacífico sul, indicando que a energia alcança a ZCAS em aproximadamente 12 a 15 dias (Fig. 4.50.(b)). Este resultado confirma a defasagem temporal entre o sinal da OMJ quando alcança o centro-oeste do Pacífico sul e,

posteriormente, quando modula a atividade convectiva na área norte da ZCAS (Castro, 2009). O sinal cruzado com o centro-leste do Pacífico sul (30°S/120°W) evidencia potência em escalas transientes e principalmente em 16-30 dias e 50-60 dias (Fig. 4.51.(a)). A coerência resalta sinais em 2-4 dias, com os modos oscilando em fase, e um fraco sinal em 25-30 dias, com o sinal no Pacífico avançado em 45° (Fig. 4.51.(b)). A Fig. 4.52 mostra a análise de ondeleta individual para a série temporal extraída do ponto 30°S/150°W (Fig. 4.52.(a)). Observa-se no espectro de potência que no período de 10 a 15 dias antes do início do evento N16, a região central do Pacífico sul subtropical evidencia altos conteúdos de energia, especialmente em 32-60 dias (Fig. 4.52.(b)), demonstrando ser uma eficiente região precursora do sinal intrassazonal de baixa frequência que posteriormente atingiu a área norte da ZCAS.

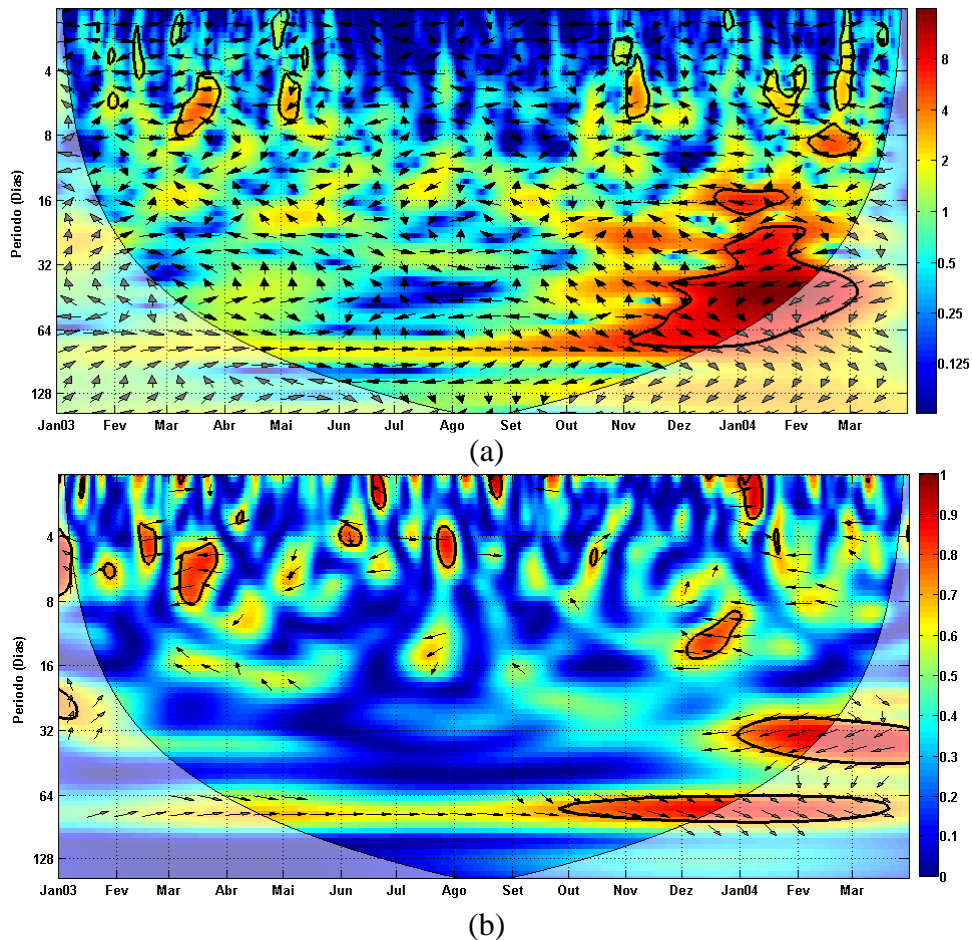
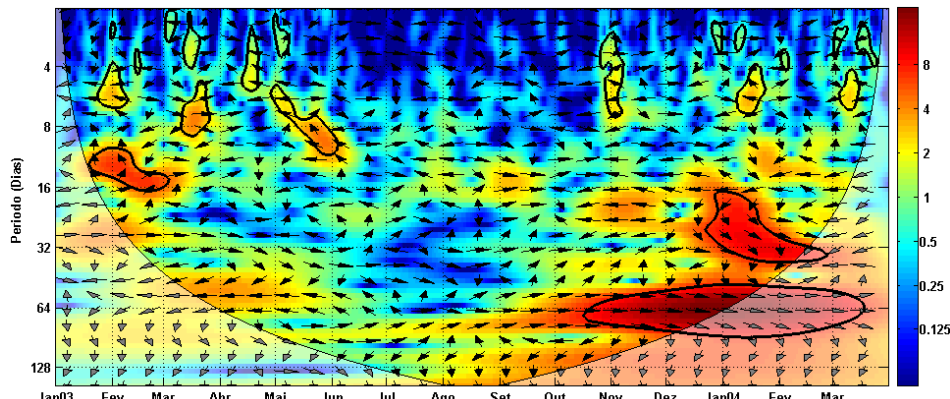
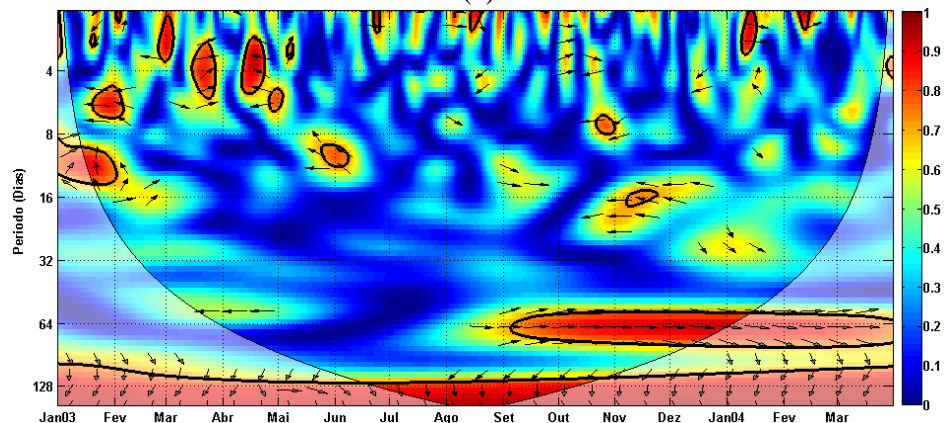


Figura 4.50 – Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no centro do Pacífico sul subtropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área norte da ZCAS.



(a)



(b)

Figura 4.51 - Como na Fig. 4.7, mas para ondeleta cruzada entre a AROLE não-filtrada em um ponto no centro-leste do Pacífico sul subtropical e a AROLE não-filtrada em um ponto na área norte da ZCAS.

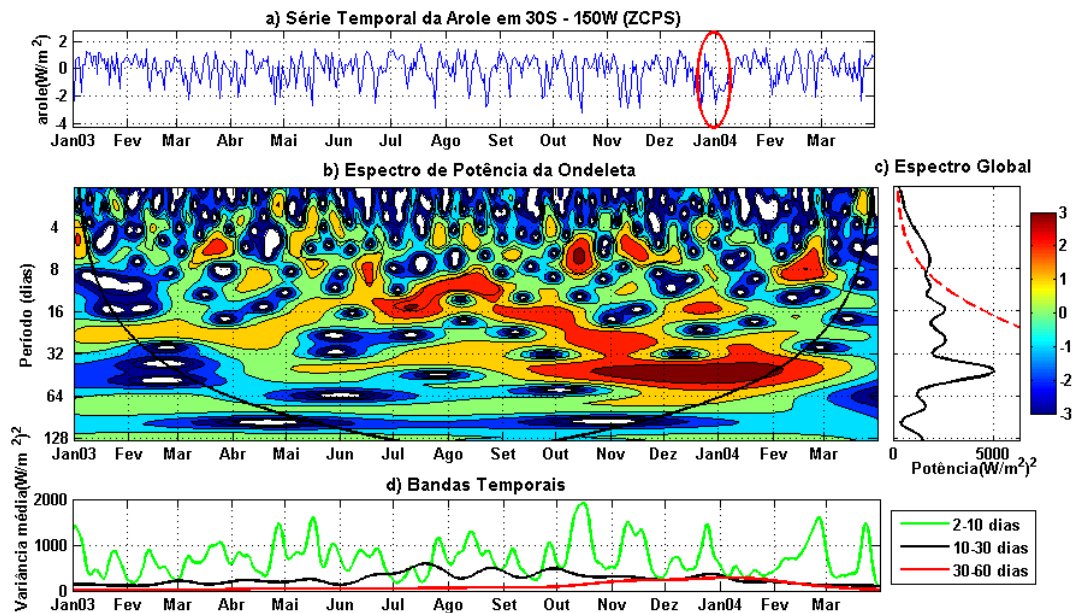


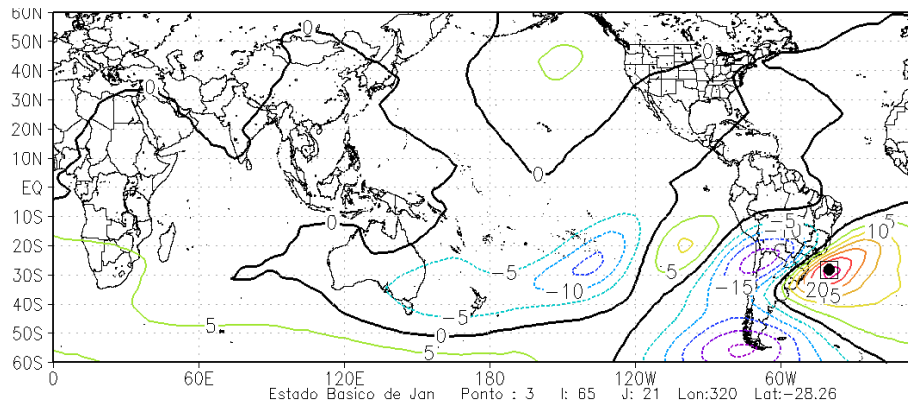
Figura 4.52 – Como na Fig. 4.5, exceto pela análise da ondeleta da série temporal de Arole não-filtrada extraída do ponto 30°S/150°W. O círculo vermelho em (a) ilustra o período de 10 a 15 dias antes do início do evento N16.

A análise do diagrama de Hovmöller para a faixa equatorial indicou que a propagação equatorial da OMJ evidencia um deslocamento muito bem definido, com anomalias de convecção deslocando-se desde o leste do Índico, no início de dezembro de 2003, até a região central do Pacífico, nos primeiros 15 dias de janeiro de 2004. Esta típica propagação da OMJ aparece associada com inibição de convecção no leste do Índico e Indonésia à medida que a célula de circulação zonal avança em direção ao Pacífico central. Através da análise de ondeleta cruzada e de coerência/ângulo de fase entre pontos remotos e o ponto base na área norte da ZCAS, verificou-se que esta perturbação na região equatorial alcança a área norte da ZCAS cerca de 4 a 8 dias após ter se deslocado sobre o centro-oeste do Pacífico, concordando com os estudos de Kousky e Kayano (1992), Mo e Nogués-Paegle (2001) e Castro (2009). O deslocamento da convecção nos trópicos mostrou uma estrutura espacial e temporal similar ao comportamento observado na faixa equatorial, o que é condizente com o próprio ciclo natural da OMJ (KOUSKY E KAYANO, 1992; 1994). O avanço das anomalias de convecção em direção a região central da ZCPS mostrou que o sinal intrassazonal em 16-60 dias alcança a área norte da ZCAS em defasagens de 2 a 5 dias, indicando que a porção centro-leste do Pacífico sul tropical parece ser uma forçante responsável pelo sinal intrassazonal que contribuiu para a modulação da ZCAS N16. Nos subtrópicos, a porção mais ao sul da ZCPS também demonstrou correlação intrassazonal com a ZCAS, uma observação possivelmente associada com o próprio ciclo da OMJ que promove um aumento ou uma diminuição da atividade convectiva na ZCPS, dependendo da fase da onda (KILADIS E WEICKMANN, 1992; CASTRO, 2009).

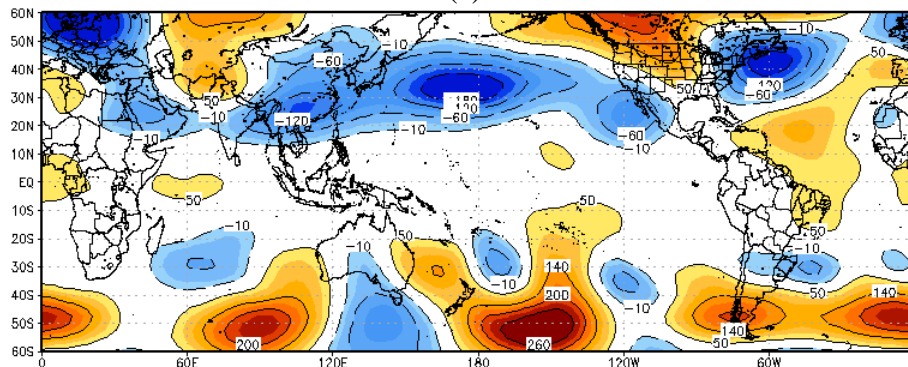
Para avaliar estas hipóteses, a Fig. 4.53.(a) apresenta o campo de FI da anomalia de Z considerando o estado básico climatológico referente ao mês de janeiro para o ponto de interesse centrado em 28°S/40°W. Este ponto de interesse foi escolhido pelo fato de que o padrão médio da circulação em 200 hPa no período de manifestação do evento N16 mostra a presença de anomalias negativas de Z nas proximidades da região sudeste do Brasil, indicando um comportamento oceânico baroclínico e uma contribuição para a modulação do evento (Fig. 4.53.(b)). Optou-se por utilizar a FI calculada com estado básico climatológico de janeiro devido o evento N16 ter se manifestado ao longo deste mês, que representa satisfatoriamente o padrão de circulação de verão no hemisfério sul. Através do campo de FI observa-se que o ponto de interesse

é afetado principalmente pela fonte de calor remota centralizada na região da ZCPS, contribuindo para o abaixamento do geopotencial em 200 hPa na região de interesse através de uma propagação ondulatória que se estende desde a região fonte, passa pelo sul da AS e atinge o oeste do Atlântico sul subtropical. Uma teleconexão ZCPS-ZCAS via latitudes subtropicais também é destacada.

Como discutido nos padrões sul e central, o uso do resultado do campo de FI deve ser associado à análise do campo forçante, podendo-se compor um campo de resposta através da integração da forçante com a FI referente ao estado básico climatológico de janeiro. Para representação do campo forçante utiliza-se uma fonte de massa derivada da AROLE não-filtrada e observada para a média dos últimos 10 dias antes do dia inicial do evento N16 (Fig. 4.54.(b)). No campo médio de AROLE não-filtrada destaca-se a presença de um dipólo de convecção entre o Índico/Indonésia e o centro-oeste do Pacífico sul, além da atividade convectiva anômala com uma orientação noroeste-sudeste na região da ZCPS (Fig. 4.54.(a)). O dipólo convectivo a oeste da linha de data aparece bem definido, destacando inibição sobre a Indonésia, um aspecto que está ligado à fase da OMJ que promove um aumento de convecção sobre o nordeste do Brasil e Atlântico sul adjacente (WEICKMANN et al.,1985). A fonte de massa positiva representa satisfatoriamente o posicionamento das anomalias de convecção ilustradas no campo médio de AROLE (Fig. 4.54.(a)). A média da AROLE não-filtrada para os últimos 40, 30 e 20 dias antes do inicial da ZCAS N16 são apresentadas, respectivamente, pelas Figuras 4.55 (a), (b) e (c), evidenciando as regiões preferenciais de manifestação das anomalias de convecção mais persistentes ao longo dos últimos 40 dias antes do início do evento N16. O posicionamento e a intensidade destas anomalias apresentam ligeiros deslocamentos para oeste e diminuem de intensidade à medida que o período da forçante é ampliado, contudo, os padrões espaciais se assemelham ao apresentado na média dos últimos 10 dias, confirmando a representatividade deste período como forçante para obtenção da resposta rotacional extratropical.

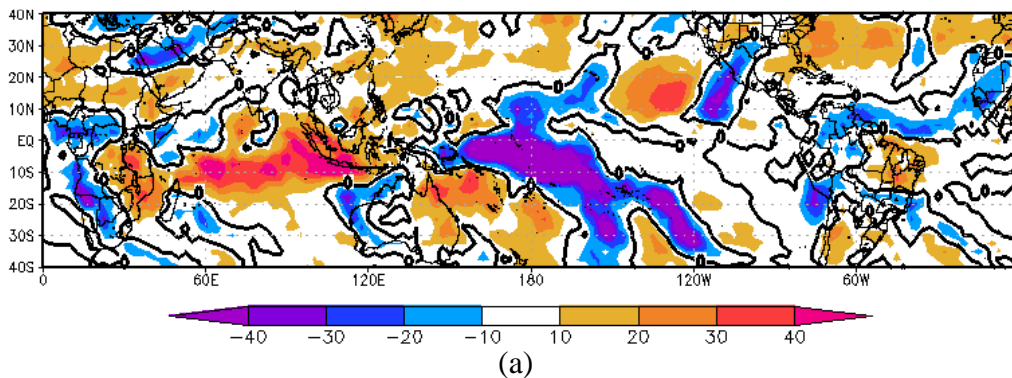


(a)



(b)

Figura 4.53 – (a) FI da anomalia de Z considerando estado básico climatológico de janeiro para o ponto de interesse em 28°S/40°W; e (b) Média da anomalia de Z em 200 hPa no período de duração do evento N16. Em (b) contornos tracejados e sombreados em azul indicam anomalias negativas. Em (a) o ponto de interesse é indicado pelo ponto preto.



(a)

Figura 4.54 – (a) Média da AROLE não-filtrada dos últimos 10 dias antes do início do evento N16; e (b) Fonte de massa positiva derivada da média de AROLE não-filtrada para o período descrito em (a). (Continua).

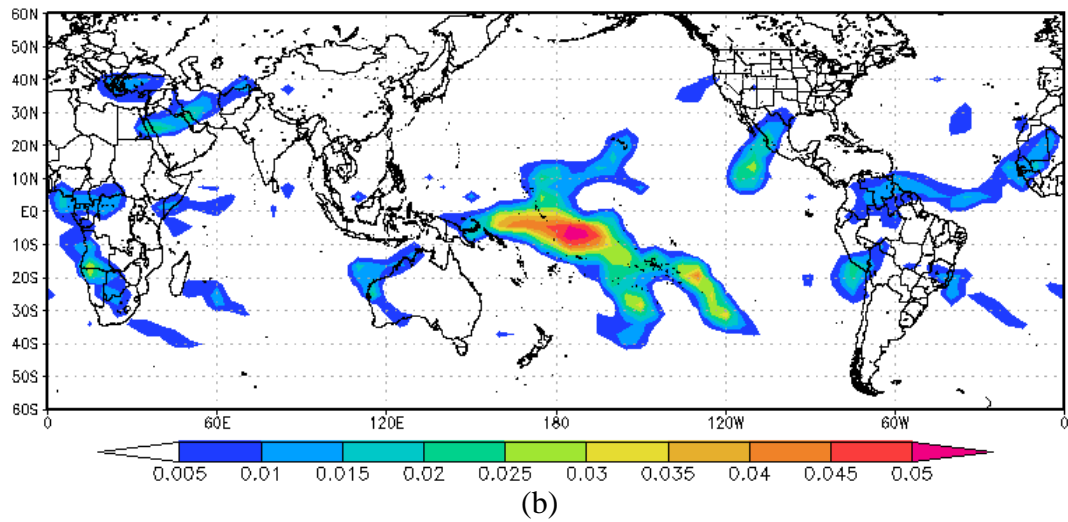


Figura 4.54 – Conclusão.

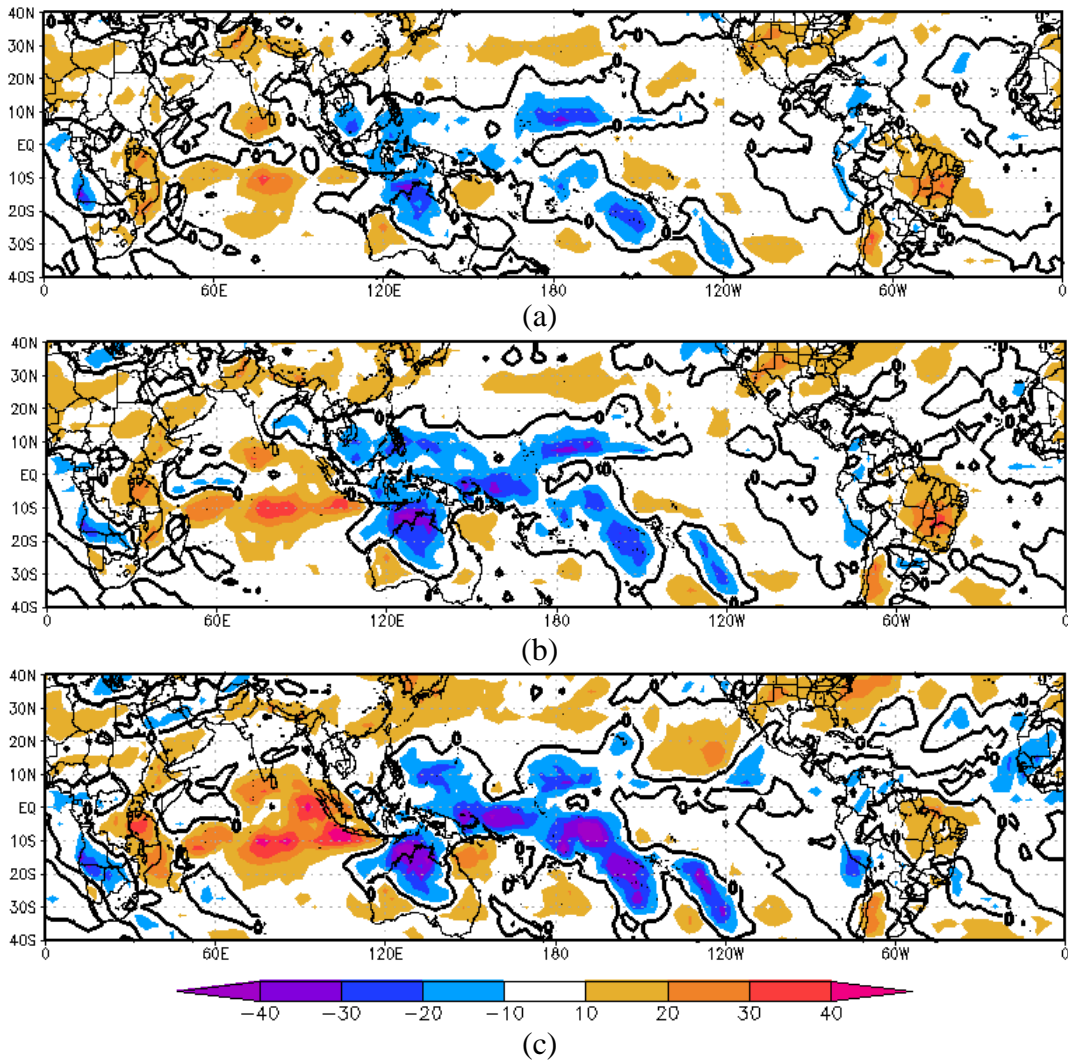


Figura 4.55 – Média da AROLE não-filtrada para os últimos (a) 40 dias; (b) 30 dias; e (c) 20 dias antes do dia inicial do evento N16.

Para o estudo do efeito da forçante na média dos últimos 10 dias antes do início da ZCAS N16, foram realizadas várias integrações para obtenção da resposta rotacional que represente o padrão médio observado da circulação em 200 hPa ao longo do período de duração do evento (Fig. 4.53.(b)). A Fig. 4.56.(a) ilustra a integração considerando a fonte de massa total no globo, enquanto as Figs. 4.56 de (b) a (j) mostram integrações com a forçante reduzida a algumas partes do domínio e anuladas no restante do domínio. Nota-se que as integrações que melhor se aproximam ao padrão de circulação observado sobre a AS e adjacências são aquelas em que a região forçante selecionada inclui a fonte de calor sobre o centro-leste do Pacífico sul (Figs. 4.56 (h), (i) e (j)). O padrão de circulação também é bem representado considerando a integração com a forçante em toda a área de manifestação da ZCPS, entretanto, mostra um abaixamento no geopotencial sobre o oeste do Atlântico sul ligeiramente deslocado para norte (Fig. 4.56.(f)). Esta observação mostra a contribuição eficiente da ZCPS em modular as anomalias rotacionais nos extratrópicos que posteriormente deslocam-se em direção a área norte da ZCAS. A integração considerando a fonte de massa total no globo mostra que o escoamento ondulatório resultante se aproxima do observado, confirmando a potência da ZCPS em modular o padrão global da circulação em função da intensa atividade convectiva associada, inferida através dos maiores valores de fonte de massa.

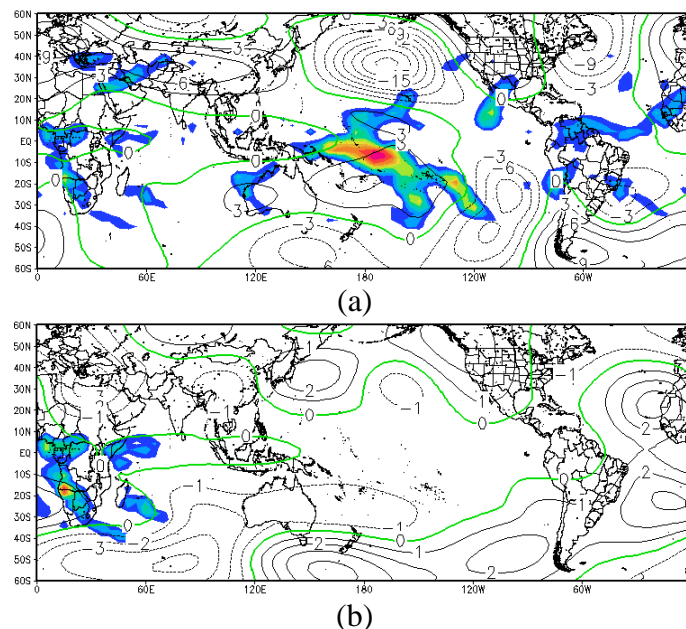
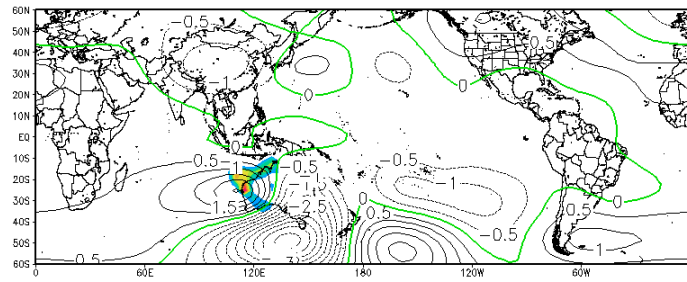
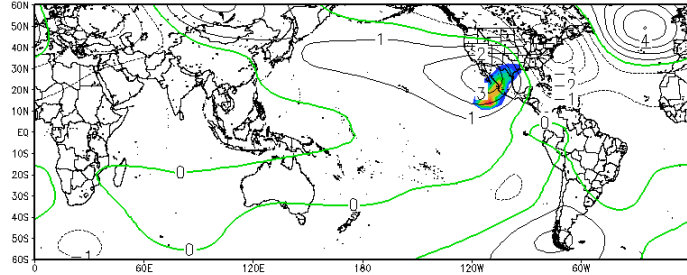


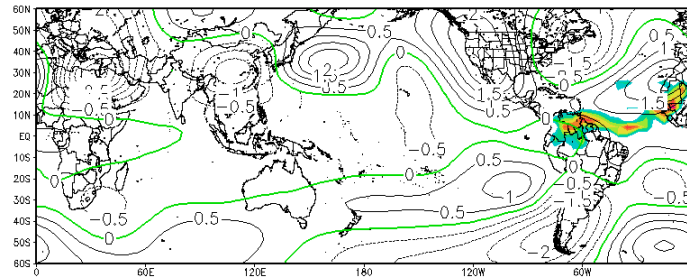
Figura 4.56 – Altura Geopotencial em 200 hPa (contornos em mgs) dados pela integração dos resultados de FI com a fonte de massa derivada da AROLE média dos 10 últimos dias antes do início do evento N16, selecionada por áreas da forçante (sombreado). A escala de cores é similar a da Fig. 4.54.(b). (Continua).



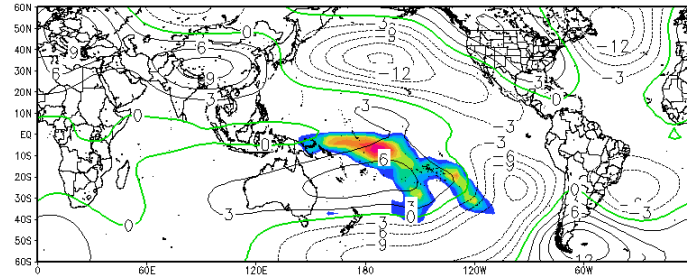
(c)



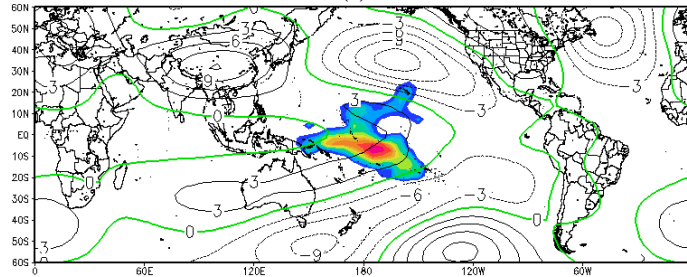
(d)



(e)



(f)



(g)

Figura 4.56 – (Continua).

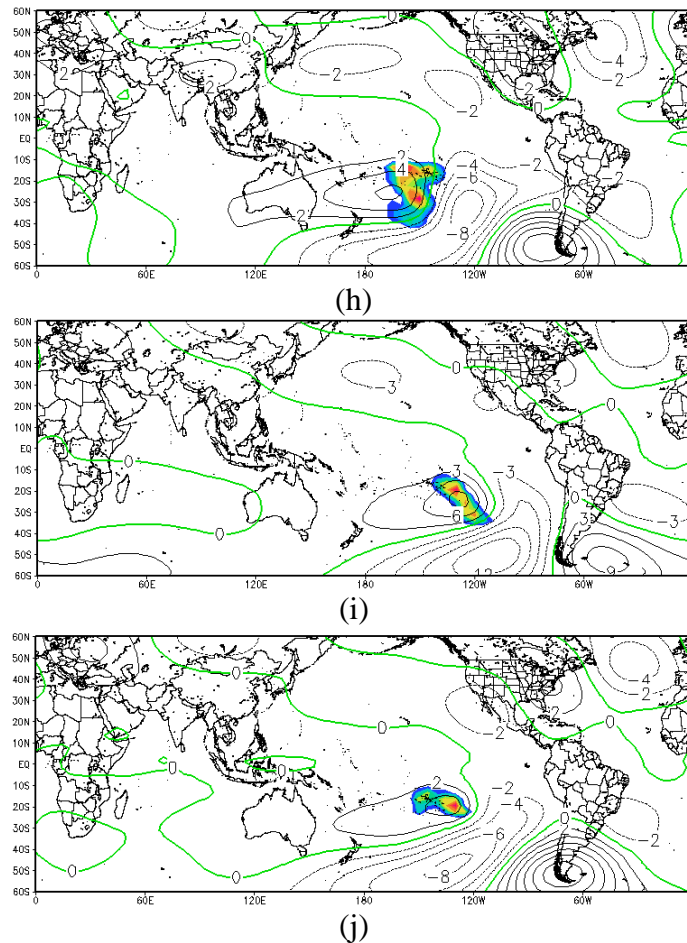


Figura 4.56 – Conclusão.

Para verificar a conexão entre a propagação da OMJ, o escoamento extratropical resultante e a modulação intrassazonal da ZCAS N16, a Figura 4.57 apresenta uma evolução temporal das anomalias de ROLE (sombreado), do vetor vento e das linhas de corrente em 200 hPa filtradas em 30-60 dias para a sequência temporal de 20, 15, 5 e 0 dias antes do início do evento. O deslocamento para leste da convecção anômala revela a manifestação da oscilação de 30-60 dias, indicando um período médio de 40 dias (KOUSKY E KAYANO, 1992; CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006) (Figs. 4.57 (a) a (d)). Destaca-se o comportamento convectivo oposto entre a Indonésia e a AS tropical nas defasagens -15 dias e 0 dia. Esta observação tem sido extensivamente descrita em estudos relacionados sobre as influências da OMJ na AS (WEICKMANN et al., 1985; KOUSKY E KAYANO, 1992; 1994) e especificamente na modulação da ZCAS (CARVALHO et al., 2004; CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006). A propagação do sinal convectivo a partir da defasagem de -20 dias até o início do evento concorda com as observações descritas na análise de ondeleta coerência e ângulo de fase, mostrando que em 15 a 20 após o sinal convectivo estar sobre o oeste do Pacífico

equatorial, este alcança a área norte da ZCAS (Figs. 4.57.(a) e (d)). Na região tropical e subtropical a propagação da OMJ em direção ao centro-oeste do Pacífico sul promove o aumento da atividade convectiva na ZCPS, sobretudo na porção tropical. Esta progressão revela que 5 dias antes do início da ZCAS N16 a convecção acentuada na porção centro-leste da ZCPS induz à formação de uma circulação anticiclônica a sul - sudoeste da fonte de calor, revelando a conexão com um trem de ondas que se desloca em direção a AS, modulando uma circulação ciclônica responsável pelo desenvolvimento da convecção anômala na porção oceânica da ZCAS N16 (Fig. 4.57.(c)). No dia inicial de ocorrência do evento N16 (Fig. 4.57.(d)) o destaque é o dipólo convectivo entre o leste do Índico/ Indonésia e o centro-oeste do Pacífico sul tropical, uma fase inversa ao verificado na defasagem de -20 dias (Fig. 4.57.(a)). O escoamento extratropical também mostra um comportamento inverso, evidenciando a marcante teleconexão entre a atmosfera tropical e a extratropical nesta escala de tempo intrassazonal (KILADIS E WEICKMANN, 1992; GRIMM E SILVA DIAS, 1995; CUNNINGHAM E CAVALCANTI, 2006; entre outros).

A Figura 4.58 sintetiza o papel das oscilações intrassazonais de frequência intermediária e dos transientes de alta frequência no processo de formação e manutenção do evento N16. As Figs. 4.58 (a) e (b) mostram o campo de AROLE filtrada em 2-10 dias para 1 dia antes do início e no dia inicial do evento, respectivamente. O sinal convectivo transiente na defasagem de -1 dia mostra anomalias concentradas sobre o sudeste do Brasil e Atlântico adjacente, onde posteriormente no dia inicial do evento deslocam-se em direção a área norte da ZCAS e se organizam em uma faixa que se estende desde o nordeste do Brasil em direção ao Atlântico sul subtropical, apresentando uma orientação espacial aproximadamente meridional. As flutuações intrassazonais em 10-30 dias (Fig. 4.58.(c)) indicam que os sinais anômalos de AROLE na média do período de duração do evento N16 contribuem para a modulação espacial dos transientes de alta frequência, uma vez que o padrão espacial convectivo em 10-30 dias já estava ativado sobre a região em decorrência da propagação do sinal precursor localizado na região da ZCPS.

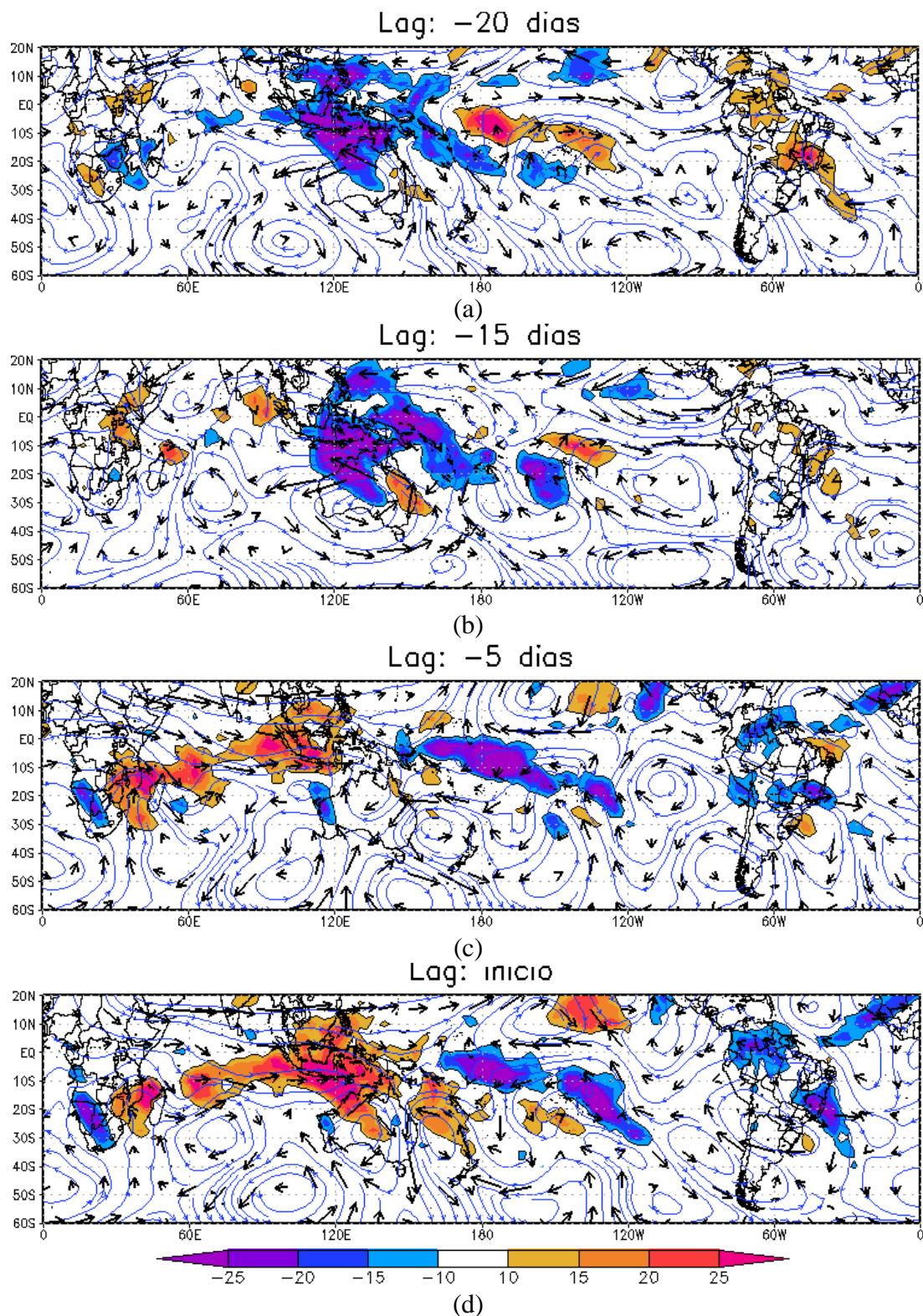


Figura 4.57 – Anomalias de ROLE (sombreado), vetor vento e linhas de corrente em 200 hPa filtradas em 30-60 dias para: (a) 20 dias; (b) 15 dias; (c) 5 dias; e (d) 0 dia antes do início do evento N16.

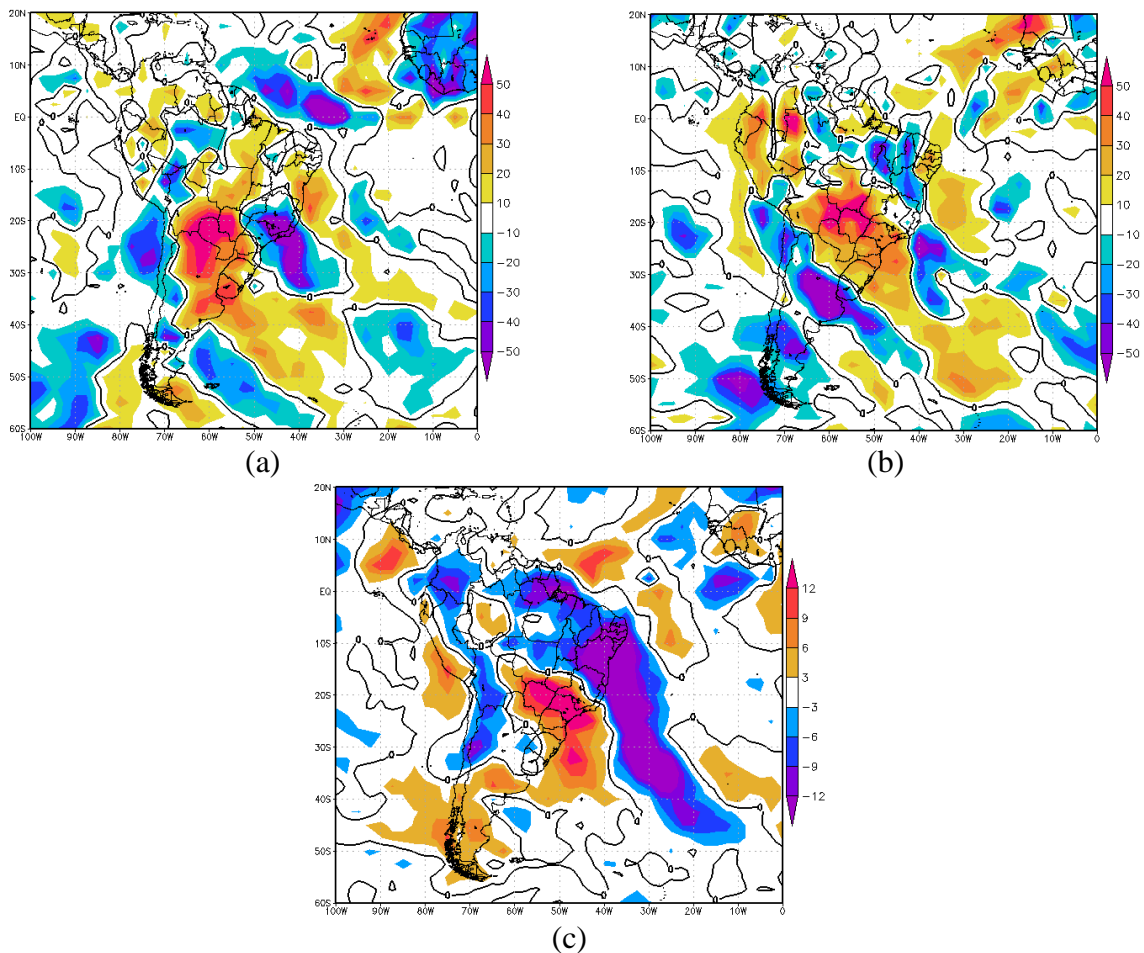


Figura 4.58 – AROLE filtrada em 2-10 dias para (a) 1 dia antes do início do evento N16; (b) para o dia inicial do evento; e (c) Média da AROLE filtrada em 10-30 dias para o período de duração do evento N16.

A fonte remota de calor que produziu a resposta rotacional responsável pela modulação do evento N16 foi identificada através dos diagramas de Hovmöller, da análise de ondeletas e FI, confirmando especialmente a importância da porção centro-leste da ZCPS como região precursora que influenciou no estabelecimento e manutenção da ZCAS N16 em todo o espectro intrassazonal. O sinal transiente em 5-8 dias que também contribuiu para o fortalecimento da convecção na área norte da ZCAS, indicou um sinal precursor proveniente da ZCPS, sugerindo que a intensa atividade convectiva naquela região produziu diferentes modos de variabilidade que influenciaram no desenvolvimento da ZCAS N16. Obviamente que este sinal também pode ser proveniente dos transientes baroclínicos independentes de qualquer forçante remota.

5 CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho mostram que a ZCAS preferencialmente se manifesta ao norte de sua posição climatológica ao longo dos primeiros meses de sua ocorrência (novembro e dezembro) e à medida que o regime de monção de verão intensifica-se sobre a América do Sul (janeiro e fevereiro), a frequência de ocorrência de episódios ao sul da climatologia aumenta em relação ao início da estação chuvosa. Estas observações concordam com estudos anteriores (QUADRO, 1993), destacando especialmente a importância das influências intrassazonais na modulação específica do posicionamento da ZCAS ao longo de uma mesma estação de verão. A variabilidade intrassazonal da ZCAS foi avaliada através de diferentes metodologias, permitindo identificar distintos posicionamentos das fontes remotas de calor que contribuíram para o desenvolvimento de anomalias de circulação extratropicais que, posteriormente, propagaram-se em direção a AS e promoveram o estabelecimento de condições intrassazonais favoráveis à formação e manutenção da ZCAS em três diferentes áreas de manifestação, que foram referidas como sul, central e norte.

Os episódios que ocorreram na área ao sul apresentaram em média uma estrutura espacial das anomalias de convecção conectando o norte da AS com o oeste do Atlântico sul subtropical, com atuação preferencial entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro. O comportamento médio da oscilação de 30-60 dias, em alguns períodos de defasagens antes do início de cada episódio, revelou que o processo de formação das anomalias intrassazonais sobre a área sul da ZCAS está ligado possivelmente com a transferência de energia através da propagação de um trem de ondas de Rossby induzido pela fonte de calor na ZCPS estabelecida cerca de 10 dias antes do início dos eventos. Esta fonte de calor demonstrou estar associada com o deslocamento natural da OMJ, que promove a intensificação das anomalias de convecção sobre a ZCPS à medida que o núcleo ascendente da célula de circulação zonal avança em direção ao centro-oeste do Pacífico tropical. A evolução temporal do ciclo de vida da OMJ, associada com a ocorrência de eventos de ZCAS ao sul da climatologia, mostrou que a transição de fase da EOF1 para EOF3 das AROLE filtradas em 30-90 dias obtidas por Castro (2009) representou aproximadamente o comportamento médio convectivo responsável pela modulação intrassazonal de baixa frequência de eventos de ZCAS na área sul.

A análise do estudo de caso de um episódio desenvolvido na área sul da ZCAS mostrou, através do espectro de potência da ondeleta da série temporal de AROLE não-filtrada, que as flutuações intrassazonais não apresentaram altos conteúdos de energia ao longo de todo o período de ocorrência do evento, entretanto, a oscilação de 30-60 dias revelou um aumento na potência nos últimos dias de manifestação, possivelmente contribuindo para a manutenção do evento juntamente com as flutuações de frequência mais alta. A incursão de um transiente de alta frequência alguns dias antes do início do episódio foi destacada no espectro de potência através dos altos valores na escala temporal de 2-4 dias, mostrando a importância dos transientes no processo inicial de formação de um evento de ZCAS na área sul.

A identificação das forçantes remotas da variabilidade intrassazonal foi feita através da análise de ondeleta cruzada, coerência e ângulo de fase entre séries temporais de AROLE não-filtrada extraídas de distintos pontos remotos do globo e a série temporal de AROLE não-filtrada obtida de um ponto base na área sul da ZCAS. Os resultados mostraram basicamente que a região equatorial não apresenta uma correlação direta com o sinal intrassazonal na área sul da ZCAS, sugerindo que a propagação natural da OMJ no contexto de teleconexão trópico-trópico não exerce influências sobre a formação de um episódio deslocado ao sul da climatologia. Em contrapartida, o deslocamento da OMJ sobre o centro-oeste do Pacífico sul contribuiu para ativar a convecção na ZCPS cerca de 10 dias antes do início do evento, induzindo à propagação extratropical de ondas de Rossby em direção a área sul da ZCAS. A coerência entre as séries temporais mostrou que o sinal na porção subtropical da ZCPS, especificamente em 160°W, está correlacionado com a área sul da ZCAS em escalas de tempo de 30-60 dias, indicando um mecanismo de teleconexão ZCPS-ZCAS em aproximadamente 10 a 15 dias de defasagens. A porção tropical da ZCPS, ligeiramente a leste da linha de data, também apresentou correlações com a ZCAS em escalas de tempo de 12-14 dias, indicando através do ângulo de fase que o sinal no Pacífico sul antecede o do Atlântico sul em 5 dias. O campo de FI para o estado básico climatológico de janeiro, considerando um ponto de interesse nas proximidades da área sul da ZCAS, mostrou que a forçante remota no centro-oeste do Pacífico sul subtropical é uma fonte de calor eficiente em modular anomalias intrassazonais de circulação nos extratrópicos que influenciam o ponto de interesse, concordando com as análises de ondeleta cruzada e

coerência para a região subtropical. Esta observação também foi avaliada através da integração da FI com o campo forçante obtido através da parametrização da AROLE não-filtrada para a média dos últimos 10 dias antes do início do evento, indicando que a fonte de massa na ZCPS, ligeiramente a leste da linha de data, contribui eficientemente em perturbar o escoamento extratropical que, possivelmente, transfere energia para a área sul da ZCAS em escalas de tempo de 25-60 dias.

O comportamento médio dos eventos que ocorreram na área central da ZCAS mostrou que a estrutura espacial das anomalias de convecção concentra-se em grande parte sobre o Atlântico sul tropical entre os estados do Espírito Santo e Bahia. A influência da OMJ indicou que a transição de fase da EOF2 para a EOF1 das AROLE filtradas em 30-90 dias obtidas por Castro (2009) representou aproximadamente o comportamento médio convectivo responsável pela modulação da energia intrassazonal de baixa frequência que contribuiu para o estabelecimento destes eventos. Da mesma forma como observado para os eventos ocorridos na área sul, a modulação intrassazonal de baixa frequência da ZCAS na área central parece estar associada com a transferência de energia através da propagação de um trem de ondas de Rossby induzido pela fonte de calor na ZCPS estabelecida cerca de 10 dias antes do início dos eventos.

A análise do estudo de caso de um episódio desenvolvido na área central da ZCAS mostrou através do espectro de potência da ondeleta da série temporal de AROLE não-filtrada que as flutuações intrassazonais entre 16-60 dias apresentaram altos conteúdos de energia ao longo de todo o período de ocorrência do evento, além da influência de um transiente de alta frequência no processo inicial de formação do episódio. As análises de ondeleta cruzada e coerência indicaram que a influência equatorial da OMJ sobre a área central está correlacionada no âmbito das teleconexões do tipo trópico-trópico, indicando que em 10 a 15 dias após o sinal ter alcançado o oeste do Pacífico, este atinge a porção central da ZCAS, condizendo com o ciclo de vida natural da OMJ (KOUSKY E KAYANO, 1992). Na região tropical e subtropical o máximo de correlação foi observado com a região central do Pacífico sul (145°W), indicando que o sinal em 25-60 dias alcança a ZCAS em aproximadamente 5 a 10 dias, concordando com os estudos de Grimm e Silva Dias (1995). O campo de FI para o estado básico climatológico de novembro, considerando um ponto de interesse nas

proximidades da área central da ZCAS, mostrou que a forçante remota na região central do Pacífico sul é uma fonte de calor eficiente em modular anomalias intrassazonais de circulação nos extratropicais que influenciam o ponto de interesse, concordando com as análises de ondeleta cruzada e coerência. Esta observação também foi avaliada através da integração da FI com o campo forçante obtido através da parametrização da AROLE não-filtrada para a média dos últimos 10 dias antes do início do evento, indicando que a fonte de massa na ZCPS contribui eficientemente em perturbar o escoamento extratropical que parece transferir energia para a área central da ZCAS em escalas de tempo de 25-60 dias.

O comportamento médio dos eventos que ocorreram na área norte da ZCAS mostrou que a estrutura espacial das anomalias de convecção concentra-se em grande parte sobre a região nordeste do Brasil e Atlântico sul adjacente. A influência da OMJ sugeriu que a transição de fase da EOF2 para a EOF1 das AROLE filtradas em 30-90 dias obtidas por Castro (2009) representou aproximadamente o comportamento médio convectivo responsável pela modulação da energia intrassazonal de baixa frequência que contribuiu para o estabelecimento destes eventos. Da mesma forma como observado para os eventos ocorridos na área sul e central, a modulação intrassazonal de baixa frequência da ZCAS na área norte parece estar ligada à transferência de energia através da propagação de um trem de ondas de Rossby induzido pela fonte de calor na ZCPS. Entretanto, esta fonte parece se estabelecer cerca de 5 a 10 dias antes do início dos eventos.

A análise do estudo de caso de um episódio desenvolvido na área norte da ZCAS mostrou através do espectro de potência da ondeleta da série temporal de AROLE não-filtrada que as flutuações intrassazonais entre 16-60 dias apresentaram altos conteúdos de energia ao longo de todo o período de ocorrência do evento. A influência dos transientes de alta frequência foi observada ao longo da fase de desenvolvimento do episódio, sugerindo não ser uma forçante responsável em ativar a ZCAS na sua etapa inicial de formação. As análises de ondeleta cruzada e coerência indicaram que a influência equatorial da OMJ sobre a área norte está correlacionada no âmbito das teleconexões do tipo trópico-trópico, indicando que em 15 dias após o sinal ter alcançado o oeste do Pacífico, este atinge a porção norte da ZCAS, como também

observado no estudo de caso da área central. Sobre a ZCPS o máximo de correlação foi observado principalmente no centro-leste do Pacífico sul (130°W), indicando que o sinal em 16-60 dias alcança a ZCAS em 2 a 5 dias. A potência desta região revelou correlação com a ZCAS também na escala temporal de 2-8 dias, indicando possivelmente que modos de variabilidade de mais alta frequência também sejam provenientes desta fonte. Obviamente que o efeito dos transientes baroclínicos independentes de qualquer forçante remota também deve ser considerado como uma influência sobre a área norte da ZCAS. O campo de FI para o estado básico climatológico de janeiro, considerando um ponto de interesse sobre o oeste do Atlântico sul subtropical nas proximidades do sudeste do Brasil, mostrou que a forçante remota na região centro-leste do Pacífico sul é uma fonte de calor eficiente em modular anomalias intrassazonais de circulação nos extratropicais que influenciam o ponto de interesse, concordando com as análises de ondeleta cruzada e coerência. Esta observação também foi avaliada através da integração da FI com o campo forçante obtido através da parametrização da AROLE não-filtrada para a média dos últimos 10 dias antes do início do evento, indicando que a fonte de massa na porção mais ao leste da ZCPS contribui eficientemente em perturbar o escoamento extratropical que parece transferir energia para a área norte da ZCAS em escalas de tempo de 16-60 dias e em alguns poucos dias de defasagens.

Como conclusão geral desta pesquisa, descreve-se a seguir um modelo conceitual representativo dos principais mecanismos físicos locais e remotos que auxiliam na identificação das condições atmosféricas favoráveis à gênese da ZCAS, contribuindo para uma melhoria no potencial de previsibilidade de curto e médio prazo destes eventos nas três áreas de manifestação abordadas neste estudo. Este modelo apresenta informações que estão de acordo com resultados observacionais de estudos anteriores, os quais foram referidos no Capítulo 2. Por fim, apresentam-se algumas sugestões para trabalhos futuros.

Modelo Conceitual da gênese e previsibilidade da ZCAS

1 - A gênese da ZCAS, independente de qualquer área de manifestação, está diretamente ligada com a presença do regime de monção de verão sobre a AS. Este

regime de circulação tem início durante os meses de outubro e novembro, apresentando uma intensificação entre os meses de dezembro e fevereiro e um enfraquecimento entre março e abril (ZHOU E LAU, 1998). Portanto, espera-se que se verifique uma maior frequência de ocorrência de eventos durante a fase de intensificação do regime de monção, concordando com as informações dos períodos de ocorrência dos eventos de ZCAS provenientes dos boletins mensais da Climanálise do CPTEC/INPE que foram descritas neste trabalho (<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>).

2 – No contexto local ou regional, alguns mecanismos forçantes, auxiliados pela presença da monção de verão sobre a AS, podem contribuir para o desenvolvimento de eventos de ZCAS. Dentre estes mecanismos pode-se citar que o transporte de umidade da região Amazônica para a ZCAS, associado com a convergência do vento próximo a superfície terrestre, destaca-se como uma espécie de processo de retroalimentação para o fenômeno, fortalecendo a atividade convectiva e a consequente liberação de calor latente na alta troposfera, induzindo à formação de uma circulação anticiclônica sobre a faixa de nuvens. A localização da convergência dos ventos e da umidade na baixa troposfera pode ser influenciada pela incursão de um transiente de alta frequência nas proximidades da região sul do Brasil, onde o escoamento de umidade proveniente da Amazônia propaga-se em direção ao transiente, aumentando o conteúdo de umidade ao longo do seu processo de formação e manutenção. Quando o transiente de alta frequência avança para latitudes mais baixas, a convergência de umidade pode acompanhar este deslocamento, auxiliando na intensificação do sistema e perturbando o escoamento anticiclônico semi-permanente sobre o Atlântico sul subtropical. Todavia o transporte de umidade através da borda oeste-sudoeste desta circulação anticiclônica também influencia no conteúdo de umidade da porção subtropical da ZCAS (KODAMA, 1992). Sendo assim, a ZCAS é basicamente modulada pela convergência de umidade na baixa troposfera, tanto na região tropical quanto na subtropical. A presença do transiente de alta frequência auxilia no desenvolvimento e/ou intensificação da atividade convectiva sobre o Brasil central e sobre a Amazônia, permitindo o estabelecimento da faixa de nuvens com uma estrutura espacial típica de noroeste-sudeste.

A presença de um cavado na alta troposfera, ligeiramente ao sul da faixa de nuvens, contribui para o abaixamento da pressão em superfície, especialmente na porção subtropical da ZCAS. Este mecanismo dinâmico, aliado à corrente de jato fluindo na dianteira do cavado, permite a intensificação da frontogênese em superfície, caracterizando a presença de um ambiente atmosférico baroclínico. A identificação da ZCAS também pode ser feita através das informações dos campos de temperatura potencial equivalente na média troposfera e de razão de mistura na baixa troposfera, onde indicam intensos gradientes de temperatura e de umidade ligeiramente ao sul da faixa de nuvens durante a manifestação destes eventos. Estas informações demonstram como a presença da ZCAS está relacionada com a interação entre duas massas de ar que apresentam características termodinâmicas distintas.

3 – A modulação dos episódios de ZCAS também é articulada pela influência de modos de variabilidade de baixa frequência, especialmente os contidos na escala de tempo intrassazonal em 10-90 dias (CARVALHO et al., 2004). As fontes de calor na atmosfera tropical e subtropical são forçantes de ondas de Rossby que, posteriormente, podem se deslocar em direção a AS, contribuindo para propagar a energia intrassazonal responsável pela formação e manutenção dos eventos de ZCAS. No presente estudo, os campos de FI calculados com estados básicos climatológicos referentes aos meses de novembro e janeiro mostraram que a fonte de calor na ZCPS destaca-se como principal forçante da variabilidade intrassazonal que conecta os trópicos com os extratropicais auxiliando na formação da ZCAS em distintas regiões de manifestação. Convecção acima da média na ZCPS pode estar relacionada com influências tropicais da OMJ, destacando a importância do monitoramento desta oscilação com certo tempo de antecedência (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/mjo.shtml>). Dependendo da fase da OMJ, a convecção na ZCPS pode ser ativada e, cerca de aproximadamente 5 a 10 dias depois, a energia intrassazonal alcança uma determinada área de atuação da ZCAS através da propagação extratropical de ondas de Rossby forçadas pela divergência anômala em 200 hPa na ZCPS. A propagação natural da OMJ nos trópicos mostra maior influência sobre o desenvolvimento de eventos de ZCAS deslocados ao norte da posição climatológica, indicando que cerca de 10 a 15 dias após a OMJ ter modulado a convecção anômala no oeste do Pacífico equatorial, o sinal intrassazonal atinge a área central e norte de manifestação da ZCAS. Obviamente que a

convecção anômala na ZCPS não produz apenas modos de variabilidade na escala de tempo de 30-60 dias, destacando que as oscilações intrassazonais em 10-30 dias também podem ser moduladas na região da ZCPS e propagadas para a região da ZCAS através de trens de ondas de Rossby em defasagens temporais de aproximadamente 5 dias, como verificado neste trabalho.

A previsibilidade da ZCAS pode ser auxiliada com as informações descritas anteriormente, especialmente no contexto intrassazonal (10-90 dias), uma vez que os transientes de alta frequência ao se deslocarem pelo oeste do Atlântico sul podem apresentar um aumento na amplitude quando oscilam em fase com modos de variabilidade de frequências mais baixas, contribuindo para que a ZCAS intensifique-se e permaneça semi-estacionária sobre uma região por um determinado período. Sendo assim, o conhecimento com certo tempo de antecedência do sinal intrassazonal precursor modulado pela convecção anômala na região da ZCPS, seja por influência da OMJ ou não, contribui para um aperfeiçoamento nos prognósticos de médio prazo da ZCAS em função da localização geográfica de manifestação.

Sugestões para trabalhos futuros

O resultado das integrações da FI com a forçante em todos os 3 estudos de caso não representou na íntegra o padrão médio espacial das anomalias de Z em 200 hPa observada no período de duração de cada evento, indicando algumas variabilidades no posicionamento, sobretudo na região central do Pacífico sul extratropical. Estas observações no padrão de circulação estão relacionadas possivelmente com a utilização de um campo de FI calculado com um estado básico climatológico, que pode revelar algumas características que diferem do escoamento observado no mesmo período da forçante, por exemplo. Neste sentido, uma recomendação para estudos futuros seria investigar o comportamento dos guias de ondas considerando um período mais curto para o estado básico, verificando se o padrão de circulação é recuperado na íntegra. A utilização de modelos de circulação geral para o estudo das teleconexões trófico-extratropical também é uma alternativa, uma vez que o modelo barotropical divergente apresenta algumas limitações quando se considera a integração das FI com um estado básico curto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBRIZZI, T.; HOSKINS, B. J.; HSU, H. H. Rossby wave propagation and teleconnection patterns in the austral winter. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.52, p.3661-3672, 1995.

ARAVÉQUIA, J. A. **Funções de influência com dependência temporal**: aplicações na interpretação da deriva de prognósticos de tempo e da gênese de anomalias climáticas. 257 p. Tese (Doutorado em meteorologia) - Instituto Astronômico, Geofísico e de Ciências Atmosféricas – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2003.

ARAVÉQUIA, J. A.; SILVA DIAS, P. L. Ferramenta de análise e prognóstico de anomalias climáticas usando funções de Green de um modelo barotrópico divergente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., Fortaleza. **Anais...** 2004. CD-ROM, On-line. (INPE-11974-PRE/7320). Disponível em: <<http://urlib.net/cptec.inpe.br/walmeida/2004/09.16.14.46>>. Acesso em: 05 mar. 2010.

BARBOSA, A. C. B. **Estudo da variabilidade acoplada oceano-atmosfera no Atlântico tropical**. 139 p. Dissertação (Mestrado em meteorologia). Instituto Astronômico, Geofísico e de Ciências Atmosféricas – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2007.

Boletins – **Climanálise** - CPTEC/INPE.
Disponível em: <<http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>>. Acesso em: 23 jun. 2010.

BONATTI, J. P.; SILVA DIAS, P. L. **Um modelo espectral barotrópico global com iniciação por modos normais**. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1982. (INPE-2584-PRE/232).

BUTKOV, E. **Mathematical physics**. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1968.

CARVALHO, L.M.V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v.17, p.88-108, 2004.

CASARIN, D. P.; KOUSKY, V. E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n.1, p.83-90, 1986.

CASTRO, C. A. C. **Interações trópicos-extratropicais na escala de tempo intrassazonal durante o verão austral e seus efeitos na América do Sul**. 2002. 162 p. (INPE-16604-TDI/1590). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1905/2005/08.03.21.22.50>>. Acesso em: 12 abr. 2011.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Drought in Brazil during summer and fall 2001 and associated atmospheric circulation features. **Climanálise**, 2001. Disponível em: <<http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista/pdf/criseing.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2010.

CUNNINGHAM, C. A. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. **International Journal of Climatology**, UK, v.26, n.9, p.1165-1180, 2006.

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

FARGE, M. Wavelet Transforms and their applications to turbulence. **Annu. Rev. Fluid. Mech.** v. 24, p.395-457, 1992.

FERREIRA, N. J.; SANCHES, M; SILVA DIAS, M. A. F. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.19, n.1, p.89-98, 2004.

FIGUEROA, S. N. **Estudo dos sistemas de circulação de verão sobre a América do Sul e suas simulações com modelos numéricos**. 1997. 181 p. (INPE-7121-TDI/672). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1999. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/06.15.09.40>>. Acesso em: 12 abr. 2011.

GRIMM, A. M. **Influência remota de fontes tropicais anômalas de calor**. 216 p. Tese de Doutorado em meteorologia. Instituto Astronômico, Geofísico e de Ciências Atmosféricas – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1992.

GRIMM, A. M.; SILVA DIAS, P. L. Analysis of tropical-extratropical interactions with influence functions of a barotropic model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.52, p.3538-3555, 1995.

GRINSTED, A.; MOORE, J. C.; JEVREJEVA, S. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. **Nonlinear Processes in Geophysics**. v.11, p.561-566, SRef-ID: 1607-7946, 2004.

HOLTON, J. R. **An introduction to dynamic meteorology**. San Diego: Fourth edition, Academic Press, 2004.

HOREL, J. D.; HAHMANN, A. N.; GEISLER, J. E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. **Journal of Climate**, v. 02, p.1388-1403, 1989.

HOSKINS, B. J.; KAROLY, D. J. The Steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.38, p. 1179-1196, 1981.

HOSKINS, B. J.; AMBRIZZI, T. Rossby wave propagation on a realistic longitudinally varying flow. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 50, p. 1661-1671, 1993.

HSU, H. H.; LIN, S. H. Global teleconnections in the 250-mb streamfunction field during the northern hemisphere winter. **Monthly Weather Review**, v.120, p.1169-1190, 1992.

HSU, H. H.; LEE, M. Y. Topographic effects on the eastward propagation and initiation of the Madden-Julian oscillation. **Journal of Climate**, v. 18, p.795-809, 2005.

JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Active and break phases in the South American monsoon system. **Journal of Climate**, v. 15, p.905-914, 2002.

KALNAY, E. e Coautores. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis project. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v.77, p. 371-437, 1996.

KAROLY, D. J.; HOPE, P.; JONES, P. D. Decadal variations for the southern Hemisphere circulation. **International Journal of Climatology**, v.16, p.723-738, 1996.

KASAHARA, A. Numerical integration of the global barotropic primitive equations with Hough harmonic expansions. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.34, p.687-701, 1977.

KATO, K.; KODAMA, Y. -M. Formation of the quasi-stationary Baiu front to the south of the Japan Islands in early May of 1979. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.70, p.631-647, 1992.

KIDSON, J. W. Principal modes of southern Hemisphere low frequency variability obtained from NCEP-NCAR reanalysis. **Journal of Climate**, v.12, p.2808-2830, 1999.

KILADIS, G. N.; MO, K. C. Interannual and intraseasonal variability in the southern hemisphere. **The Meteorology of the Southern Hemisphere**. American Meteorological Society, Boston, MA, p.307-336, 1998.

KILADIS, G. N.; WEICKMANN, K. M. Circulations anomalies associated with tropical convection during northern winter. **Monthly Weather Review**, v.120, p.1900-1923, 1992.

KNUTSON, T. R.; WEICKMANN, K. M. 30-60 day atmospheric oscillations: Composite life cycles of convection and circulation anomalies. **Monthly Weather Review**, v.115, p.1407-1436, 1987.

KODAMA, Y. -M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.70, n. 4, p.813-836, 1992.

KODAMA, Y. -M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) Part II: Conditions of the circulations for generating STCZs. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.71, n. 5, p. 581-610, 1993.

KOUSKY, V. E.; CAVALCANTI, I. F. A. Precipitation and atmospheric circulation anomaly patterns in the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 03, p.199-206, 1988.

KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T. Sobre o monitoramento das oscilações intrasazonais. **Journal of Climate**, v.7 (2), p.593-602, 1992.

KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T. Principal modes of Outgoing Longwave Radiation and 250mb circulation for South American sector. **Journal of Climate**, v.7, p.1131-1142, 1994.

LIEBMANN, B.; SMITH, C. Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v.77, p.1275-1277, 1996.

LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T. Submonthly convective variability over South America and South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v.12, p.1877-1891, 1999.

MADDEN R. A.; JULIAN, P. R. Description of global-scale circulations cells in the tropics with a 40-50 day period. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.29, p.1109-1123, 1972.

MADDEN R. A.; JULIAN, P. R. Observations of the 40-50 day tropical oscillation- A review. **Monthly Weather Review**, v.122, p.814-837, 1994.

MATHEWS, A. J.; KILADIS, G. N. The tropical-extratropical interaction between high-frequency transients and the Madden-Julian oscillation. **Monthly Weather Review**, v.127, p.661-677, 1999.

MO, K. C.; GHIL, M. Statistics and dynamics of persistent anomalies. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.44, p.877-901, 1987.

MO, K. C.; HIGGINS, R. W. The Pacific-South American modes and tropical convection during the southern hemisphere winter. **Monthly Weather Review**, v.126, p.1581-1596, 1998.

MO, K. C.; NOGUÉS-PAEGLE, J. The Pacific-South American modes and their downstream effects. **International Journal of Climatology**, v.21, p.1211-1229, 2001.

Monitoramento OMJ – Climate Prediction Center (CPC). Disponível em:
<<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/mjo.shtml>>.
Acesso em: 3 abr. 2011.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Monthly Weather Review**, v.125, p.279-290, 1997.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; BYERLE, L. A.; MO, K. C. Intraseasonal modulation of South American summer precipitation. **Monthly Weather Review**, v.128, p.837-850, 2000.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção na Amazônia.** (INPE-4008-TDL/239). Dissertação de mestrado em meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, 1986.

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul.** 1993. 124 p. (INPE-6341-TDI/593). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1993. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.26.14.10>>. Acesso em: 12 abr. 2011.

RHINES, P. B. Rossby Waves. In: James R. Holton, Judith A. Curry, John A. Pyle (Org.). **Encyclopedia of Atmospheric Sciences.** Academic Press, v.1, p.1923-1940, 2003.

SHIMIZU, M. H.; CAVALCANTI, I. F. A. Variability patterns of Rossby wave source. **Climate Dynamics.** 2010.

SILVA DIAS, P. L.; MARENGO, J. A. Águas atmosféricas. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA JR. B.; TUNDIZI, J. G.(eds.). **Águas doces no Brasil capital ecológico usos múltiplos, exploração racional e conservação.** São Paulo: IEA/USP, 1999. p.65-116.

STRETEN, N. A. Some characteristics of the satellite-observed bands of persistent cloudiness over the southern hemisphere. **Monthly Weather Review**, v.101, n.6, p.486-495, 1973.

SZEREDI, I.; KAROLY, D. The vertical structure of monthly fluctuations of the southern hemisphere troposphere. **Australian Meteorological Magazine**, v.35, p.19-30, 1987.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A practical guide to Wavelet analysis. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v.79, p.61-78, 1998.

TORRENCE, C.; WEBSTER, P. Interdecadal changes in the ENSO-Monsoon system. **Journal of Climate.** v. 12, p.2679-2690, 1999.

WALLACE, J. M.; GUTZLER, D. S. Teleconnections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter. **Monthly Weather Review**, v.109, p.784-812, 1981.

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, p.941-961, 1985.

ZHOU, J.; LAU, K.-M. Does a monsoon climate exist over South America? **Journal of Climate.** v.11, p.1020-1040, 1998.