



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ANÁLISE SINÓTICA DA ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO
SUL (ZCAS) UTILIZANDO-SE A TÉCNICA DE COMPOSIÇÃO**

Marcos Barbosa Sanches

**Dissertação de Mestrado em Meteorologia, orientada pelo Dr. Nelson Jesus Ferreira e
Dra. Maria Assunção Faus da Silva Dias.**

Maio 2002

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

Dr. Manoel Alonso Gan


Presidente/INPE/SJCampos-SP

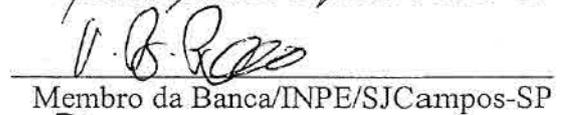
Dr. Nelson Jesus Ferreira


Orientador/INPE/SJCampos-SP

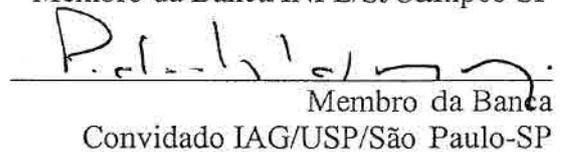
Dr^a Maria Assunção Faus da Silva Dias


Orientadora/IAG/USP/São Paulo - SP

Dr. Vadlamudi Brahmananda Rao


Membro da Banca/INPE/SJCampos-SP

Dr. Pedro Leite da Silva Dias


Membro da Banca
Convidado IAG/USP/São Paulo-SP

Candidato: Marcos Barbosa Sanches

São José dos Campos, 28 de março de 2002.

Ao meu eterno e supremo Deus.

A minha amada e mui querida esposa Kelly.

Ao Papai, Mamãe, Humberto e Sarita, minha família.

AGRADECIMENTOS

Meus orientadores Dr. Nelson Jesus Ferreira e Dra Maria Assunção Faus da Silva Dias pelo incansável apoio científico.

A todos meus amigos da sala do grupo de previsão climática do CPTEC/INPE que muita me ajudaram durante todo o período de pesquisa.

Ao meu grande amigo Gilvan Sampaio de Oliveira pelo estímulo

Ao CPTEC/INPE e IAG/USP, instituições sem as quais seria inviável o desenvolvimento deste trabalho.

E a todos que nas pequenas coisas tornaram de um sonho uma realidade.

RESUMO

Este trabalho analisou os padrões atmosféricos dominantes em situações de ZCAS, a partir da aplicação de uma técnica de composição. O estudo foi realizado utilizando-se as reanálises do NCEP para os meses de verão período de 1980 a 2000, bem como dados diários de Radiação de Onda Longa Emergente. Foram analisadas as seguintes situações: 1) Composição de todos os casos de ZCAS; 2) Composição de casos de ZCAS onde os fenômenos El Niño e La Niña estavam em atividade e 3) Composição de ZCAS em função do ciclo diurno. Os resultados mostram que a atividade convectiva, na parte continental da ZCAS, é mais profunda que na região oceânica. Observou-se em baixos níveis, sobre o norte da Bolívia, um núcleo com velocidade de ventos relativamente alta. Esta circulação possivelmente esteja associada ao jato de baixos níveis. É sugerido que a parte oceânica da ZCAS tenha um suporte dinâmico baroclínico. Por outro lado, no continente existe outros mecanismos favoráveis, tais como a Alta da Bolívia, topografia e a alta umidade. Foram identificados nos compostos para anos El Niño e La Niña: 1) Maior variabilidade de ocorrência de episódios de ZCAS em anos de La Niña e uma tendência de ocorrer 3 episódios em anos de El Niño; 2) Maior intensificação da convecção sobre o oceano para anos de El Niño e maior sobre o continente em anos de La Niña; 3) A circulação de grande escala em altos níveis não evidencia a ZCAS. No que se refere ao ciclo diurno, sugere-se a existência de uma oscilação da convecção na região da ZCAS, à tarde e noite a convecção concentra-se sobre o continente e durante o final da madrugada e período da manhã ela acentua-se sobre o oceano. Observou-se também a influência da topografia, associada à circulação dominante, altas temperaturas e conteúdo de umidade, determinando a organização da atividade convectiva no continente. Sobre oceano aparentemente a advecção de cirrus pela circulação dominante, oriunda da alta atividade convectiva observada sobre o continente, estimula o aumento de convergência do fluxo de vapor de água em baixos níveis.

Synoptic Analyzes of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) using a composite technique

ABSTRACT

This study analyzes the prevailing atmospheric circulation pattern associated with the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) using a composite technique. Two primary data sets were used in the study: gridded NCEP reanalysis at standard pressure levels and outgoing longwave radiation (OLR). The study period focuses on the austral summer during the 1980-2000 period. The following situations were described: all SACZ's composite; SACZ's composite in El Niño and La Niña years; diurnal cycle of SACZ's composite. The obtained results observed show that the convective activity along the SACZ continental branch is stronger than the observed one along adjoining oceanic areas. At lower levels a maximum wind speed core is observed over northern Bolivia. Possibly this feature is associated with a low level jet in that region. It is suggested that over the Atlantic Ocean the SACZ has a baroclinic character. On the other hand, over land these are other favorable mechanisms such as the Bolivian High, topography and high tropospheric moisture content. The following features were observed in El Niño and La Niña years composites: 1) increased variability of SACZ with a trend of 3 events per EL Niño year; 2) enhanced convection in El Niño years over oceanic areas, and enhanced convection in La Niña years over land; 3) the large scale circulation at the upper levels do not make SACZ evident. Regarding the daily cycle of SACZ composites, it is suggest the presence of an oscillation in the convective activity along the SACZ: in the afternoon and night time periods the convective activity concentrates over land, and during early and late morning periods it shifts to oceanic areas. Also, the diurnal cycle composites show that the organization and maintenance of the convective activity over land is modulated by topography, prevailing atmospheric circulation, high temperatures and moisture content. Over oceanic areas, the observed low-level moisture convergence, possibly is related to cirrus advection from convective activity over land.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIII
LISTA DE SIGLAS.....	XIV
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO.....	17
CAPÍTULO 2	
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
CAPÍTULO 3	
DADOS E METODOLOGIA.....	27
3.1 – DADOS.....	27
3.2 – CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE CASOS DE ZCAS.....	30
3.3 – TÉCNICA DE COMPOSIÇÃO.....	31
3.3 – TESTE DE SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA TIPO <i>T</i> DE STUDENT....	34
CAPÍTULO 4	
RESULTADOS.....	37
4.1 – SELEÇÃO DOS PERÍODOS DE ZCAS.....	37
4.1.1 – Diferença entre o campo composto e a climatologia de ROLE	40
4.2 – ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DOS CAMPOS.....	43
4.2.1 – Campo de ROLE.....	43
4.2.2 – Comportamento atmosférico nos baixos níveis.....	44
4.2.3 – Comportamento atmosférico nos médios e altos níveis.....	52
4.2.4 – Secções verticais.....	55

4.3 COMPOSIÇÃO DE ZCAS EM ANOS DE EL NIÑO E LA NIÑA.....	63
4.3.1 Discussão sobre as diferenças da composição de ZCAS em anos de El Niño e La Niña.....	63
4.3.2 Teste tipo <i>T</i> de Student na composição para El Niño e La Niña.....	67
4.4 COMPOSIÇÃO DE ZCAS EM FUNÇÃO DO CICLO DIURNO.....	75
4.4.1 Comportamento sobre o continente.....	75
4.4.2 Comportamento sobre o oceano.....	81
CAPÍTULO 5	
CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura	Descrição	Página
3.1.....	Área proposta para estudo.....	29
3.2.....	Esquema ilustrativo da aplicação da técnica de composição em casos de ZCAS.	33
4.1.a...	Campo climatológico de ROLE, período 1980 a 2000 nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Intervalos de 10 W/m^2	40
4.1.b...	Composição de ROLE, para todos os casos de ZCAS ocorridos no período 1980 a 2000 nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Intervalos de 10 W/m^2	40
4.2.....	Composição de radiação de onda emergente, para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e a média destes três meses. Intervalos de 10 W/m^2	44
4.3.a...	Como na Figura 4.2, mas para circulação e magnitude do vento em 850 hPa. Intervalos para a magnitude do vento de 2 m/s.	45
4.3.b...	Secção vertical equatorial da componente meridional do vento, média no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro. Intervalos de 1 m/s.	46
4.3.c...	Perfil vertical do vento centrado em 65°W e 10°S , média no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro. Unidade em m/s.	47
4.4.....	Como na Figura 4.2, mas para divergência de umidade e vetor vento em 850 hPa. Intervalos para divergência de umidade $10^{-8} \text{ g/kg*s}^{-1}$. Unidade para vetor vento m/s.	48
4.5.....	Como na Figura 4.2, mas para umidade específica em 850 hPa. Intervalos de $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg/kg}$	49
4.6.....	Como na Figura 4.2, mas para temperatura potencial equivalente em 850 hPa. Intervalos de 5°K	50
4.7.....	Como na Figura 4.2, mas para advecção de temperatura potencial equivalente em 850 hPa. Intervalos de 2 K/dia.	51
4.8.....	Como na Figura 4.2, mas para velocidade vertical em coordenadas p, para o nível de 850 hPa. Intervalos de $2 \cdot 10^{-3} \text{ hPa/s}$	52

4.9.....	Como na Figura 4.2, mas para linha de corrente em 500 hPa.	53
4.10....	Como na Figura 4.2, mas para altura geopotencial, linha de corrente e divergência do vento horizontal, em 250 hPa. Intervalos para altura geopotencial 50 mgp e divergência do vento horizontal $5*10^{-6}*s^{-1}$	54
4.11....	Segmentos usados para secções verticais. O segmento A-B e C-D, sobre o oceano e continente respectivamente, o segmento E-F ao longo da ZCAS. Os pontos de intersecção entre as retas indicam a região do posicionamento médio encontrado a partir da aplicação da técnica de composição na ZCAS.	55
4.12....	Secção vertical de temperatura potencial equivalente, no segmento A-B. Média para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Intervalos de $2^{\circ}K$	57
4.13....	Secção vertical de temperatura potencial equivalente, no segmento C-D. Média para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Linha representativa da topografia mais grossa. Intervalos de $2^{\circ}K$	57
4.14....	Como na Figura 4.12, mas para divergência do vento horizontal. Intervalos $1*10^{-6}*s^{-1}$	58
4.15....	Como na Figura 4.13, mas para divergência do vento horizontal. Intervalos de $1*10^{-6}*s^{-1}$	58
4.16....	Como na Figura 4.12, mas para razão de mistura. Intervalos de $1*10^{-3}*g/kg$	59
4.17....	Como na Figura 4.13, mas para razão de mistura. Intervalos de $1*10^{-3}*g/kg$	59
4.18....	Secção vertical de temperatura potencial equivalente, no segmento E-F. Média para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Linha representativa da topografia mais grossa. Intervalos de $2^{\circ}K$	61
4.19....	Como na Figura 4.18, mas para divergência do vento horizontal. Intervalos de $1*10^{-6}*s^{-1}$	62
4.20....	Como na Figura 4.18, mas para velocidade vertical em coordenadas de pressão. Intervalos de $2*10^{-3}$ hPa/s.	62
4.21....	Histograma de frequência de episódios de ZCAS no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro, em anos El Niño, La Niña e Normal.	64

4.22....	Campo de composição de ROLE, em anos de El Niño, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro e a média trimestral. Intervalo de ROLE de 10 W/m ²	65
4.23....	Como na Figura 4.22, mas para anos de La Niña. Intervalo de ROLE de 10 W/m ²	66
4.24.a.	Campo de anomalia de ROLE (El Niño – Climatologia 1980 a 2000). Regiões sem significância estatística (BRANCO). Unidade de ROLE [W/m ²].	68
4.24.b.	Campo de anomalia de ROLE (La Niña – Climatologia 1980 a 2000). Regiões sem significância estatística (BRANCO). Unidade de ROLE [W/m ²].	68
4.24.c.	Campo de anomalia de ROLE (El Niño – La Niña). Regiões sem significância estatística (BRANCO). Unidade de ROLE [W/m ²].	68
4.25.a.	Como na Figura 4.24.a, mas para vorticidade relativa em 850 hPa. Intervalo de vorticidade relativa de $0,2 \cdot 10^{-5} \cdot s^{-1}$	70
4.25.b.	Como na Figura 4.24.b, mas para vorticidade relativa em 850 hPa. Intervalo de vorticidade relativa de $0,2 \cdot 10^{-5} \cdot s^{-1}$	70
4.25.c.	Como na Figura 4.24.c, mas para vorticidade relativa em 850 hPa. Intervalo de vorticidade relativa de $0,2 \cdot 10^{-5} \cdot s^{-1}$	70
4.26.a.	Como na Figura 4.24.a, mas para altura geopotencial em 200 hPa. Unidade em mgp.	71
4.26.b.	Como na Figura 4.24.b, mas para altura geopotencial em 200 hPa. Unidade em mgp.	71
4.26.c.	Como na Figura 4.24.c, mas para altura geopotencial em 200 hPa. Unidade em mgp.	71
4.27.a.	Como Figura 4.24.a, mas para vorticidade relativa em 200 hPa. Intervalo de $0,3 \cdot 10^{-5} \cdot s^{-1}$	73
4.27.b.	Como na Figura 4.24.b, mas para vorticidade relativa em 200 hPa. Intervalo de $0,3 \cdot 10^{-5} \cdot s^{-1}$	73

4.27.c.	Como na Figura 4.24.c, mas para vorticidade relativa em 200 hPa. Intervalo de $0,3 \cdot 10^{-5} \cdot s^{-1}$	73
4.28....	Composição de vetor velocidade do vento e divergência de umidade em 850 hPa, nos horários de 06, 12, 18 e 00 GMT , média para o trimestre dezembro, janeiro e fevereiro. Intervalos para a divergência de umidade de $2 \cdot 10^{-8} \cdot g/Kg \cdot s^{-1}$. Unidade o vetor vento $[m/s^{-1}]$	76
4.29....	Como na Figura 4.28, mas para vetor vento, circulação e velocidade vertical em coordenadas p , em 500 hPa. Intervalos de para velocidade vertical 3 Pa/s. Unidade do vetor vento m/s.	77
4.30....	Como na Figura 4.28, mas para altura geopotencial, circulação, magnitude do vento em 200 hPa. Intervalos para altura geopotencial de 50 mgp unidade do vento em m/s.	79
4.31....	Secção vertical da Composição de divergência do vento horizontal para o setor E-F, nos horários de 06, 12, 18 e 00 GMT . Média para o trimestre dezembro, janeiro e fevereiro. Intervalo para divergência horizontal do vento de $1 \cdot 10^{-6} \cdot s^{-1}$	70

LISTA DE TABELAS

Tabela	Descrição	Página
4.1.....	Períodos de ocorrência de ZCAS entre os anos de 1980 e 2000 para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro.	38
4.2.....	Número de casos de ZCAS ao longo do período de 1980 a 2000, associado a situações de El Niño, La Niña ou normal. FONTE: Trenberth (1997) e revista Climanálise.	63
4.3.....	Testes de significância estatística realizada nos campos resultantes de composição em anos de El Niño e La Niña e a climatologia.	67

LISTA DE SÍMBOLOS

Descrição	Símbolo
Advecção de temperatura potencial equivalente ($^{\circ}\text{K}/\text{dia}$)	A_T
Altura Geopotencial (m _{gp})	ϕ
Componente meridional do vento (m/s)	v
Componente zonal do vento (m/s)	u
Pressão atmosférica (hPa)	p
Radiação de onda longa emergente (W/m^2)	ROLE
Razão de mistura (g/Kg)	r
Razão de mistura de saturação (g/kg)	r_s
Temperatura do ar ($^{\circ}\text{K}$)	T_K
Temperatura no nível de condensação ($^{\circ}\text{K}$)	T_L
Temperatura potencial equivalente ($^{\circ}\text{K}$)	θ_e
Umidade específica (Kg/Kg)	e_s
Umidade relativa (%).....	r_h
Velocidade vertical em coordenadas de pressão (10^{-3} hPa/s)	ω

LISTA DE SIGLAS

Descrição	Sigla
Alta da Bolívia.....	AB
Alta Subtropical do Atlântico Sul.....	ASAS
Climate Diagnostics Center.....	CDC
Dezembro.....	Dez
El Niño Oscilação Sul.....	ENOS
El Niño.....	EN
Fevereiro.....	Fev
Greenwich Mean Time.....	GMT
Grid Analysis and Display System.....	GrADS
Janeiro.....	Jan
Jato de Baixos Níveis.....	JBN
La Niña.....	LN
Medium Range Forecast.....	MRF
National Center for Atmospheric Research.....	NCAR
National Centers for Environmental Prediction.....	NCEP
National Meteorological Center.....	NMC
National Oceanic and Atmospheric Administration.....	NOAA
Noroeste.....	NW
Oscilação Madden-Julian.....	OMJ
Sudeste	SE
Temperatura da Superfície do Mar.....	TSM
Vórtice Ciclônico em Altos Níveis.....	VCAN
Zona de Convergência do Atlântico Sul.....	ZCAS
Zona de Convergência do Índico Sul.....	ZCIS
Zona de Convergência do Pacífico Sul.....	ZCPS
Zona de Convergencia Inter. Tropical.....	ZCIT

Zona Frontal Baiu..... ZFB

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), é um fenômeno típico de verão na América do Sul. Sua principal característica é a persistência de uma faixa de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste (NW-SE), cuja área de atuação engloba o centro sul da Amazônia, Regiões Centro-Oeste e Sudeste, centro sul da Bahia, norte do Estado do Paraná e prolonga-se até o Oceano Atlântico sudoeste. Devido a sua persistência a ZCAS exerce um papel preponderante no regime de chuvas na região atuante, acarretando em altos índices pluviométricos.

Os primeiros estudos sobre essa faixa de atividade convectiva datam do início da década de 70. Taljaard (1972) associou a banda de nebulosidade na costa leste da América do Sul com a convecção da Amazônia. Streten (1973) e Krishnamurty et al (1973) mostraram a importância de uma onda quasi-estacionária, associada à faixa de nebulosidade persistente na região da ZCAS, no transporte de momentum, calor e umidade dos trópicos para as altas latitudes. Yassunary (1977) mostrou a partir de imagens médias obtidas por satélites meteorológicos, a presença de três áreas de nebulosidade no Hemisfério Sul, hoje conhecidas como Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS), ZCAS e do Índico Sul (ZCIS). Na década seguinte, foram realizados vários trabalhos buscando um melhor entendimento da ZCAS, até que no início dos anos 90, Kodama (1992) e Quadro (1994) sintetizaram os conhecimentos, até então descritos, e mostraram as características intrínsecas de episódios de ZCAS.

Kodama (1992) realizou uma minuciosa descrição comparativa entre a ZCPS, ZCAS (apenas a parte oceânica) e Zona Frontal Baiu (ZFB), esta última atuante na costa leste do continente asiático. A partir de uma técnica de composição, diagnosticou diversas características da ZCAS sobre o oceano, dentre elas pode-se citar:

- 1) O transporte de umidade em baixos níveis;
- 2) Manutenção da convecção pela convergência de umidade na baixa e média troposfera;

- 3) Alto contraste de umidade verificado a partir do campo de temperatura potencial equivalente (θ_e).

Quadro (1994) em seu trabalho de caracterização de similaridades ocorridas em eventos de ZCAS, propôs os seguintes pontos comuns no comportamento atmosférico numa situação de ZCAS:

- 1) Faixa de nebulosidade orientada no sentido NW-SE, quasi-estacionária por no mínimo 4 dias;
- 2) Convergência de umidade na baixa e média troposfera associada a chuvas intermitentes na região de atuação;
- 3) Banda de movimento ascendente do ar com orientação NW-SE;
- 4) Cavado quasi-estacionário na média atmosfera (500 hPa);
- 5) Intenso gradiente de θ_e na média troposfera, ao sul da banda de nebulosidade;
- 6) Banda de vortacidade anticiclônica em 200 hPa.

Outra questão relevante é o papel das influências remotas sobre a ZCAS, em termos de localização preferencial e intensidade. Quadro (1994) propôs que em anos de El Niño (EN) a ZCAS tende a ser menos intensa com a atividade convectiva um pouco deslocada para oeste. A Oscilação 30–60 dias (Madden and Julian, 1971), também possui uma importância na formação da ZCAS. Casarin e Kousky (1986), mostraram que num intervalo em torno de 15 dias se verifica a desintensificação da ZCPS e o aparecimento da ZCAS. Outros trabalhos como Satyamurti e Rao (1988), Silva Dias et al (1988) e Nobre (1988) descreveram a relação entre ZCPS e ZCAS em termos de localização e intensidade. Grimm e Silva Dias (1995) e Ambrizzi et al. (1998), mostraram a relação entre ondas que se propagam no Pacífico com a atividade convectiva da ZCAS.

Sanches e Silva Dias (1996) utilizando os dados de análise do antigo National Meteorological Center (NMC), aplicaram a técnica de composição proposta por Kodama (1992), estendendo o estudo para a região continental. Foram obtidos padrões atmosféricos

numa situação de ZCAS, bem como uma variação diurna, principalmente nas regiões de topografia mais pronunciada no Planalto Central do Brasil. Silva Dias e Silva Dias (1994) mostraram a partir de análises e previsões do modelo MRF/NCEP (Medium Range Forecast/National Centers for Environmental Prediction), a existência de vórtices embebidos na ZCAS, os quais poderiam estar associados à intensas precipitações observadas nesta região. Figueroa et al. (1995) mostraram a relação entre o aquecimento troposférico e precipitações intensas na manutenção da ZCAS.

Apesar do avanço do conhecimento das características físicas da ZCAS, muitos de seus aspectos observacionais (variabilidade, intensidade, etc), ainda não estão bem definidos. Neste contexto, há uma necessidade de se identificar e avaliar a evolução e os padrões da circulação associados a banda de nebulosidade, principalmente na região continental, assim como o papel do ciclo diurno na intensificação da convergência do fluxo de umidade nos baixos níveis. Além do interesse científico, o conhecimento dessas características é de grande valia para os meteorologistas que trabalham com a previsão de tempo.

Com o intuito de contribuir para o aprimoramento dos conhecimentos de situações típicas de ZCAS, o presente estudo tem como objetivos:

- 1) Caracterizar episódios de ZCAS ocorridos nos meses de dezembro (Dez), janeiro (Jan) e fevereiro (Fev), durante o período de 1980 a 2000, utilizando uma técnica de composição;
- 2) Avaliar as características atmosféricas de casos de ZCAS durante períodos de El Niño (EN) e La Niña (LN);
- 3) Avaliar a variação diurna da atividade convectiva, em situações de ZCAS, tanto no continente quanto no oceano.

A importância central de se utilizar à técnica de composição está na possibilidade de filtrar a variação intrasazonal e interanual. Desta forma, são obtidas situações padrões onde se ressalta apenas as características atmosféricas relevantes para situações típicas de ZCAS.

No capítulo 2 são enfocados diversos trabalhos que apresentam uma relação com o tema escolhido. Fontes e descrição dos dados, bem como a Metodologia aplicada na análise,

são tratados no capítulo 3. Os resultados, capítulo 4, estão divididos nos seguintes temas: 1) Seleção dos episódios de ZCAS, dentro do período de estudo e diferenças entre o campo composto e climatologia; 2) Uma análise geral dos resultados da composição de ZCAS, a partir da aplicação da técnica em todos os casos selecionados; 3) Exposição dos resultados da técnica de composição em episódios ocorridos em anos nos quais os fenômenos EN e LN estavam em atividade; 4) Resultados da composição de ZCAS em função do ciclo diurno. No capítulo 5 são apresentadas as considerações finais, conclusões e recomendações.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A ZCAS é uma característica intrínseca do verão da América do Sul. Sua relevância se apoia no fato das intensas precipitações ocorridas ao longo de sua área de atuação.

Nos anos 70, Taljaard (1972), Streten (1973) e Yassunary (1977), realizaram os primeiros estudos sobre a nebulosidade persistente em uma dada região na América do Sul, que trazia alta atividade convectiva. Hoje, esta banda é conhecida como ZCAS. Krishnamurty et al. (1973), através do estudo sobre uma onda quasi-estacionária, mostrou a importância da mesma no transporte de momentum, calor e umidade dos trópicos para as altas latitudes. Posteriormente, os estudos sobre esse assunto se concentraram em três principais vertentes: *CARACTERIZAÇÃO FÍSICA*, buscando um entendimento da atmosfera circundante; *POSSÍVEIS INFLUÊNCIAS REMOTAS*, partindo de estudos estatísticos tenta-se verificar como fenômenos remotos, meteorológicos ou oceânicos, influenciam na intensificação ou desintensificação da ZCAS; e *SIMULAÇÕES NUMÉRICAS*, que a partir de condições iniciais ideais ou reais busca-se entender a caracterização física da ZCAS e também simular possíveis influências remotas.

Em um estudo sobre as características físicas, Calheiros e Silva Dias (1988) descreveram a região geográfica onde a ZCAS atua tanto na parte continental quanto na parte oceânica. Eles sugeriram que a extensão da banda de nebulosidade chegaria até ao sul da África. Além disso, propuseram que o deslocamento e o rompimento da ZCAS estavam associados as ondas de escala global oriundas da região do Oceano Pacífico.

Satyamurti e Rao (1988) compararam o posicionamento e intensidade da ZCAS com outras zonas de convergências existentes do Hemisfério Sul. Os autores verificaram que para uma situação de ZCAS, a Cordilheira dos Andes possui um papel preponderante no posicionamento da faixa de nebulosidade, complementado com o alto volume de precipitação, que estaria associado a uma convergência de vapor d'água em baixos níveis e ao cavado em médios níveis que poderia auxiliar no estacionamento da ZCAS. Nobre (1988) comparou a ZCAS com a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) em termos de variabilidade

temporal-espacial e a possível influência da temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical na ZCAS. Foi proposto também, uma possível influência de sistemas frontais na formação da ZCAS.

Figuerola e Nobre (1990) mostraram, a partir de uma análise do comportamento da precipitação observada na região central da América do Sul, que existe uma intensificação do volume de chuvas numa situação de ZCAS. Silva Dias et al. (1991) realizaram um estudo de caso ocorrido em março de 1991, associado em intensas precipitações sobre o Estado de São Paulo. Foi mostrado o comportamento da atmosfera circundante e diagnosticada a possibilidade de um acerto na previsão do mesmo, salientando a importância do monitoramento.

Kodama (1992 e 1993) utilizando uma técnica de composição em que se ressalta os padrões reinantes dentro de um fenômeno meteorológico, realizou uma análise comparativa entre a ZCPS, ZCAS (apenas na parte oceânica) e a ZFB. Dentre os resultados obtidos são citados:

- 1) Manutenção da convecção pela convergência de umidade na baixa e média troposfera, determinando uma camada úmida com zonas baroclínicas associadas ao jato subtropical em altos níveis;
- 2) A temperatura da superfície do mar (TSM) ao longo da banda de nebulosidade é inferior em comparação a região vizinha, nos trópicos, o que determina uma diminuição da taxa de evaporação;
- 3) A manutenção da alta taxa de precipitação é devido ao transporte de umidade em baixos níveis, a partir da presença da alta subtropical do Atlântico Sul e também da Amazônia e região central do Brasil;
- 4) Alto contraste de umidade verificado a partir do campo de temperatura potencial equivalente, o que estimula o aparecimento de uma região instável ao norte e estável ao sul. Este fato caracteriza uma separação de massas, quente e úmida vindo de regiões de latitudes baixas e fria e seca das regiões de latitudes médias;

- 5) O posicionamento do jato em altos níveis favorece a ativação da convecção associado à instabilidade convectiva, que por sua vez poderia auxiliar na formação da ZCAS.

Quadro (1994), em seu trabalho de caracterização de similaridades atmosféricas associadas a um episódio de ZCAS, destacou os seguintes resultados:

- 1) Banda de nebulosidade quasi-estacionária por no mínimo 4 dias cuja direção preferencial é de NW-SE;
- 2) Convergência de umidade na baixa e média troposfera associada a chuvas intermitentes da região de atuação (Satyamurti e Rao, 1988);
- 3) Banda de movimento ascendente do ar com orientação NW-SE;
- 4) Cavado quasi-estacionário na média atmosfera (500 hPa) (Satyamurti et al, 1980 e Kodama, 1992);
- 5) Intenso gradiente de θ_e na média troposfera ao sul da banda de nebulosidade (Kodama, 1992);
- 6) Banda de vortacidade anticiclônica em altos níveis atmosféricos (200 hPa) (Carvalho, 1989).

Quanto à circulação geral da atmosfera, durante o verão austral na América do Sul, destaca-se o trabalho de Satyamurty et al. (1980), que a partir de um modelo barotrópico, mostraram a presença de um cavado quasi-estacionário na média troposfera, favorecendo o estacionamento de sistemas frontais, o que poderia determinar na intensificação da ZCAS. Este fato foi comprovado por Figueroa (1990).

Silva Dias et al (1987) demonstraram que a atividade convectiva da ZCAS, sobre o continente, é dominada principalmente pelo ciclo diurno cujos picos se dão no final do dia. Esta alta atividade convectiva determina convergência de vento e umidade em baixos níveis, e associado ao aquecimento na região no altiplano da Bolívia, há formação de uma região de divergência e/ou difluência em altos níveis. Isto sugere a intensificação de uma circulação anticiclônica conhecida como Alta da Bolívia (AB). Schwerdtfeger (1976) mostrou a presença de uma região de alta pressão localizada em torno de 15°S e 65°W que é acompanhada de uma

circulação anti ciclônica nos altos níveis. Ele também destacou a importância da presença do platô boliviano na manutenção desta circulação em altos níveis. Jones e Horel (1990) verificaram a dependência da convecção tropical na intensificação e deslocamento da AB.

Figueroa (1997) mostrou, a partir de simulações numéricas, a importância da presença do jato subtropical no aparecimento e intensificação do sistema. Também realçaram a importância do cavado sobre a Região Nordeste para a manutenção do sistema quasi-estacionário. Kodama (1992) observou a presença de vórtices ciclônicos em altos níveis (VCAN), sobre a Região Nordeste do Brasil, numa situação de ZCAS.

Sanches e Silva Dias (1996), aplicando uma técnica de composição proposta por Kodama (1992), propuseram padrões atmosféricos numa situação de ZCAS ativa, tais como uma extensão de convergência de baixos níveis bem definida, assim como uma região de confluência que se estende para o norte da ZCAS. Em médios e altos níveis foram encontradas as seguintes características: o cavado pronunciado sobre a parte central do Brasil, em 500 hPa; a presença da AB e o cavado do nordeste bem definidos em 200 hPa; variação diurna no campo convergência de umidade em baixos níveis, principalmente nas regiões de topografia mais pronunciada no Planalto Central do Brasil.

Ferreira et. al. (2001), ao realizarem um estudo climatológico de banda de nuvens convectivas no nordeste brasileiro, propuseram diversos padrões de configuração para a banda de nuvens, sendo que o padrão tipo "Y" o que melhor representa uma situação de ZCAS.

Os estudos das influências remotas se baseiam na interação entre ondas de diferentes escalas espaciais e temporais no surgimento, intensificação e desintensificação da ZCAS. Dentre essas influências pode-se citar a Oscilação Madden-Julian (OMJ) (Madden e Julian, 1971) e El Niño Oscilação Sul (ENOS). (Trenberth, 1997)

Casarim e Kousky (1986) e Grimm e Silva Dias (1995a) sugeriram a possibilidade de teleconexão entre a intensificação da ZCPS e a ZCAS, bem como a possível associação entre as fases de oscilação 30-60 dias e os períodos de intensificação da ZCAS. Calheiros e Silva Dias (1988) citaram a possível influência entre a posição da ZCAS e o posicionamento da ZCPS.

Jones e Horel (1990) mostraram que em anos de EN há um deslocamento da atividade convectiva para oeste na América do Sul, Quadro (1994), sugeriu que este deslocamento possivelmente contribua negativamente em relação à formação de episódios ZCAS, ou ao deslocamento da banda de nebulosidade de sua região preferencial de ocorrência.

Nogués-Paegle e Mo (1997) realizaram um trabalho a respeito do comportamento da atividade convectiva na América do Sul. Eles propuseram que a intensificação da precipitação na região de atuação da ZCAS determinaria uma diminuição das chuvas na região da América do Sul subtropical e vice-versa. Este efeito, tipo “gangorra”, se deve em parte a componentes regionais e possivelmente a influência da oscilação 30-60 dias.

Liebmann et al. (1999) estudaram, a partir de uma técnica de regressão linear, a convecção profunda sobre a América do Sul numa escala de tempo menor que 1 mês. Eles mostraram que a posição da ZCAS poderia estar associada com um guia de onda de Rossby, relacionado com a grande escala e que a intensificação da banda de nebulosidade estaria relacionada com a convecção da Amazônia.

Mais recentemente, Marton (2000) mostrou que a convecção ao longo da ZCAS na Região SE do Brasil sofre significativa mudança intrasazonal com períodos típicos da ordem de 20 e 40 dias.

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada uma descrição dos dados que foram utilizados na análise, os passos utilizados para aplicar a técnica de composição nos casos de ZCAS e uma explicação de um teste de significância estatística, tipo T de Student, que foi aplicado nas análises das composições de ZCAS em anos de EN e LN.

3.1 DADOS

Para realizar a análise dos casos de ZCAS e aplicar a técnica de composição foram utilizados duas fontes de dados:

- 1) Dados de reanálise do modelo global NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) (Kalnay et al., 1996), dispostos em pontos de grade com espaçamento de 2.5° de longitude e latitude, nos níveis isobáricos de 1000, 925, 850, 700, 500, 250, 200 e 100 hPa e nos quatro horários disponíveis 00, 06, 12 e 18 Greenwich Mean Time (GMT). As variáveis utilizadas para o estudo foram altura geopotencial (ϕ), temperatura do ar (T_K), componentes zonal (u) e meridional do vento (v), umidade relativa (%), umidade específica (e_s), velocidade vertical em coordenadas de pressão (ω), além de variáveis derivadas destas supra citadas.
- 2) Dados de Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE), oriundos da National Oceanic and Atmospheric Administration-Climate Diagnostics Center (NOAA-CDC), Boulder, Colorado (CDC-NCEP/NOAA), dispostos em pontos de grade com espaçamento de 2.5° de longitude e latitude.

O período de abrangência do estudo compreende os meses de Dez, Jan, Fev, período de 1980 a 2000, iniciando-se no mês de Jan de 1980 e encerrando no mês de Fev de 2000.

Para visualização e análise das variáveis meteorológicas foi utilizado o software de visualização Grid Analysis and Display System (GrADS) fornecida pelo Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA).

Para o cálculo de variáveis derivadas na reanálise, tipo divergência do vento horizontal (1/s), divergência do fluxo de umidade (g/Kg.s) e vorticidade relativa (1/s), foram utilizados funções intrínsecas do software GrADS.

Além destas, foi determinada também o campo de θ_e , a partir de formulações empíricas propostas por Bolton (1980):

$$\theta_E = T_K \left(\frac{1000}{p} \right)^{0.2854 (1 - 0.28 \times 10^{-3} r)} \times \exp \left[\left[\left(\frac{3.376}{T_L} - 0.00254 \right) \times r (1 + 0.81 \times 10^{-3} r) \right] \right] \quad (3.1)$$

onde:

T_K - temperatura (K);

p - pressão atmosférica (hPa);

r - razão de mistura (g/kg)

T_L - temperatura no nível de condensação (K)

Para encontrar a razão de mistura foi utilizado:

$$r = \left(\frac{r_h \times r_s}{100} \right) \quad (3.2)$$

onde:

r_h - umidade relativa (%);

r_s - razão de mistura de saturação (g/kg) dada por:

$$r_s = e_s \times \left(\frac{622.0}{p - e_s} \right) \quad (3.3)$$

Para encontrar a temperatura no nível de condensação foi utilizado:

$$T_L = \frac{2840}{3.5 \ln T_K - \ln e - 4.805} + 55 \quad (3.4)$$

onde:

e_s - umidade específica (g/kg)

Foi também utilizado nas análises o campo de advecção da temperatura potencial equivalente (A_T), a partir da seguinte formulação em coordenadas esféricas:

$$A_T = -(\vec{V}_H \cdot \nabla \theta_e) = -\left[\frac{u}{a \cos \varphi} \frac{\partial T}{\partial \lambda} + \frac{v}{a} \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right] - \frac{\partial T}{\partial r} \quad (3.5)$$

onde:

\vec{V}_H - vento horizontal

θ_e - temperatura potencial equivalente

Com o intuito de se ter uma ampla visão sinótica envolvendo o comportamento da ZCAS, definiu-se a área compreendida entre os meridianos 90°W e 20°E e entre os paralelos 60°S e 20°N. Na Figura 3.1 tem-se uma visão da área proposta para o estudo.

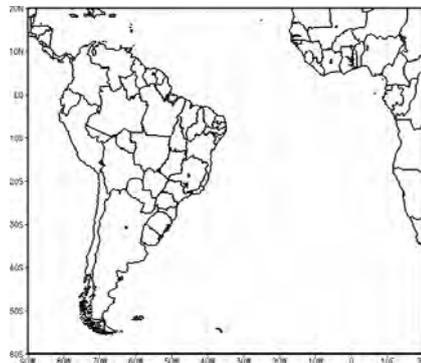


Figura 3.1: Área proposta para estudo

3.2 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE CASOS DE ZCAS

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram analisados casos de ZCAS identificados anteriormente por diversos autores. Para o período de dezembro/1980 a fevereiro/1989, foram analisados os casos apresentados por Quadro (1994) e Kodama (1992). Foram encontradas algumas diferenças nesses trabalhos em relação à escolha dos períodos de ZCAS, bem como meses em que não foi feita nenhuma análise. Como solução, foi realizada uma análise nos períodos onde havia discrepância de informação, para então encontrar os períodos de atividade da ZCAS. Entre os meses de dezembro/1989 e fevereiro/1992, nas publicações da revista *Climanálise*, houve menções do fenômeno, embora em algumas delas não ficou explícito o período de atividade da ZCAS. Como solução, foi também realizada uma análise de todo o período para determinar os dias onde a banda de nebulosidade estava quasi-estacionária. Para o período de dezembro/1992 a fevereiro/1995, foram usados os casos propostos por Sanches e Silva Dias (1996). Para o período de dezembro/1995 a fevereiro/2000, foram usados os resultados apresentados na revista *Climanálise* (1995 a 2000).

Os parâmetros utilizados para identificar os casos de ZCAS foram baseados nos trabalhos de Satyamurti (1988), Quadro (1994) e Sanches e Silva Dias (1996), ou seja:

- 1) Permanência de uma banda de nebulosidade por no mínimo 4 dias orientada na direção NW-SE, estendendo-se do sul da Amazônia até o Oceano Atlântico sudoeste, cobrindo grande parte do Brasil Central, a partir de dados de ROLE;
- 2) Convergência de vento e de fluxo de umidade na baixa troposfera, persistente sobre a região por no mínimo 4 dias;
- 3) Penetração de ar frio ao sul do sistema quasi-estacionário;
- 4) Presença de um cavado a leste da Cordilheira dos Andes, associado a movimentos ascendentes orientado na direção noroeste-sudeste em 500 hPa;
- 5) A presença da AB em altos níveis, um cavado sobre a Região Nordeste do Brasil ou em determinadas situações um VCAN. Além disso, uma faixa de vortacidade anticiclônica sobre a banda de nebulosidade quasi-estacionária.

Salienta-se que ocorreram dias, dentro de um episódio de ZCAS, onde alguns parâmetros acima descritos estavam descaracterizados, devido a diversos fatores tais como: entrada de sistemas frontais ou desintensificação da atividade convectiva. Entretanto, na média do período os parâmetros estavam presentes.

3.3 TÉCNICA DE COMPOSIÇÃO

Kodama (1992 e 1993) aplicou uma técnica de composição, ao estudar a estrutura interior e a circulação circundante em zonas de convergências tipo ZCPS, ZCAS e BFZ, sendo que no estudo da ZCAS, Kodama abrangeu a parte oceânica. Salienta-se que não foi considerada a intensidade, início e/ou fim de episódios, bem como a orientação da banda de nebulosidade, ou seja, foi inserido todo o período dos casos de ZCAS determinados. Fez-se isto pois o desenvolvimento e estudos a partir da aplicação da técnica de composição esta em possibilitar a filtragem de variações interanuais ou intersazonais, o que ressalta padrões atmosféricos dominantes em episódios ZCAS.

Uma vez determinados todos os períodos de ZCAS, faz-se necessário os seguintes passos para obtenção dos campos compostos:

- 1) Escolher um setor de referência, na qual a banda de nebulosidade seja correspondente a atuação da ZCAS. Kodama (1992) centrou este ponto no paralelo 30°S, tendo em vista que sua preocupação era no comportamento na parte oceânica da ZCAS. No presente estudo, foi definido como setor de referência a região onde a banda de nebulosidade atravessa a interface oceano-continente (vide PASSO 1 da Figura 3.2). Para determinar estes pontos, foram utilizados campos de vento ou linha de corrente, divergência de umidade, temperatura em baixos níveis e ROLE. Esta escolha foi feita analisando os 4 horários disponíveis da reanálise de todos os períodos de ZCAS selecionados;
- 2) A partir da seleção do ponto geográfico de referência, foi realizado um recorte em todos os níveis isobáricos utilizados, tanto em latitude quanto em longitude. A partir desses pontos, o recorte em longitude estendeu 60° ou 24 pontos de grade e 80° ou 20

pontos de grade a leste e a oeste, respectivamente. Em latitude, o recorte estendeu 40° ou 16 pontos de grade tanto para norte como para sul. Este procedimento gerou arquivos com dimensões idênticas em latitude, longitude e altitude, embora geograficamente distintos entre si. (vide PASSO 2 da Figura 3.2);

- 3) Uma vez obtido as coordenadas geográficas dos setores encontrados no PASSO 1, determinou-se a média aritmética destes pontos para a determinar a posição média da ZCAS, onde a banda de nebulosidade atravessa a interface oceano continente. (vide PASSO 3 da Figura 3.2);
- 4) Realizado o PASSO 2, os arquivos foram transladados para uma nova grade cujo ponto central foi determinado no PASSO 3, (vide PASSO 4 da Figura 3.2);
- 5) Determinaram-se médias em campos mensais, para análise do comportamento, tanto de forma generalizada, a partir da média de todos os anos, como na análise em anos de atividade dos fenômenos EN ou LN. As médias horárias, foram determinadas para análise do comportamento num ciclo diurno, (vide PASSO 5, da Figura 3.2).

Para se ter uma visão global da aplicação da técnica de composição apresenta-se na Figura 3.2, de forma ilustrativa, os passos acima citados.

Esquema ilustrativo de aplicação da Técnica de Composição para a ZCAS

Passo 1- Determinar o ponto geográfico de referência correspondente a região onde a banda de nebulosidade atravessa a interface oceano-continente.

Passo 2-Efetuar um recorte dos dados, a partir do ponto de referência, em todos os níveis isobáricos. Em latitude 40° para norte e para sul, e em longitude, 60° para leste e 80° para oeste.

Passo 3- Obter a média aritmética de todos os pontos encontrados no Passo 1, com isso é determinado o ponto médio geográfico.

Passo 4- Os arquivos são transladados para que o ponto central da grade seja coincidente com a posição média obtida no Passo 3.

Passo 5- Calcular os campos médios das variáveis meteorológicas para obtenção da composição de ZCAS.

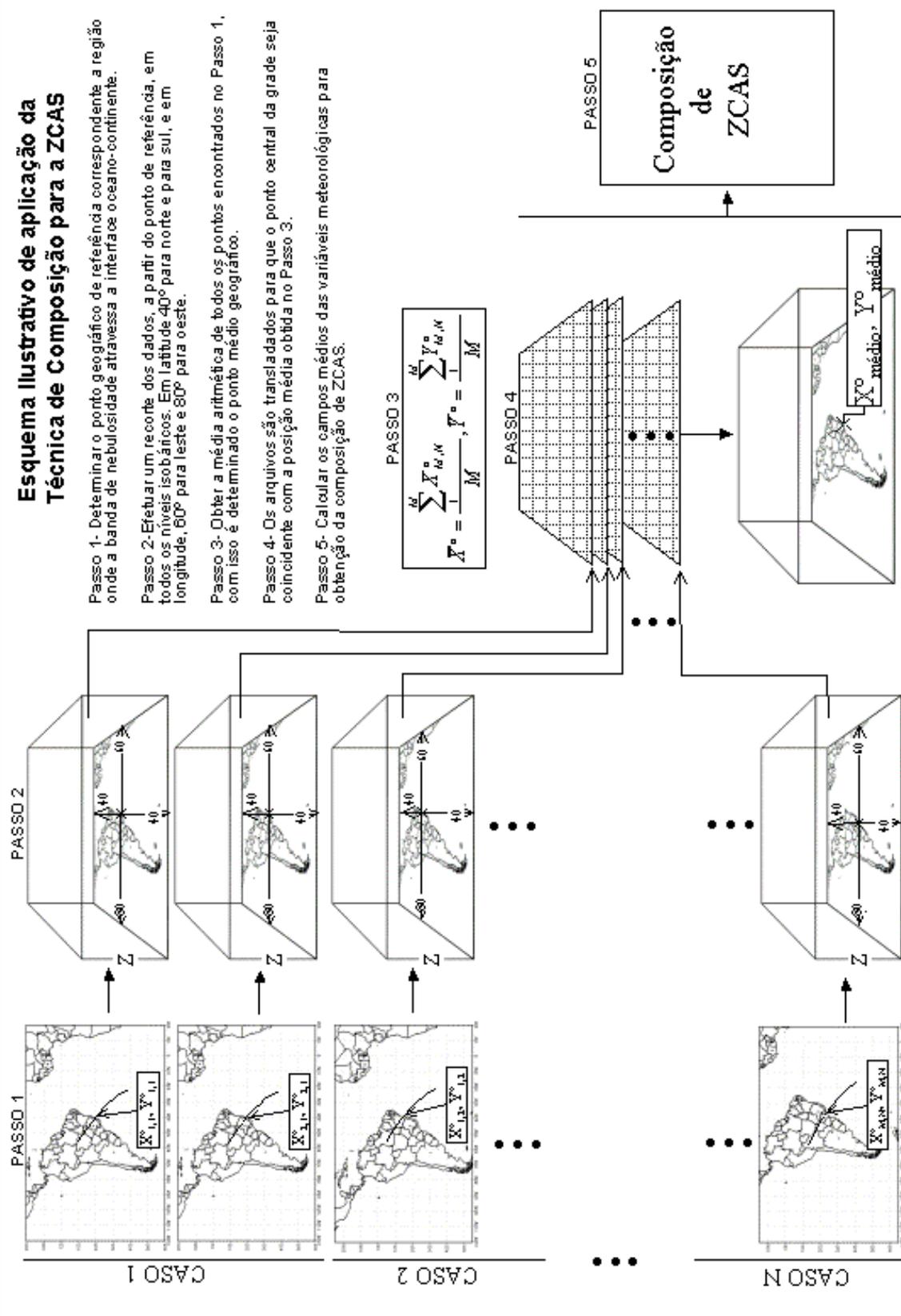


Figura 3.2: Esquema ilustrativo da aplicação da técnica de composição em casos de ZCAS.

3.3 TESTE DE SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA TIPO *T* DE STUDENT

Na análise comparativa entre compostos de ZCAS para anos cujos fenômenos EN e LN, estavam em atividade, torna-se necessário a aplicação de um teste de significância estatística tipo *T* de Student. Este teste teve como principal objetivo ressaltar as possíveis diferenças estatisticamente significantes entre os campos compostos de ZCAS.

Foi suposto que as duas composições tenham tamanhos n_1 e n_2 extraídos de populações normais (ou aproximadamente normais) com desvios padrões iguais, isto é, $\sigma_1 = \sigma_2$. Suponha ainda que essas duas amostras tenham médias e desvios padrões dados por \bar{X}_1, \bar{X}_2 e S_1, S_2 respectivamente. Para testar a hipótese de que ambos campos são iguais, isto é, $\mu_1 = \mu_2$, foi utilizado a formulação dada por:

$$T = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (3.5)$$

onde:

T - distribuição de Student

\bar{X}_1 e \bar{X}_2 - valores médios das amostras

n_1 e n_2 - número de casos de ZCAS para anos de EN ou LN ou meses para o cálculo da climatologia.

σ - é o desvio padrão dado por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (3.6)$$

S_1 e S_2 - variância das amostras

O número de graus de liberdade ν , é dado por:

$$\nu = n_1 + n_2 - 2 \quad (3.7)$$

O parâmetro T foi computado para cada ponto de grade e foram plotadas as regiões que não foram rejeitadas para o nível de confiança de 90%.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados todos os casos de ZCAS identificados dentro do período de estudo. Além disso, com o intuito de se destacar a importância da composição de campos, apresenta-se uma discussão sucinta sobre as diferenças entre o campo composto de ROLE em situações de ZCAS e o mesmo campo não composto.

4.1 SELEÇÃO DOS PERÍODOS DE ZCAS

Com base nos parâmetros utilizados para identificação de episódios de ZCAS, explicitados no capítulo 3, apresenta-se na Tabela 4.1 todos os períodos de ocorrência de ZCAS, de Jan/1980 a Fev/2000. Salienta-se que o trabalho enfoca os meses de Dez, Jan e Fev. Não foram levados em consideração casos ocorridos em outros meses, ou contabilizados dias, cujos episódios antecederam o mês de Dez ou sucederam o mês de Fev.

Foram identificados 65 casos de ZCAS, sendo 23 em Dez, 29 em Jan e 13 em Fev, ou seja, aproximadamente uma média 3 episódios por verão, com duração aproximada de 10 dias. Ficou evidente a alta variabilidade temporal dos eventos como por exemplo: verão 1994/1995, cuja duração foi de 21 dias a começar em 01 de Fev e encerrar no dia 21, onde diversos sistemas frontais cooperaram para a manutenção do sistema quasi-estacionário (Revista Climanálise, Fev 1995); verão 1997/1998, onde a ZCAS esteve atuante por apenas 4 dias, no período de 08 a 11 de Dez (Revista Climanálise, Dez 1997). No total foram 677 dias dos 1800 que compreendem o período de estudo, assim, a ZCAS esteve em atividade durante aproximadamente 1/3 do total do período estudado. Essa característica fortalece a hipótese de que a climatologia de verão da América do Sul, seja modulada por essa zona de convergência.

Salienta-se também que na primeira década houve mais episódios de ZCAS que na segunda, que pode estar relacionado com a variabilidade interdecadal da ZCAS (Robertson e Mechoso, 2000).

Tabela 4.1: Períodos de ocorrência de ZCAS entre os anos de 1980 e 2000 para os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro. Quadrados hachurados indicam os períodos de ocorrência de ZCAS

A	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
80	J																																			
80	F																																			
80	D																																			
81	J																																			
81	F																																			
81	D																																			
82	J																																			
82	F																																			
82	D																																			
83	J																																			
83	F																																			
83	D																																			
84	J																																			
84	F																																			
84	D																																			
85	J																																			
85	F																																			
85	D																																			
86	J																																			
86	F																																			
86	D																																			
87	J																																			
87	F																																			
87	D																																			
88	J																																			
88	F																																			
88	D																																			
89	J																																			
89	F																																			
89	D																																			
90	J																																			
90	F																																			

continua...

Tabela 4.1: conclusão.

A	M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
90	D																																				
91	J																																				
91	F																																				
91	D																																				
92	J																																				
92	F																																				
92	D																																				
93	J																																				
93	F																																				
93	D																																				
94	J																																				
94	F																																				
94	D																																				
94	J																																				
95	F																																				
95	D																																				
95	J																																				
96	F																																				
96	D																																				
96	J																																				
97	F																																				
97	D																																				
97	J																																				
98	F																																				
98	D																																				
98	J																																				
99	F																																				
99	D																																				
99	J																																				
00	F																																				

4.1.1 Diferença entre o campo composto e a climatologia de ROLE

Para avaliar as diferenças entre campos compostos e a climatologia em situações de ZCAS, optou-se pela variável ROLE. Essa variável tem sido usada com sucesso para caracterizar as atividades convectivas nos trópicos sendo, portanto adequada para a representação da ZCAS.

Na Figura 4.1.a e b são apresentados o campo climatológico de ROLE para o período de 1980 a 2000, média dos meses Dez, Jan e Fev e o campo dessa mesma variável após a aplicação da técnica de composição, respectivamente.

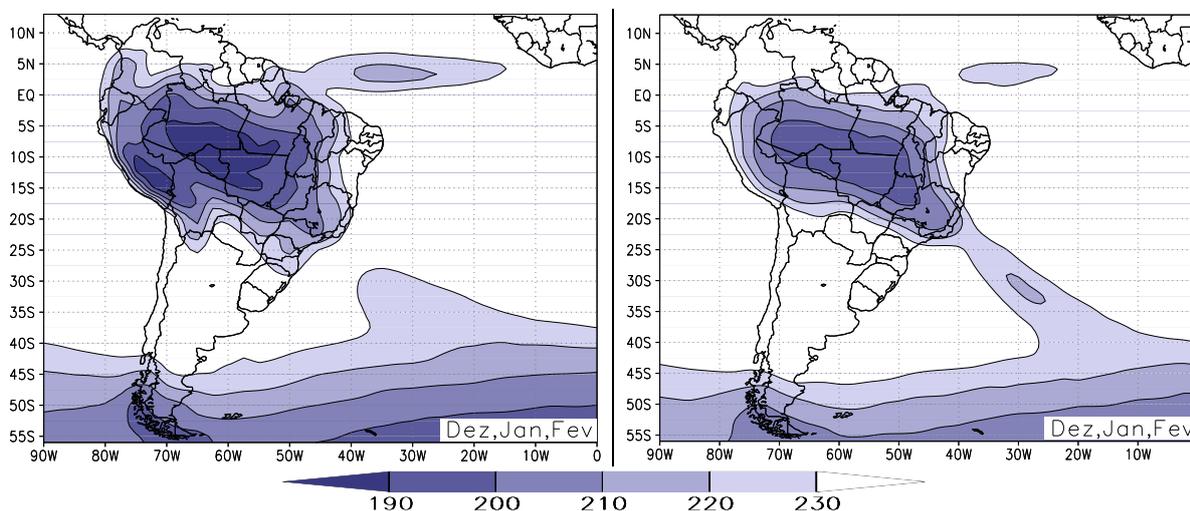


Figura 4.1.a: Campo climatológico de ROLE, período 1980 a 2000 nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Intervalos de 10 W/m^2 .

Figura 4.1.b: Composição de ROLE, para todos os casos de ZCAS ocorridos no período 1980 a 2000 nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Intervalos de 10 W/m^2 .

Dentre as diferenças dos campos apresentados destacam-se: a direção preferencial de NW-SE, da banda de nebulosidade ao longo da ZCAS, é melhor determinada no campo composto; a convecção sobre o continente é mais intensa no campo climatológico. Isto sugere a contribuição de outros fatores, além da ZCAS para a forte convecção observada. Como possibilidades sugere-se a convecção local e a atuação de sistemas frontais não associados à formação de ZCAS; outra característica observada é o prolongamento da convecção na direção da região do Chaco (norte da Argentina) no campo climatológico. É possível que esta

característica esteja associada à formação do JBN, o qual estimula a formação de complexos convectivos de meso. Deve-se destacar que durante os períodos de ZCAS, a formação destes complexos geralmente é inibida (Nogués-Paegle e Mo, 1997).

Com esta análise, verifica-se a necessidade de se aplicar a técnica de composição em casos de ZCAS para assim obter o comportamento atmosférico dominante em um evento ZCAS, filtrando qualquer fenômeno que não esteja diretamente relacionado a este.

4.2 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO DOS CAMPOS

Nesta seção são apresentados os resultados da técnica de composição para os casos de ZCAS determinados durante os meses de Dez, Jan e Fev, para o período de 1980 a 2000. Foram analisadas as seguintes variáveis: ROLE, campo de vento, divergência do fluxo de umidade, e_s , θ_e e A_T em 850 hPa. Em 500 e 250 hPa foram analisados os campos de ϕ e vento e divergência horizontal do vento, este último apenas no nível de 250 hPa. Além disso, apresenta-se uma análise de seções transversais de algumas variáveis. Nos campos em 850 hPa foi inserida uma máscara sobre a Cordilheira dos Andes.

4.2.1 Campo de ROLE

A característica marcante do campo composto de ROLE durante o período de estudo (Figura 4.2), é a presença de uma longa faixa de atividade convectiva orientada na direção NW-SE, estendendo-se da Amazônia até o Oceano Atlântico sudoeste. Observa-se que ela é mais acentuada (valores abaixo de 200 W/m^2) sobre o continente. Além disso, com o passar dos meses, a faixa de atividade convectiva sobre o oceano se desintensifica, chegando a descaracterizar-se. Por outro lado, na parte continental é observada pouca alteração no aumento ou diminuição da atividade convectiva. Provavelmente essa característica está associada a alta umidade oriunda da Amazônia e a convergência dos ventos em baixos níveis. Observa-se também um pequeno deslocamento latitudinal, na direção sul, da banda de nebulosidade ao longo da costa do Brasil durante os meses de verão.

Ao longo da análise dos episódios de ZCAS, notou-se grande variabilidade de posicionamento. Na interface oceano-contidente, observou-se que a banda de nebulosidade ficava preferencialmente quasi-estacionada sobre o sul da Bahia e Espírito Santo. Em Fev foram observados episódios cuja banda estava atuante sobre o sul do Rio de Janeiro e São Paulo. Sobre o Oceano Atlântico equatorial é observada a migração da ZCIT para a Região Nordeste do Brasil e que no mês de Jan (Figura 4.2) interage com a região convectiva da ZCAS. Ferreira et al (2001) sugerem que nos meses de verão, a banda de nuvens convectivas

quasi-estacionária, que atua sobre o Brasil e parte do Oceano Atlântico, apresenta forma de “Y”. No campo composto de Jan, verifica-se que a região de convecção se aproxima a um formato de “Y”.

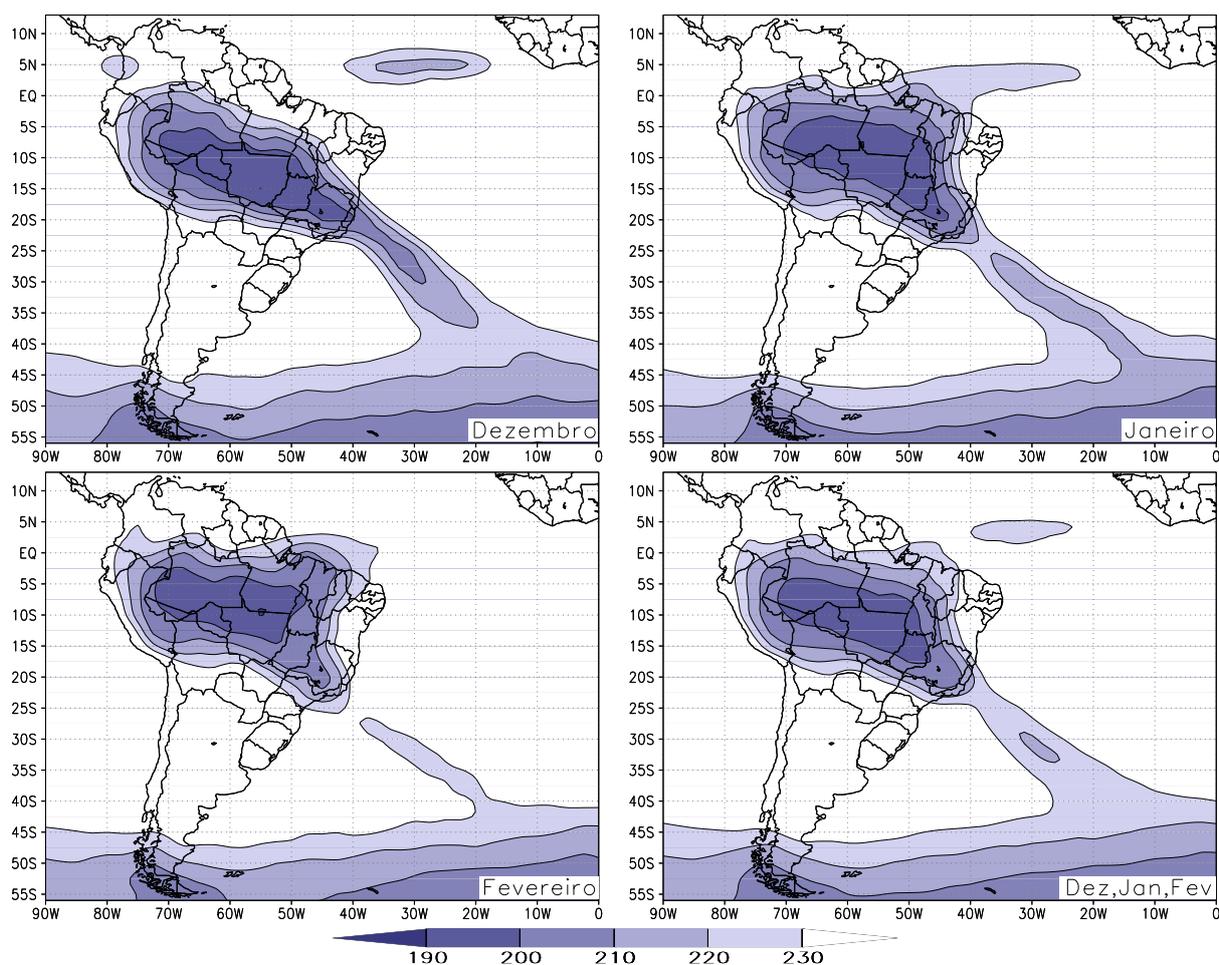


Figura 4.2: Composição de radiação de onda emergente, para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e a média destes três meses. Intervalos de $10 W/m^2$.

4.2.2 Comportamento atmosférico nos baixos níveis

Nos campos compostos de vento e linha de corrente em 850 hPa (Figura 4.3.a), verifica-se ao longo do equador um máximo de magnitude do vento. Na Figura 4.3.b, é mostrada uma secção vertical equatorial da componente meridional do vento (v), média para Dez, Jan e Fev. Nota-se que o máximo ocorre na interface oceano-continente (em torno de

50°W). Gandu e Geisler (1991) verificaram que a topografia está relacionada com esta intensificação dos ventos observada ao longo da faixa equatorial e que na presença da Cordilheira dos Andes, os ventos passam a ter uma componente de sul, determinando o aparecimento do jato em baixos níveis (JBN).

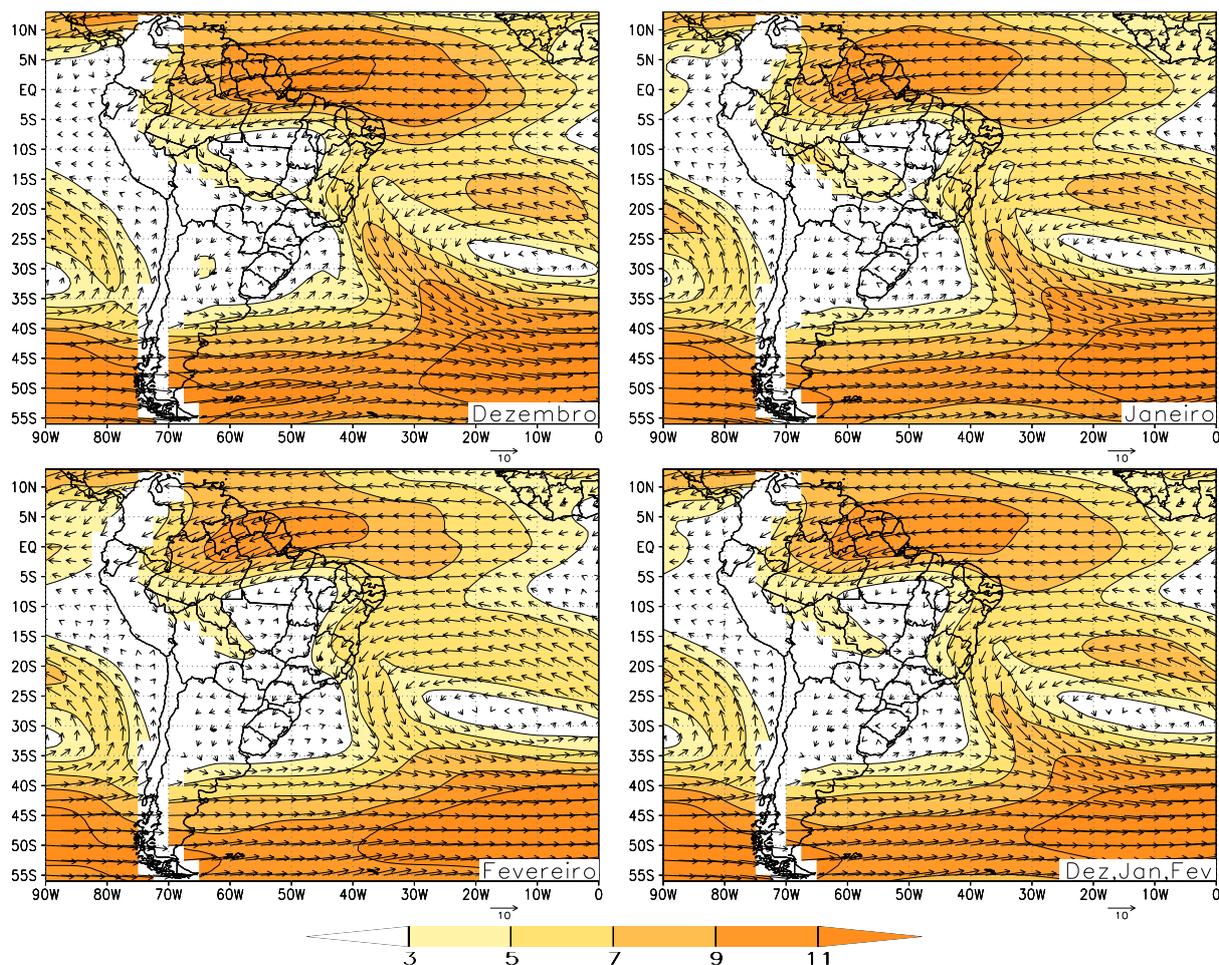


Figura 4.3.a: Como na Figura 4.2, mas para circulação e magnitude do vento em 850 hPa. Intervalos para a magnitude do vento de 2 m/s.

Nogués-Paegle e Mo (1997) propuseram que a fase úmida sobre o norte da Argentina estaria associada ao fortalecimento do jato em baixos níveis para aquela direção juntamente com a descaracterização da ZCAS e a fase seca estaria associada à intensificação da ZCAS e ao enfraquecimento do jato em baixos níveis para a região ao norte da Argentina. Verifica-se, na Figura 4.3.a, a presença de um núcleo com velocidade de vento relativamente alta sobre o

norte da Bolívia, direcionado para a região da ZCAS. No perfil vertical do vento (Figura 4.3.c), centrado em 65°W e 10°S, nota-se um máximo em 850 hPa. Estas características possivelmente estão relacionadas com o posicionamento do JBN direcionado para a região da ZCAS. Em um contexto mais amplo, este padrão de circulação contribui para a manutenção da alta umidade na região da ZCAS.

Nota-se ainda na Figura 4.3.a, a circulação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) bem definida e um padrão de circulação anticiclônica ao sul do sistema quasi-estacionário.

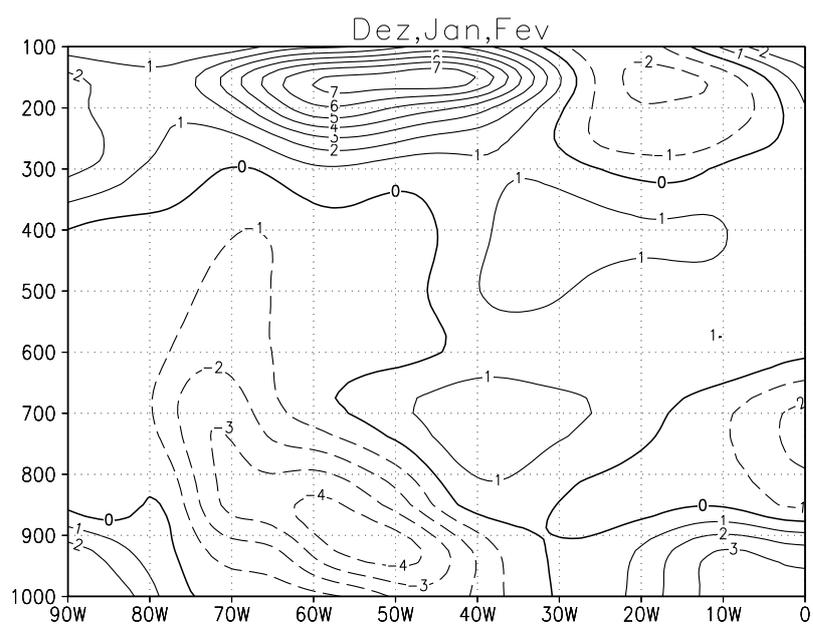


Figura 4.3.b: Seção vertical equatorial da componente meridional do vento, média no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro. Intervalos de 1 m/s.

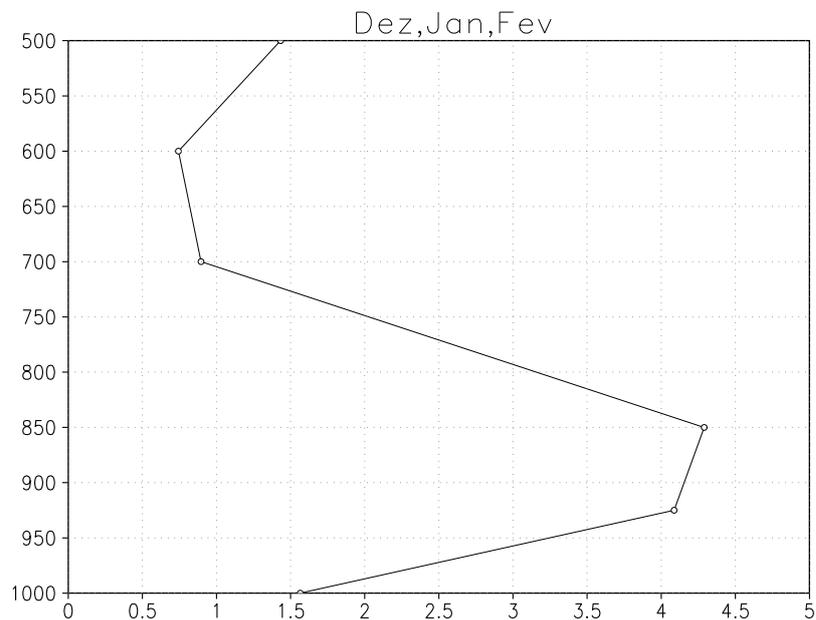


Figura 4.3.c: Perfil vertical do vento centrado em 65°W e 10°S, média no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro. Unidade em m/s.

Na Figura 4.4 observa-se em 850 hPa, uma região de convergência de umidade abrangendo todo o setor de atuação da ZCAS. Nota-se que essa variável apresenta um padrão irregular sobre o continente, com núcleos de maior e menor convergência. Isto sugere a influência da topografia e efeitos locais na modulação de regiões de maior concentração de umidade. Sobre o oceano, o comportamento é mais homogêneo, embora nas regiões de maior confluência dos ventos também existe a presença de núcleos. Verifica-se também na Figura 4.4, possíveis problemas nos dados do NCEP/NCAR, principalmente na região da Cordilheira do Andes, entre 10° e 35°S, onde a convergência de umidade é bem mais acentuada do que o esperado.

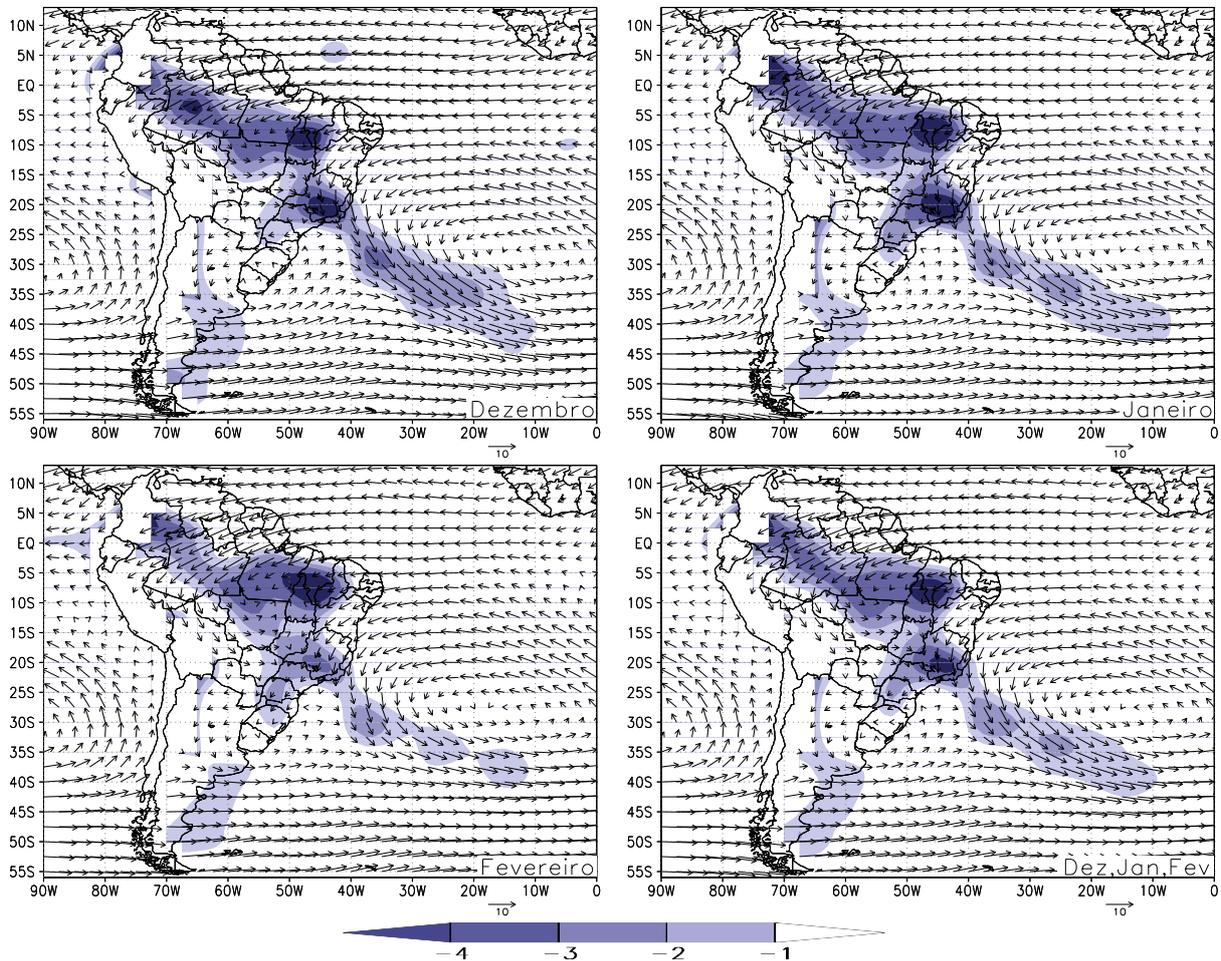


Figura 4.4: Como na Figura 4.2, mas para divergência de umidade e vetor vento em 850 hPa. Intervalos para divergência de umidade $10^{-8} \text{ g/kg} \cdot \text{s}^{-1}$. Unidade para vetor vento m/s.

Nos campos de e_s e θ_e (Figuras 4.5 e 4.6), verifica-se um forte gradiente ao sul da banda de nebulosidade. Kodama (1992) salienta que em todas as zonas de convergência observadas, existe este contraste de umidade no lado polar. Isto evidencia uma separação entre duas massas de ar distintas: uma úmida ao longo da banda de nebulosidade e outra seca ao sul.

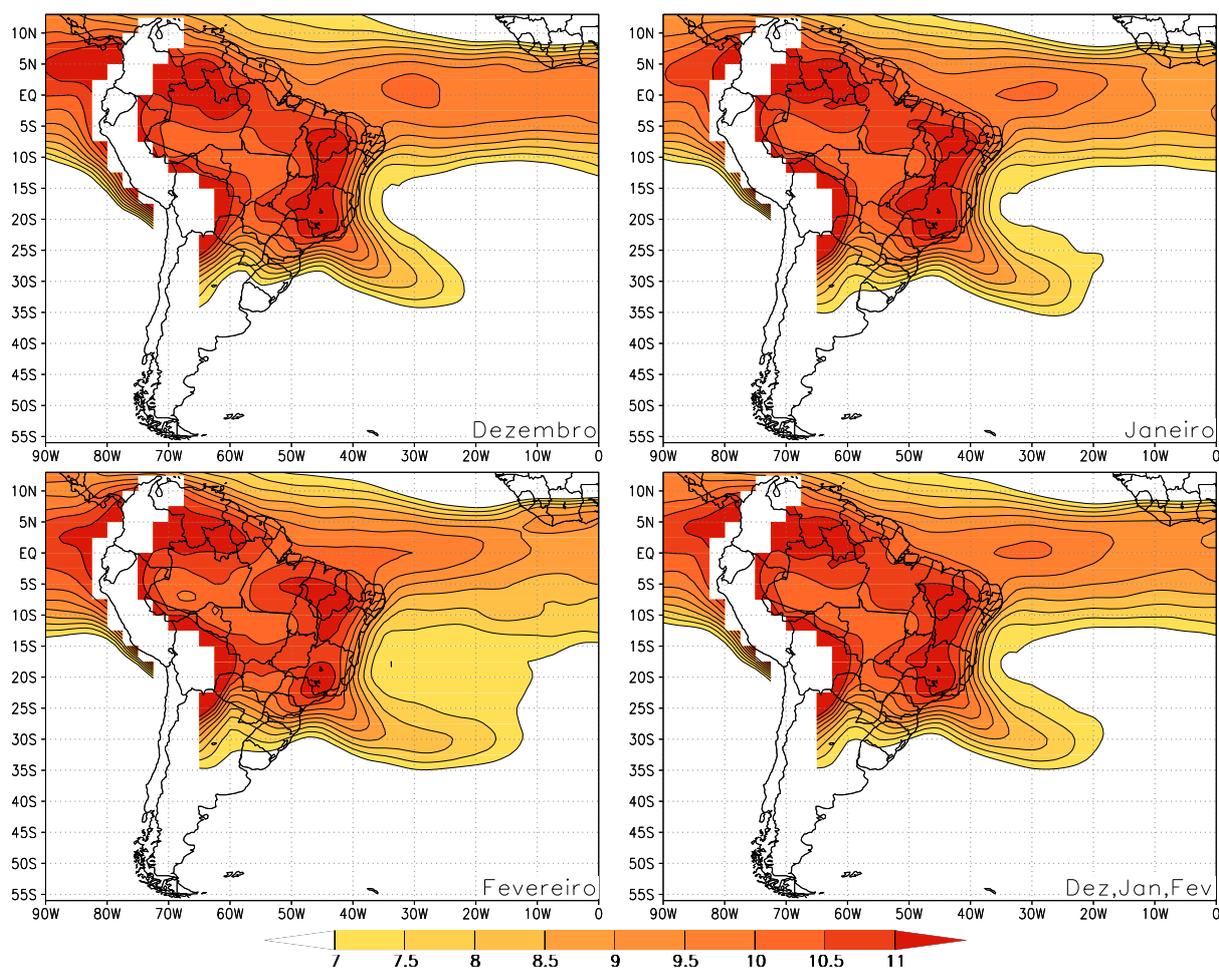


Figura 4.5: Como na Figura 4.2, mas para umidade específica em 850 hPa. Intervalos de $0,5 \cdot 10^{-3} \cdot \text{kg/kg}$.

O campo de A_T em 850 hPa (Figura 4.7) mostra uma alta concentração de umidade no ramo oceânico da ZCAS. Kodama (1992) salientou que essa região possui instabilidade convectiva pelo aumento em baixos níveis de temperatura potencial, gerando assim uma região baroclínica. Na parte continental, o campo de advecção térmica não apresenta essa característica. Desta forma, a circulação local associada à topografia e alta umidade oriunda da Amazônia, estariam relacionadas a uma outra dinâmica. Outro fato observado é a possível propagação de uma onda desde o sul da América do Sul Karoli (1989) propôs que há uma tendência, a lado leste da Cordilheira dos Andes, de propagação de ondas para norte.

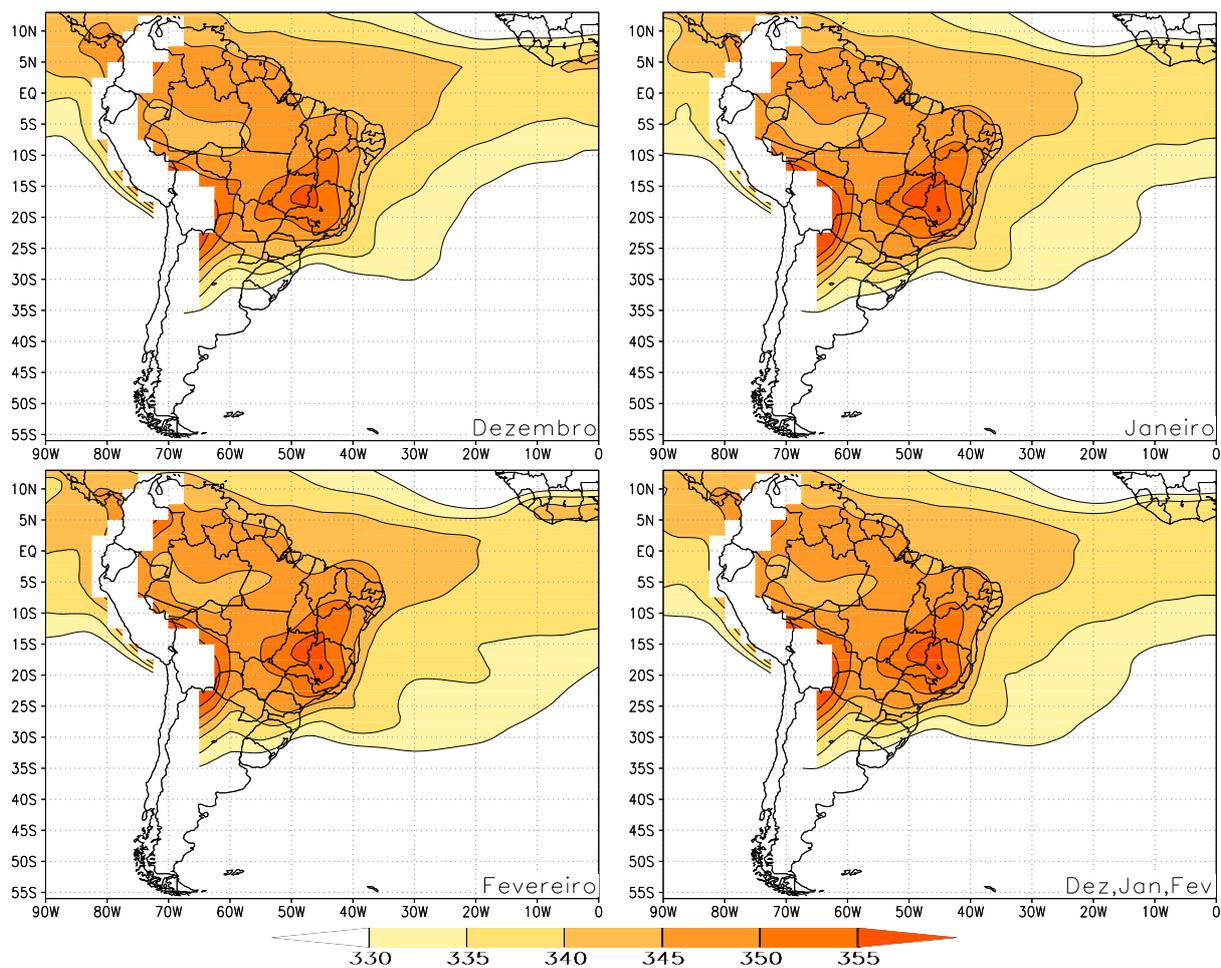


Figura 4.6: Como na Figura 4.2, mas para temperatura potencial equivalente em 850 hPa. Intervalos de 5°K.

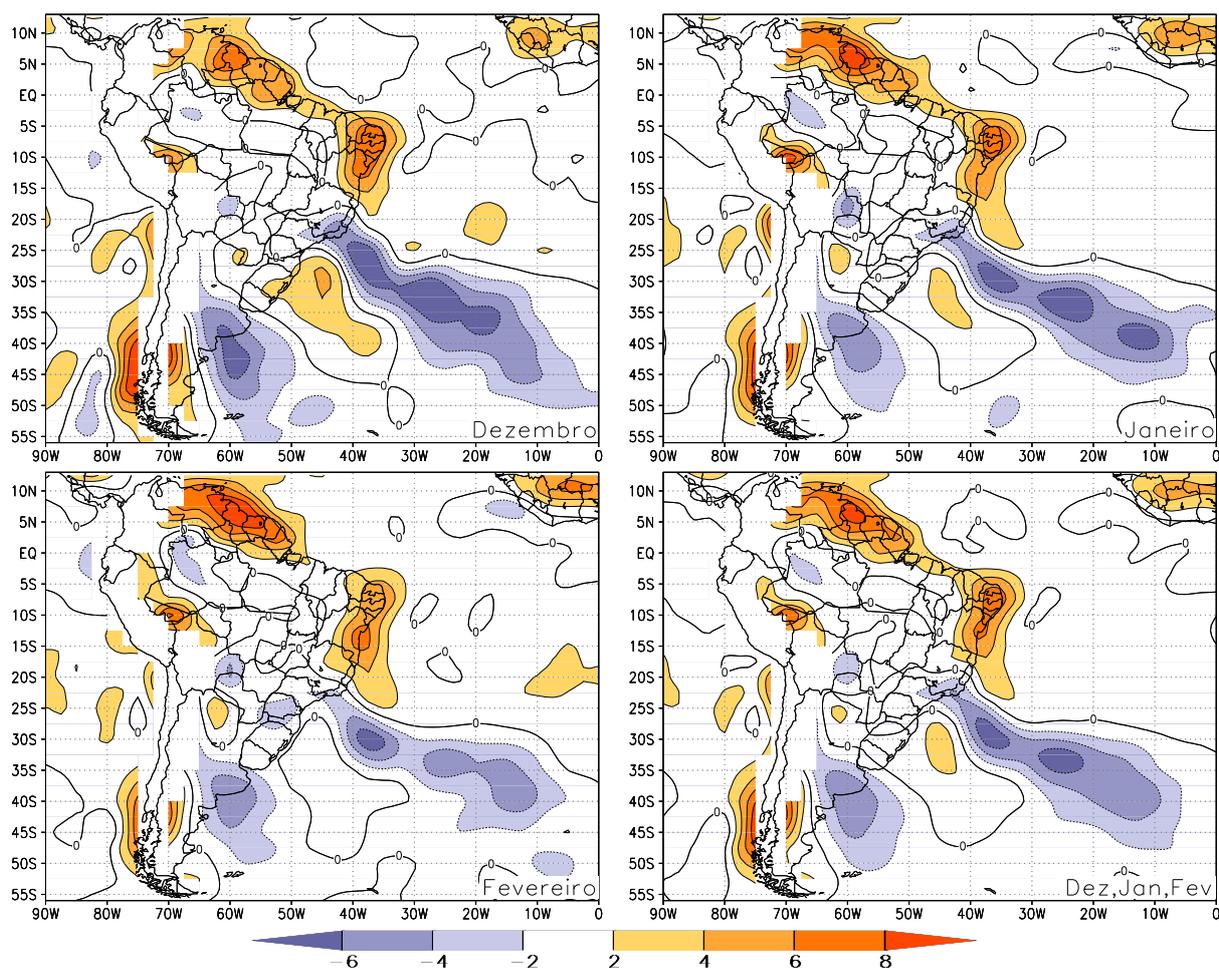


Figura 4.7: Como na Figura 4.2, mas para advecção de temperatura potencial equivalente em 850 hPa. Intervalos de 2 K/dia.

Uma característica verificada numa situação de ZCAS é a subsidência estabelecida ao sul do sistema quasi-estacionário. Nogués-Paegle e Mo (1997) mostraram que geralmente a formação da ZCAS é caracterizada por um déficit de precipitação ao sul da mesma. Casarim e Kousky (1986), através de mapas de correlação de ROLE, também mostraram este fato. No campo de ω (Figura 4.8), observa-se essa característica em grande parte da Região Sul do País. Vale salientar que na maioria dos casos selecionados por Casarim e Kousky (1986), como períodos de estiagem na Região Sul do Brasil, correspondem a situações de formação de ZCAS utilizadas neste trabalho.

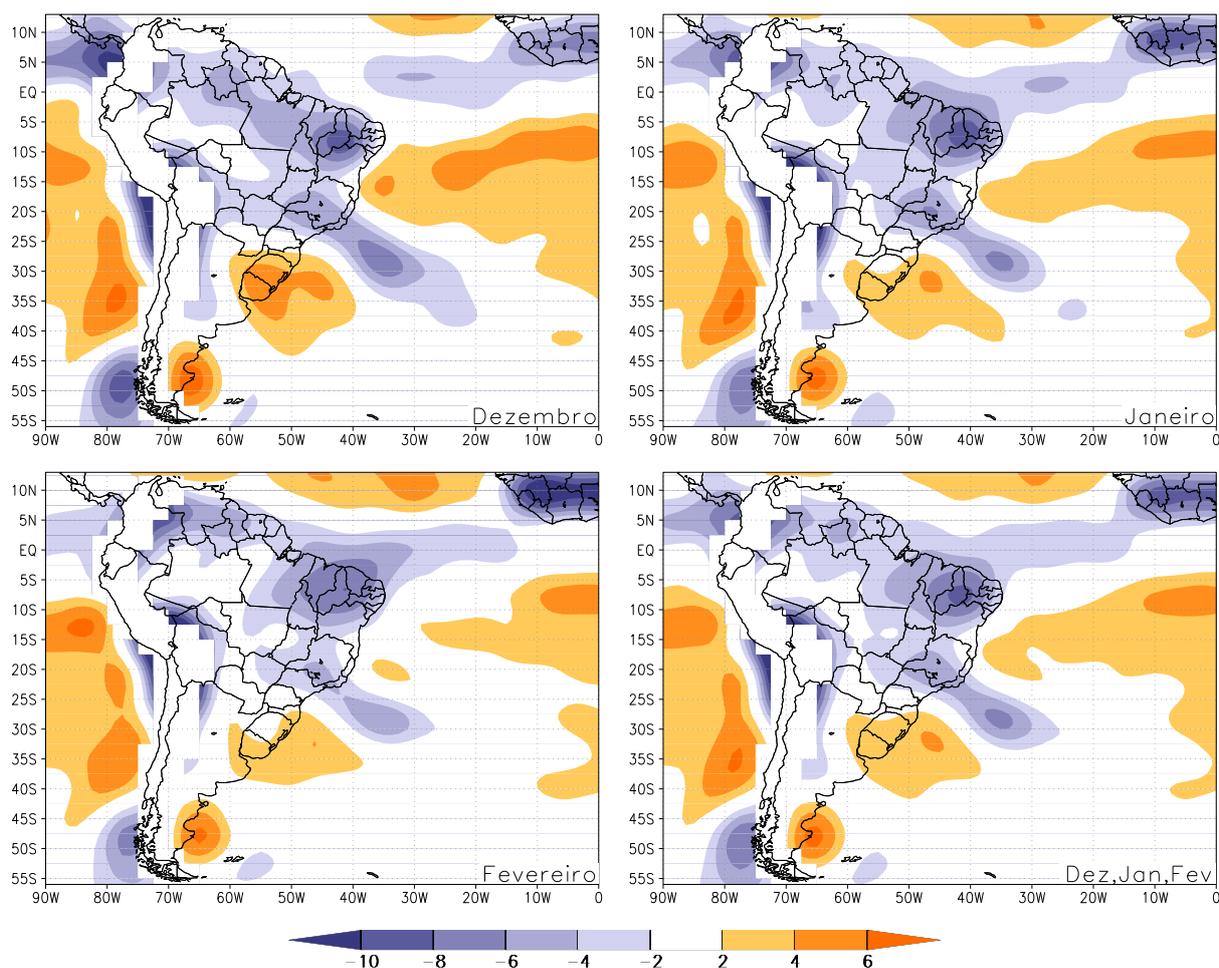


Figura 4.8: Como na Figura 4.2, mas para velocidade vertical em coordenadas p , para o nível de 850 hPa. Intervalos de $2 \cdot 10^{-3} \text{ hPa/s}$.

4.2.3 Comportamento atmosférico nos médios e altos níveis

No campo de linha de corrente em 500 hPa (Figura 4.9), nota-se a presença de um cavado pronunciado a leste dos Andes. Satyamurty et al. (1979), a partir de um modelo barotrópico, sugeriram que esse tipo de cavado poderia estar associado a uma intensificação da convecção a leste do mesmo. Gandu e Silva Dias (1998) propuseram que este cavado poderia estar relacionado a resposta do aquecimento estacionário no continente associado a ZCAS, o qual estaria cooperando para a manutenção da atividade convectiva. Quadro (1994) mostrou que há uma possível associação entre o estabelecimento do cavado quasi-estacionário e a intensificação da ZCAS.

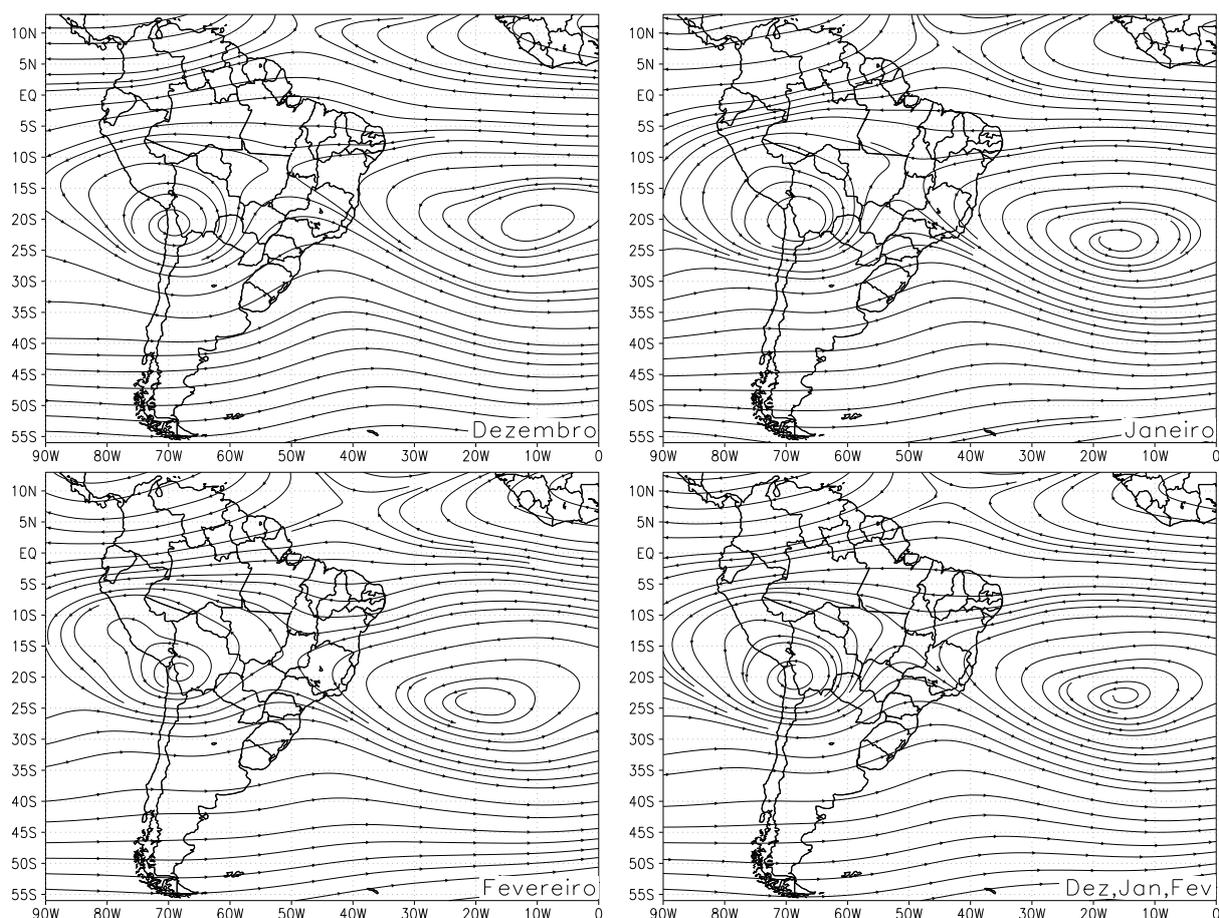


Figura 4.9: Como na Figura 4.2, mas para linha de corrente em 500 hPa.

Em 500 hPa, nota-se a presença da AB associada a forte atividade convectiva e a ASAS. Este padrão de circulação, AB, cavado de latitudes médias, ASAS e a distribuição da A_T em 850 hPa (Figura 4.7), sugerem a existência de 2 diferentes suportes dinâmicos para a ZCAS: a) Sobre o continente a atividade convectiva estaria associada a divergência nos altos níveis, induzida pela AB e o cavado sobre a Região Nordeste do Brasil (Figura 4.10). Nessa situação observa-se convergência nos baixos níveis, como verificado na Figura 4.4; b) Sobre o oceano a AB não atua diretamente, desta forma, o cavado sobre o Brasil Central seria o mecanismo dinâmico que manteria a atividade convectiva.

Em 250 hPa (Figura 4.10), esse padrão de circulação (AB, cavado sobre o Brasil Central e ASAS) é substituído pelo sistema AB e Vórtice do Nordeste. Nota-se também que no campo composto para os meses de Dez, Jan, Fev e na média para o trimestre, é verificado um cavado alongado a leste da Região Nordeste do Brasil, denotando que a aplicação da

técnica de composição em casos de ZCAS, suaviza a visualização de um vórtice sobre o Nordeste do Brasil. Lenters e Cook (1997) e Gandu e Silva Dias (1998) mostraram que há uma influência remota oriunda da África para a formação do cavado e que a atividade convectiva da ZCAS amplifica a onda do cavado, determinando a formação do vórtice.

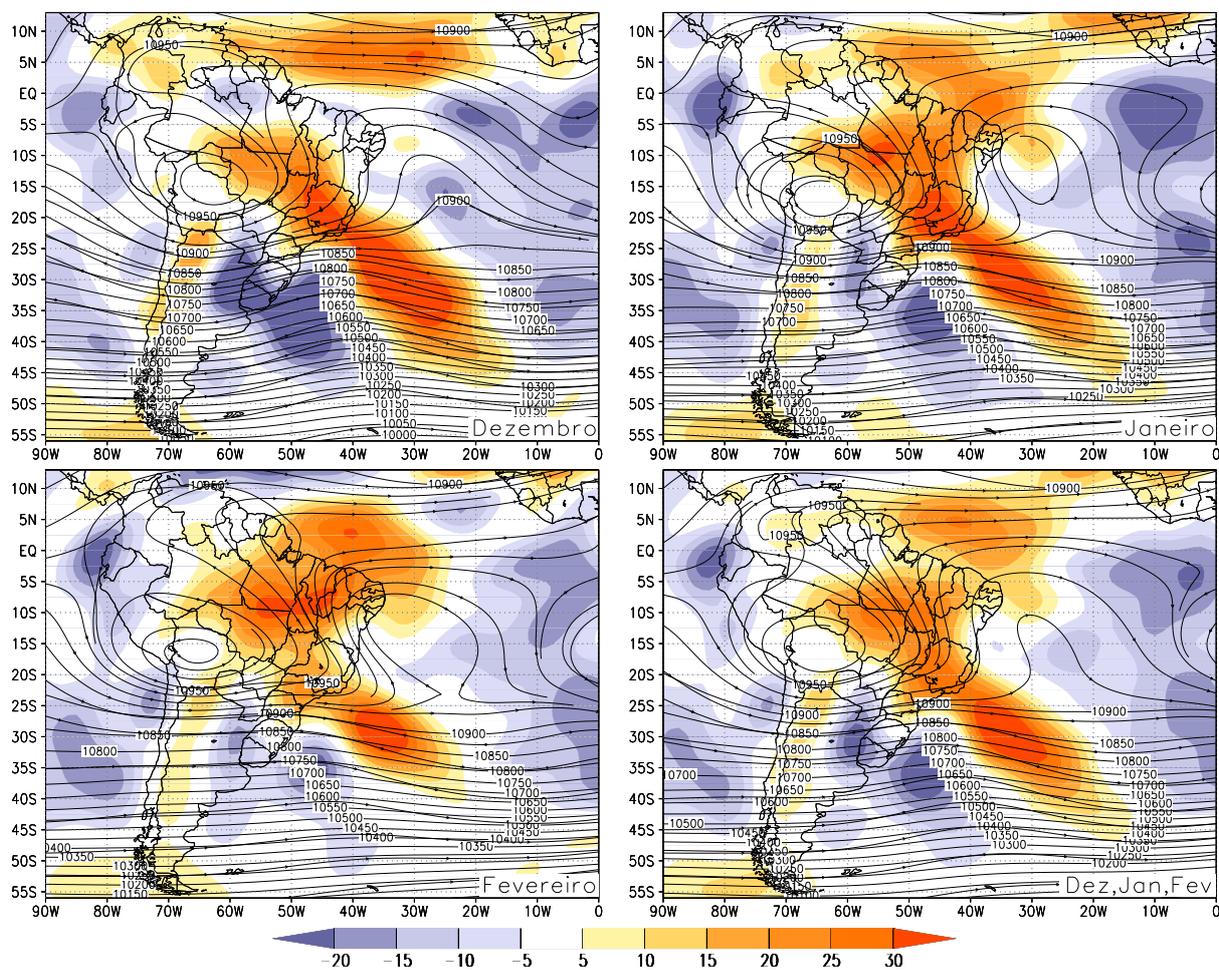


Figura 4.10: Como na Figura 4.2, mas para altura geopotencial, linha de corrente e divergência do vento horizontal, em 250 hPa. Intervalos para altura geopotencial 50 mgp e divergência do vento horizontal $5 \cdot 10^{-6} \text{s}^{-1}$.

4.2.4 Secções verticais

Para melhor entendimento da variabilidade espacial e da estrutura atmosférica em situações de ZCAS, foram realizadas secções verticais, conforme mostrado na Figura 4.11. Os segmentos A-B e C-D, respectivamente sobre o oceano e continente, propiciam analisar o comportamento da ZCAS ao sul, norte e sobre a banda de nebulosidade. O segmento E-F tem como objetivo diagnosticar as diferenças de comportamento da ZCAS no continente e oceano. Salienta-se que este último segmento se encontra sobre a região média da banda de nebulosidade encontrada a partir da aplicação da técnica, bem como os pontos de intersecção entre as retas A-B e C-D.

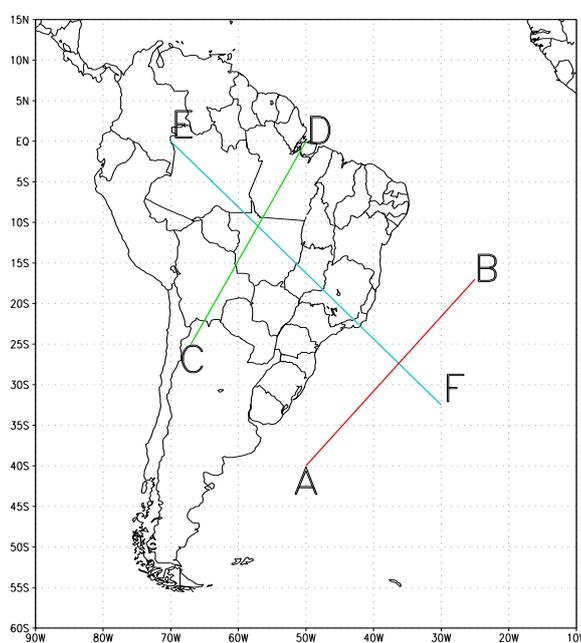


Figura 4.11: Segmentos usados para secções verticais. O segmento A-B e C-D, sobre o oceano e continente respectivamente, o segmento E-F ao longo da ZCAS. Os pontos de intersecção entre as retas indicam a região do posicionamento médio encontrado a partir da aplicação da técnica de composição na ZCAS.

Para o segmento C-D foram desconsiderados os resultados próximos ao ponto C. Isto se justifica, porque a Cordilheira dos Andes influencia diretamente os dados da reanálise do NCEP/NCAR, gerando resultados inconsistentes tanto sobre a montanha quanto a sotavento da mesma. Entre os paralelos 62° e 54°W, abaixo do nível de 950 hPa, também ocorre extrapolação, devido a presença de topografia na região do planalto brasileiro e a falta de

estações meteorológicas (Bonnati, 2001, comunicação pessoal). Uma linha representativa da topografia foi adicionada em todos os campos.

Nas Figuras 4.12 e 4.13 são apresentados os campos de θ_e sobre o oceano e continente, respectivamente. Sobre o oceano observa-se, em torno de 36°W , a região de intersecção das massas de ar seco ao sul e úmida ao norte. Também observa-se na região próximo ao meridiano 33°W , uma subsidência devido à circulação imposta pela ZCAS. Sobre o continente, embora seja verificado pouco contraste de umidade (Figura 4.6), há um sinal da presença da ZCAS em torno do 56°W (Figura 4.13).

A secção vertical feita sobre o oceano, com o campo de convergência horizontal do vento (Figura 4.14), ressalta o padrão típico de convergência/divergência numa situação de ZCAS, isto é, na banda de nebulosidade em torno de 37°W , ocorre convergência até o nível de 800 hPa, e divergência em altos níveis. Por outro lado, um padrão oposto se estabelece no lado equatorial e polar da composição de ZCAS: divergência em baixos níveis e convergência em altos níveis. Kodama (1992) salientou que nas zonas de convergência os valores são em torno de $2 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$. No presente estudo, foram encontrados valores superiores a $3 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ sobre a região da ZCAS. Outro fato observado é a inclinação da região de convergência, em torno de 38°W , indicando a possibilidade de um comportamento baroclínico.

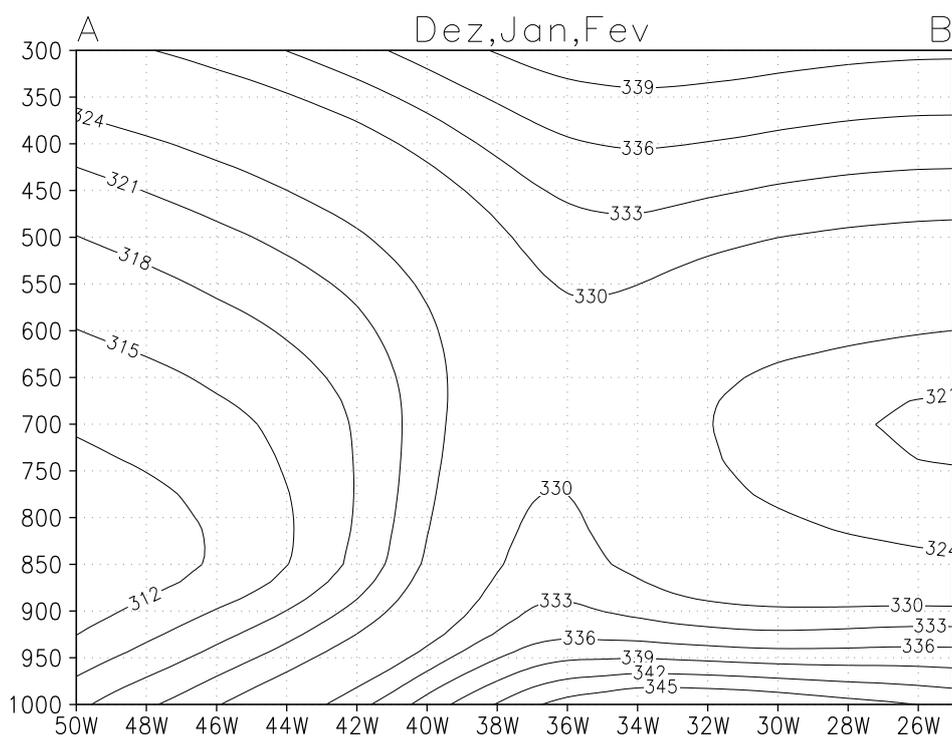


Figura 4.12: Seção vertical de temperatura potencial equivalente, no segmento A-B. Média para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Intervalos de 3°K.

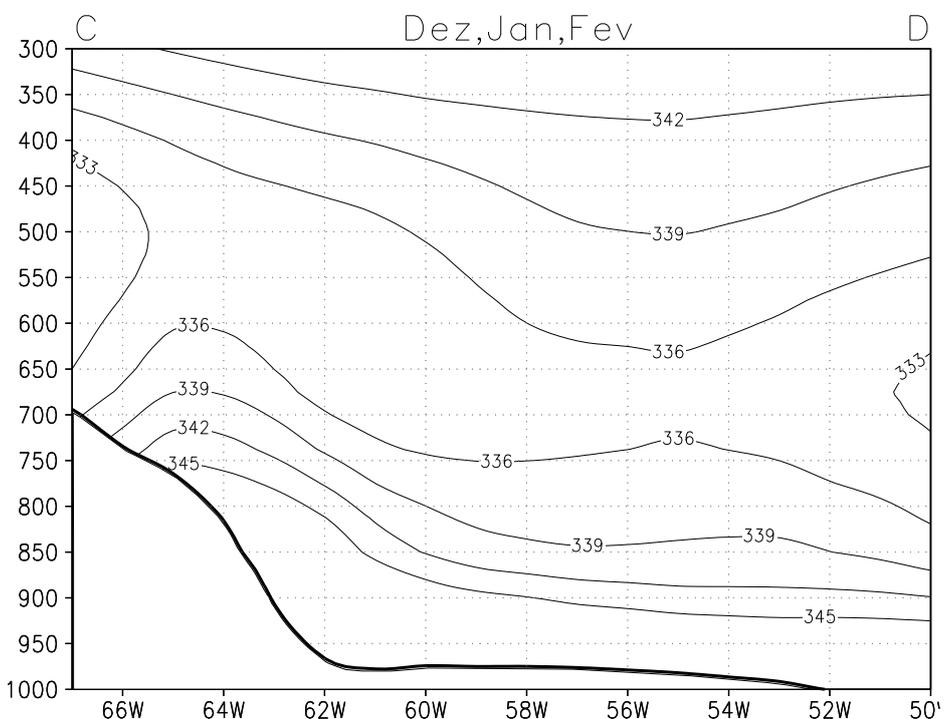


Figura 4.13: Seção vertical de temperatura potencial equivalente, no segmento C-D. Média para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Linha representativa da topografia mais grossa. Intervalos de 3°K.

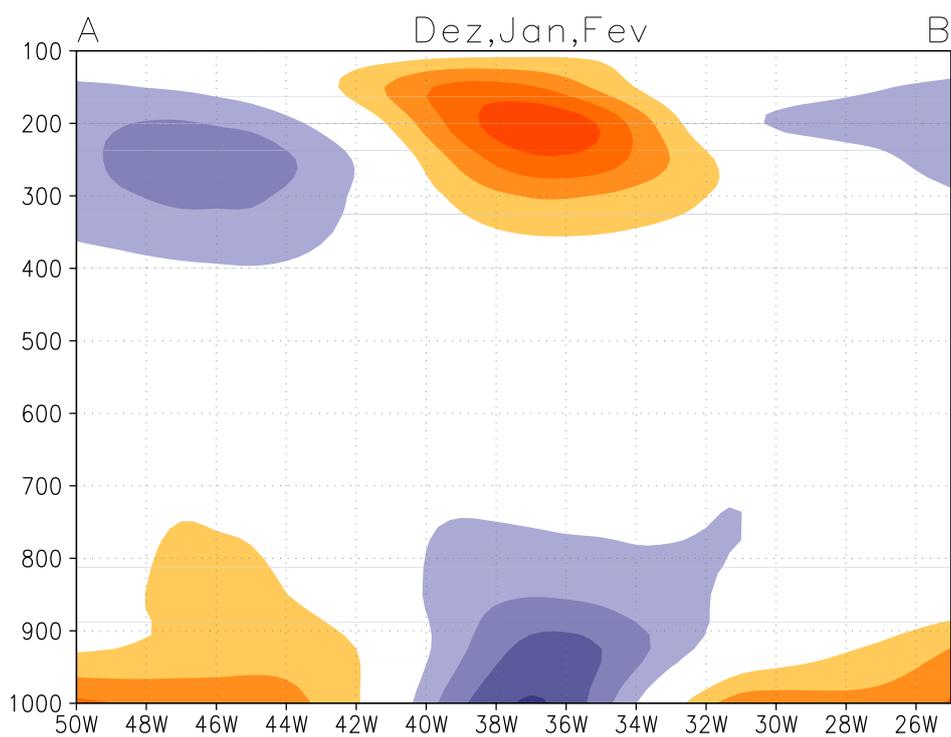


Figura 4.14: Como na Figura 4.12, mas para divergência do vento horizontal. Intervalos $1 \cdot 10^{-6} \text{s}^{-1}$.

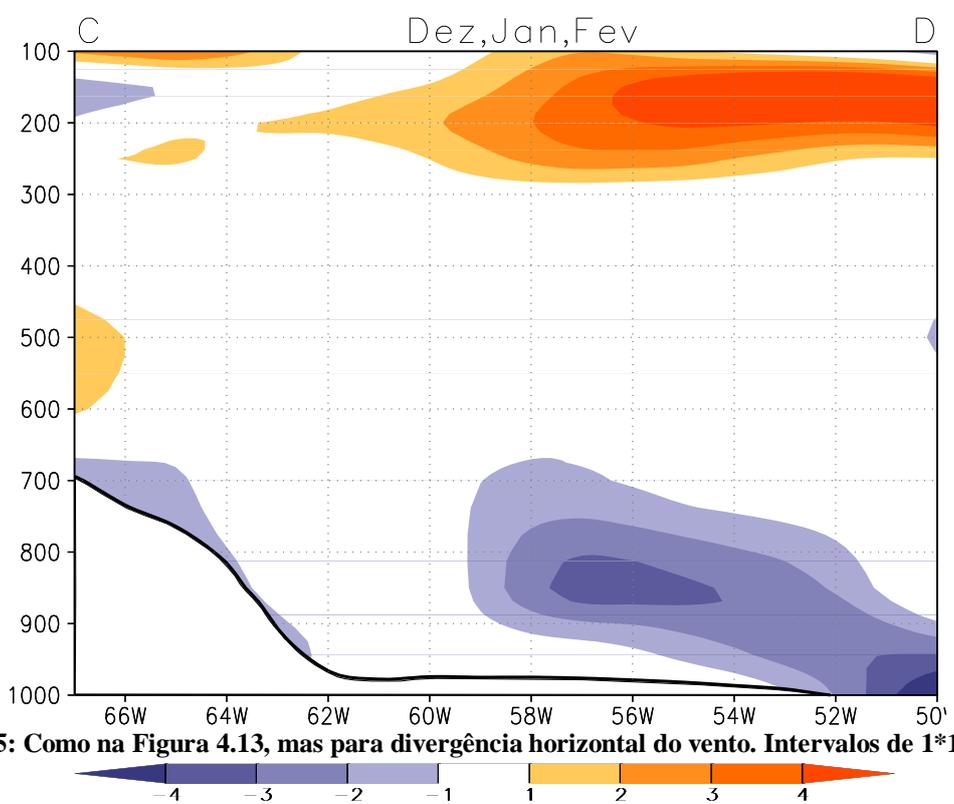


Figura 4.15: Como na Figura 4.13, mas para divergência horizontal do vento. Intervalos de $1 \cdot 10^{-6} \text{s}^{-1}$.

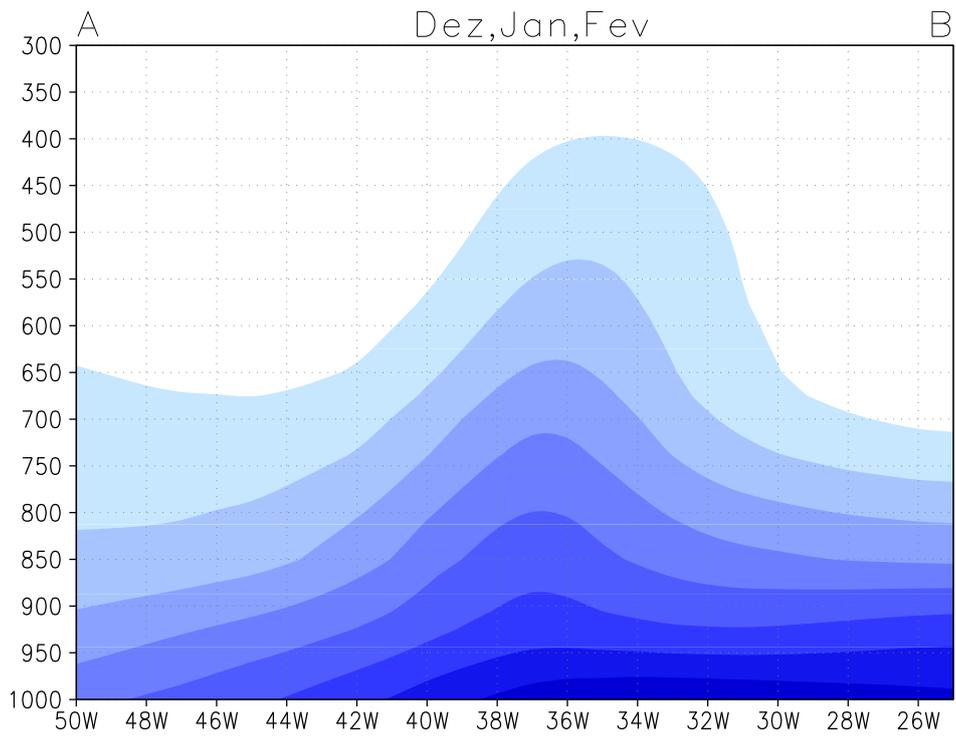


Figura 4.16: Como na Figura 4.12, mas para razão de mistura. Intervalos de $1 \cdot 10^{-3} \text{ g/kg}$.

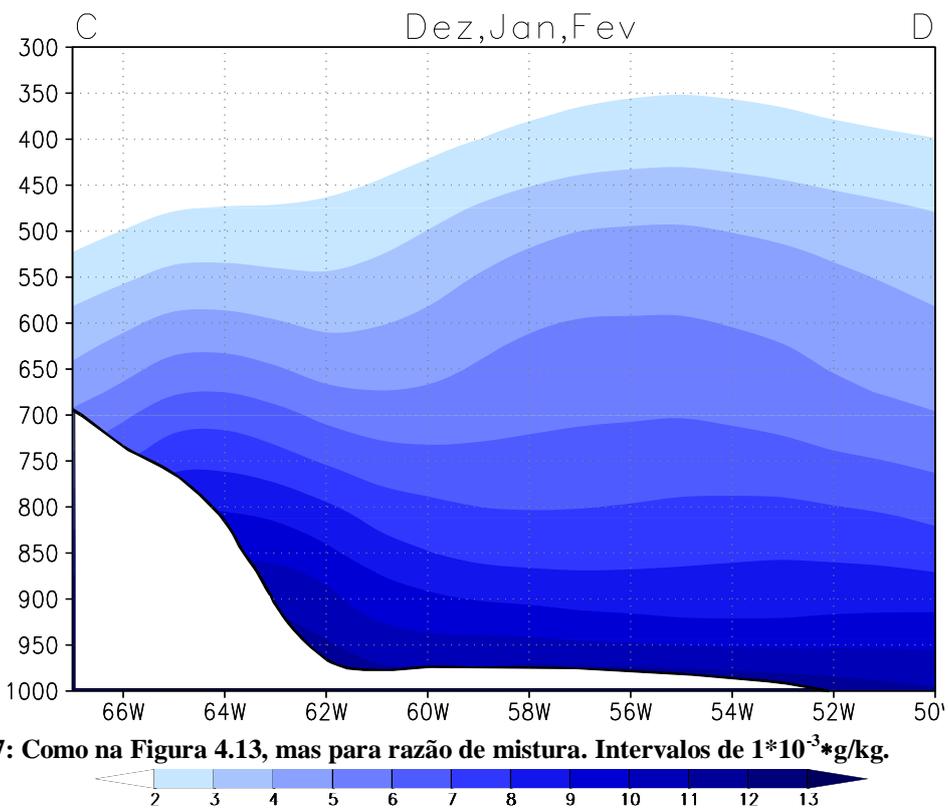


Figura 4.17: Como na Figura 4.13, mas para razão de mistura. Intervalos de $1 \cdot 10^{-3} \text{ g/kg}$.

Sobre o continente, o campo de divergência do vento horizontal (Figura 4.15), mostra a partir do paralelo 58°W, uma região de convergência até aproximadamente 700 hPa, que prossegue até 50°W, onde observa-se convergência até o nível de 900 hPa aproximadamente. Em altos níveis, verifica-se uma região de divergência associada a esta convergência. Este comportamento indica que sobre o continente, a influência de fatores tais como: topografia, efeitos locais e umidade vinda tanto da Amazônia quanto do Oceano Atlântico, exercem um papel relevante no comportamento médio da ZCAS.

Na secção vertical feita para o campo de razão de mistura (r), sobre o oceano (Figura 4.16), verifica-se alta concentração de umidade na região média da ZCAS, isto é, em torno do paralelo 38°W, chegando a níveis próximos de 400 hPa. Kodama (1992) menciona que as zonas de convergência estão associadas à alta concentração de umidade, o que sugere um movimento vertical intenso. Na parte continental (Figura 4.17), observa-se homogeneidade de umidade entre os paralelos 58°W e 50°W, associado a convecção tropical, mas ao sul da banda de nebulosidade se verifica uma diminuição associada possivelmente a subsidência imposta circulação da ZCAS (Nogués-Paegle e Mo, 1997).

A seguir são apresentadas secções verticais realizadas ao longo da ZCAS (E-F), onde foi inserida uma linha representativa da topografia e desconsiderado os resultados abaixo de 900 hPa entre os paralelos 60° e 43°W. O campo de θ_e (Figura 4.18) apresenta dois padrões espaciais distintos: O primeiro, entre 70°W e 50°W, revela que em grande parte da faixa continental, a θ_e possui valores relativamente altos e um comportamento aproximadamente homogêneo, caracterizando o domínio de ar quente e úmido na região. Por outro lado, a partir de 50°W até o sudoeste do Oceano Atlântico Sul, a θ_e varia e gradativamente inclina-se com a altura na direção polar. Este comportamento sugere que o ramo oceânico da ZCAS, há maior instabilidade convectiva que no continente.

No campo de divergência horizontal do vento (Figura 4.19), observa-se que há predomínio de convergência ao longo de toda ZCAS, associada à divergência em altos níveis. Quadro (1994), em seu modelo conceitual de ZCAS, propôs que em baixos níveis, havia convergência de vento e umidade desde a Amazônia até o oceano, e em altos níveis

divergência. Nota-se que na interface oceano-continente, há maior convergência, que poderia estar associado ao efeito da topografia com a circulação dominante.

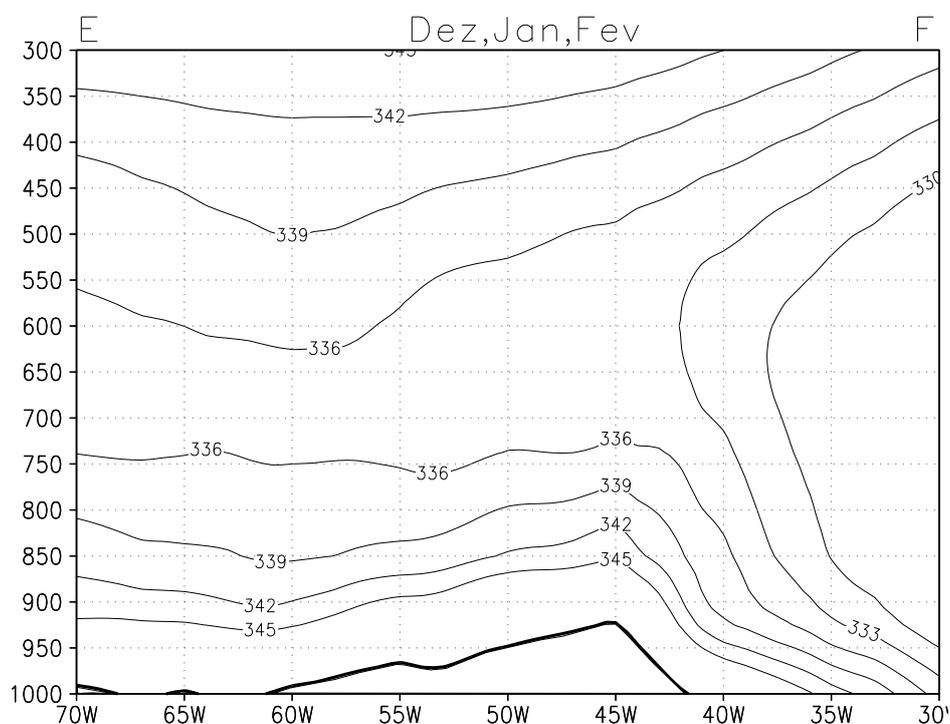


Figura 4.18: Seção vertical de temperatura potencial equivalente, no segmento E-F. Média para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Linha representativa da topografia mais grossa. Intervalos de 3°K.

O campo de ω , ao longo da ZCAS (Figura 4.20), mostra movimento ascendente generalizado em toda a camada. Destaca-se uma região em torno do paralelo 45°W, onde há um forte núcleo de movimentos ascendentes. Essa característica pode estar associada a presença da topografia. Sobre o oceano, também observou-se um núcleo de ω (em torno do paralelo 35°W) que estaria associado a região de confluência dos ventos, mostrado na Figura 4.4.

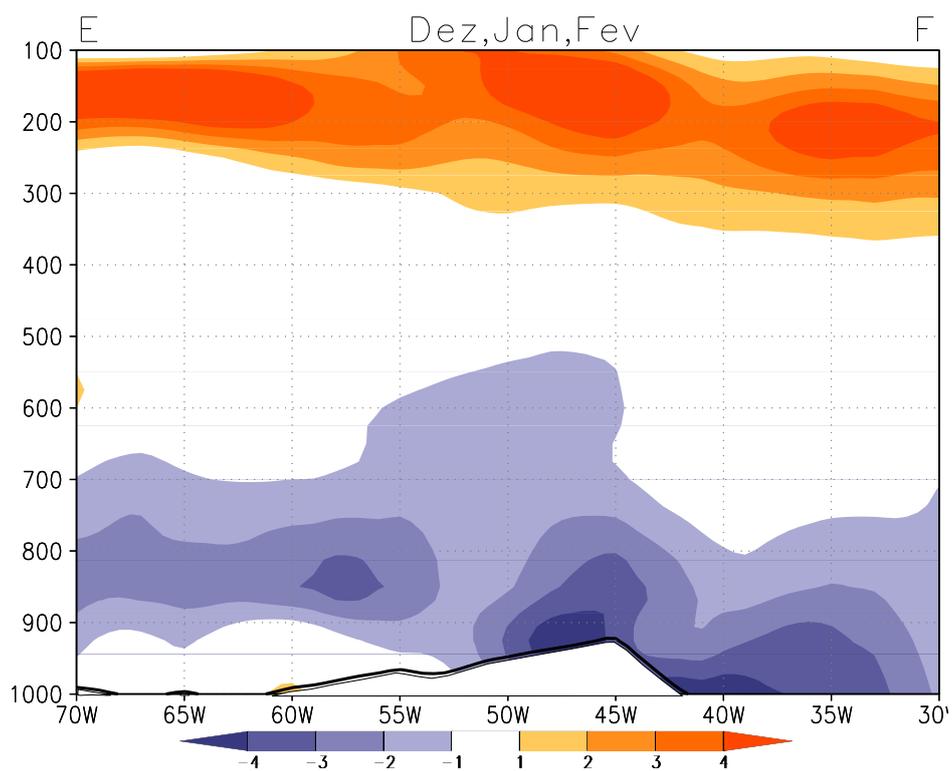


Figura 4.19: Como na Figura 4.18, mas para divergência horizontal do vento. Intervalos de $1 \cdot 10^{-6} \text{s}^{-1}$.

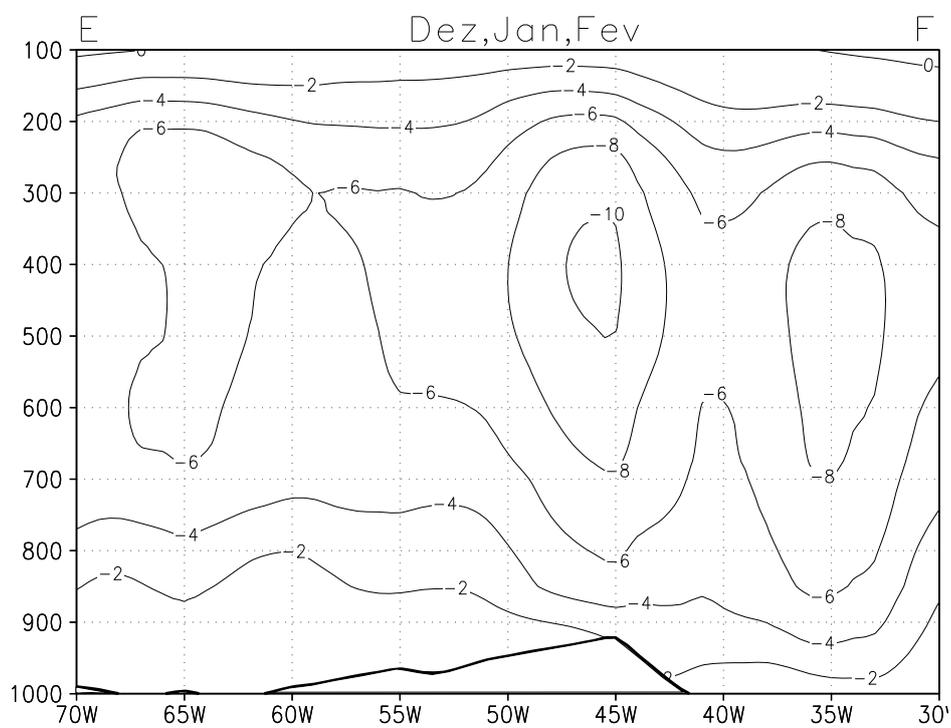


Figura 4.20: Como na Figura 4.18, mas para velocidade vertical em coordenadas de pressão. Intervalos de $2 \cdot 10^{-3} \text{ hPa/s}$.

4.3 COMPOSIÇÃO DE ZCAS EM ANOS DE EL NIÑO E LA NIÑA

Nesta seção são apresentados os resultados da aplicação da técnica de composição em casos de ZCAS durante períodos nos quais os fenômenos EN ou LN estavam em atividade. Testes de significância estatística entre a climatologia e as composições de ZCAS são discutidas com o intuito de se avaliar a representatividade dos resultados.

4.3.1 Discussão sobre as diferenças da composição de ZCAS em anos de El Niño e La Niña

Trenberth (1997), em seu estudo sobre a definição do EN propôs períodos e durações dos fenômenos EN e LN desde 1950 a 1996. Na Tabela 4.2, foram colocados os anos de atividade dos fenômenos EN e LN, bem como anos onde ambos não estavam em atividade. Foi acrescido também o número de casos de ZCAS observados dentro do período de estudo. Para o período de 1997 a 2000, a definição de eventos de EN e LN foram baseados na revista *Climanálise*.

Tabela 4.2: Número de casos de ZCAS ao longo do período de 1980 a 2000, associado a situações de El Niño, La Niña ou normal. FONTE: Trenberth (1997) e revista *Climanálise*.

Anos	Nº de ZCAS	Pacífico	Anos	Nº de ZCAS	Pacífico
1980	3	El Niño	1990-1991	4	Normal
1980-1981	3	Normal	1991-1992	3	El Niño
1981-1982	3	Normal	1992-1993	3	El Niño
1982-1983	3	El Niño	1993-1994	3	Normal
1983-1984	4	Normal	1994-1995	2	El Niño
1984-1985	4	La Niña	1995-1996	5	Normal
1985-1986	3	Normal	1996-1997	2	La Niña
1986-1987	3	El Niño	1997-1998	3	El Niño
1987-1988	3	El Niño	1998-1999	2	La Niña
1988-1989	3	La Niña	1999-2000	5	La Niña
1989-1990	3	Normal			

Analisando-se a Tabela 4.2, verifica-se que foram encontrados 23 casos de ZCAS em 8 períodos de EN, 16 em 5 períodos de LN e 28 casos em anos normais. Na Figura 4.21, foi sumarizado a Tabela 4.2 em forma de um histograma de frequência de episódios de ZCAS em relação à situação do Oceano Pacífico, ou seja, quantos episódios de ZCAS ocorreram, por verão, numa dada situação de Oceano Pacífico. Nota-se que em anos de LN, há uma alta variabilidade de ocorrência de ZCAS, bem como uma tendência de que ocorram 3 episódios em anos de El Niño.

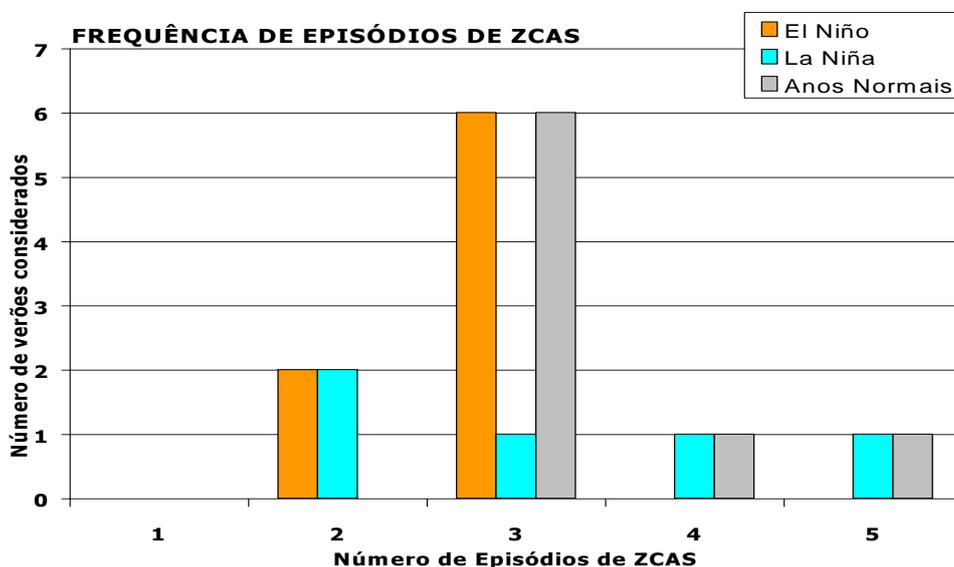


Figura 4.21: Histograma de frequência de episódios de ZCAS no trimestre dezembro, janeiro e fevereiro, em anos El Niño, La Niña e Normal.

Na Figura 4.22, apresenta-se a composição de ROLE para anos de EN. Nota-se na evolução dos meses, que não se verifica uma ocorrência simultânea entre a ZCIT e a banda de convecção da ZCAS. Jones e Horel (1990) propuseram que o EN possivelmente contribua no deslocamento para oeste da Alta da Bolívia e da atividade convectiva. Comparando as Figuras 4.2 e 4.23, estes resultados tornam-se evidentes, isto é, a atividade convectiva sobre o continente sofre um ligeiro deslocamento para oeste e é menos intensa em relação à composição total, exceto pelos núcleos mais ativos. Quadro (1994), também sugere que em anos de EN, há uma desintensificação da convecção sobre a banda de nebulosidade.

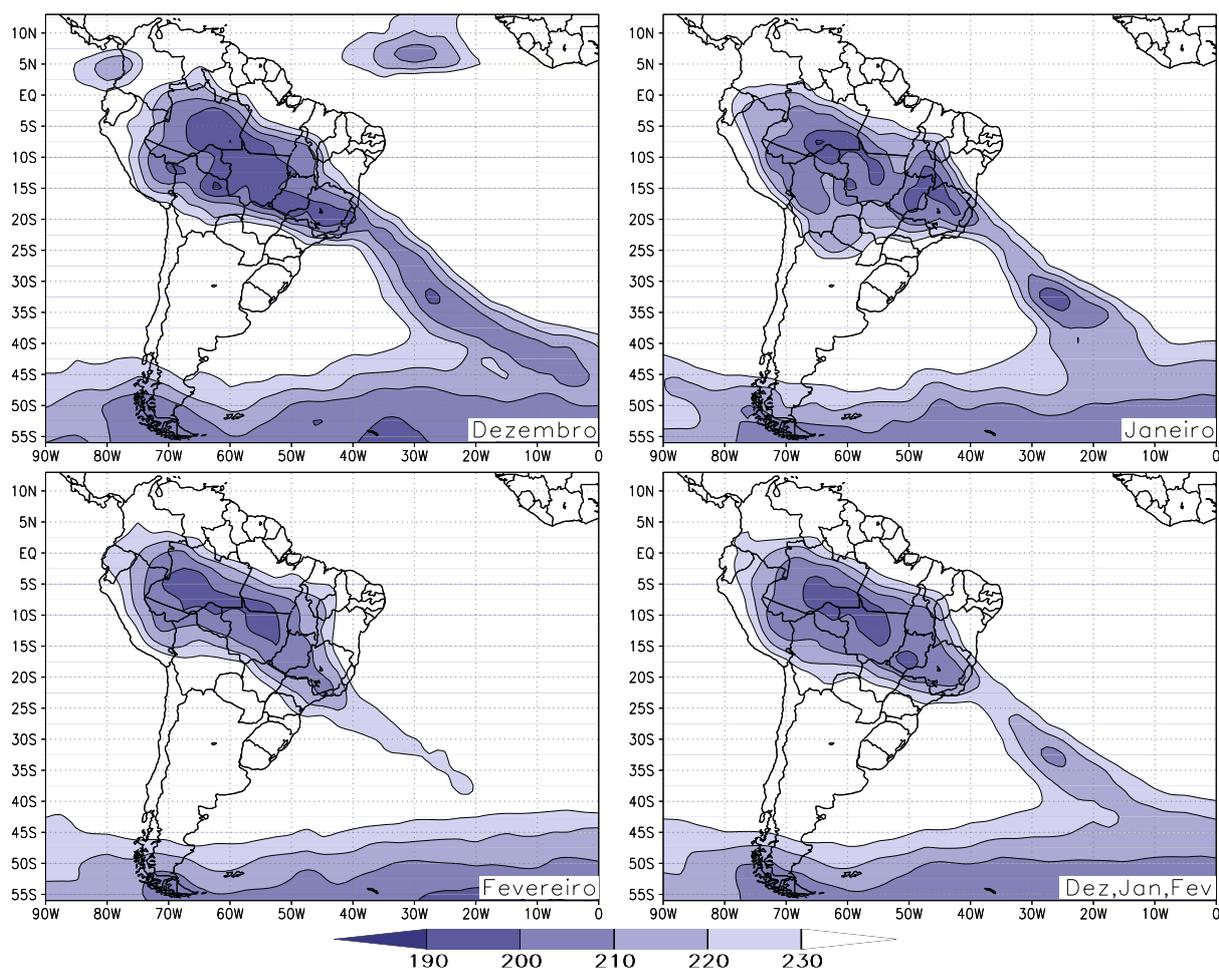


Figura 4.22: Campo de composição de ROLE, em anos de El Niño, para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro e a média trimestral. Intervalo de ROLE de 10 W/m^2 .

Sobre o oceano, nos meses de Dez, Jan e na média trimestral, verifica-se um núcleo mais intenso de ROLE em torno 25°S e 35°W . Esta característica, possivelmente esta relacionada com a maior frequência de transientes associados aos sistemas frontais (Cavalcanti, comunicação pessoal, 2001). Esta situação, possivelmente, está associada à circulação modulada pelo EN, que determina a trajetória de transientes no sentido oeste-leste em latitudes médias. Esse fato inibe a passagem de sistemas frontais para a faixa tropical, o que determina a desintensificação da convecção sobre o continente.

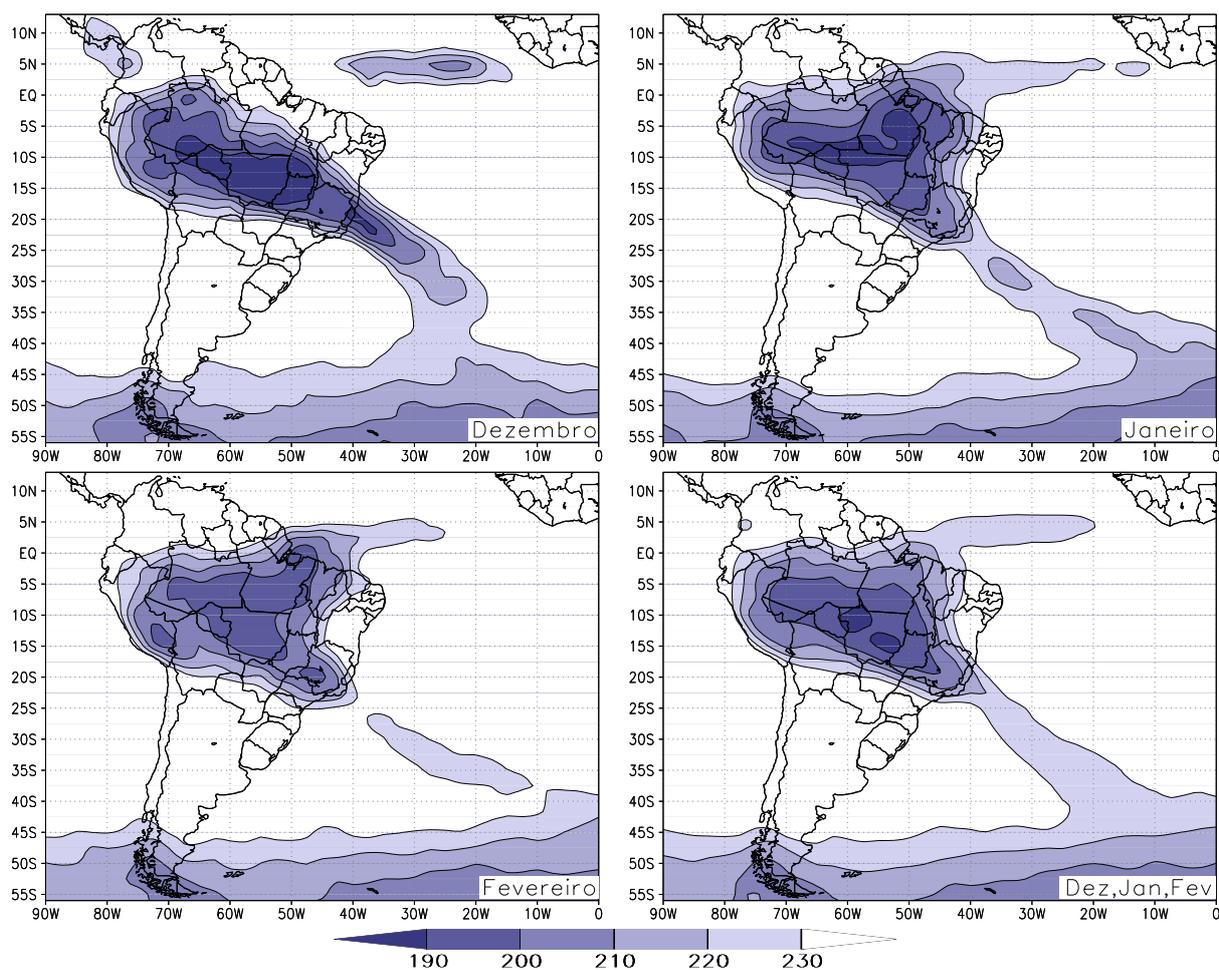


Figura 4.23: Como na Figura 4.22, mas para anos de La Niña. Intervalo de ROLE de 10 W/m^2 .

Analisando a composição de ROLE para anos de LN (Figura 4.23), nota-se a ocorrência simultânea de ZCIT e da ZCAS de forma mais evidente, além da intensificação da convecção com núcleos inferiores a 190 W/m^2 , tanto em relação à composição de todos os anos (Figura 4.2), quanto em relação a anos de EN (Figura 4.22).

Outro fato salientado na média trimestral da Figura 4.23 é a uniformidade da banda de convecção desde o oeste da América do Sul até o Atlântico Sul, não sendo verificado núcleos mais intensos na banda de convecção sobre o oceano, como no caso da composição em anos de EN.

Apesar das diferenças destacadas anteriormente coloca-se a questão: “*Estas diferenças são significativas?*”. Para responder tal questionamento foram realizados testes de significância estatística tipo “*T*” de Student, (já explicado no Capítulo 3), nas composições e na climatologia do período de estudo, cuja hipótese nula se refere à igualdade entre os campos. O parâmetro *T* foi computado para cada ponto de grade e plotado o campo de perturbação sobre as regiões, que não foram rejeitadas para o nível de confiança abaixo de 90%. Na Tabela 4.2 são apresentados os resultados dos testes que foram realizados. Nota-se que foi aplicado o teste entre a climatologia e os fenômenos EN e LN para averiguar se o sinal de uma situação extrema prevalece sobre a média.

Tabela 4.3: Testes de significância estatística realizada nos campos resultantes de composição em anos de El Niño e La Niña e a climatologia

El Niño	X	Climatologia 1980 a 2000
La Niña	X	Climatologia 1980 a 2000
El Niño	X	La Niña

4.3.2 Teste tipo *T* de Student na composição para El Niño e La Niña

No teste estatístico entre EN e a climatologia, (Figura 4.24.a), nota-se que as perturbações de ROLE não possuem significância estatística em toda a extensão da ZCAS. Sobre a região da ZCIT são verificados desvios positivos indicando a influência do EN sobre o posicionamento da ZCIT. Analisando o resultado entre a composição em anos de LN e a climatologia (Figura 4.24.b), nota-se anomalias negativas sobre o oeste do Mato Grosso indicando que a ZCAS, em anos de LN, possui uma atividade convectiva mais pronunciada do que a climatologia. Ao sul da ZCAS, são verificadas anomalias positivas, associadas possivelmente à inibição da convecção devido à circulação da ZCAS acrescida à imposta pela LN sobre esta região.

Na diferença entre os extremos (Figura 4.24.c), fica evidente a atuação do EN no posicionamento da ZCIT, bem como a atividade convectiva em anos de LN sobre a região da ZCAS é mais efetiva que em anos de EN. Na faixa ao sul da posição média da ZCAS,

anomalias negativas indicam que a circulação de grande escala devido à presença do EN, a qual inibe a subsidência imposta pela circulação da ZCAS, é mais efetiva que a circulação em anos de LN, cuja mesma favorece o aumento da subsidência imposta pela banda de nebulosidade.

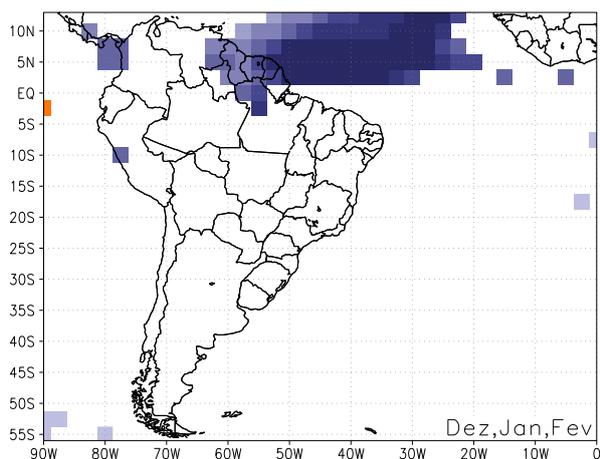


Figura 4.24.a: Campo de anomalia de ROLE (El Niño - Climatologia 1980 a 2000). Regiões sem significância estatística (BRANCO). Unidade de ROLE [W/m^2].

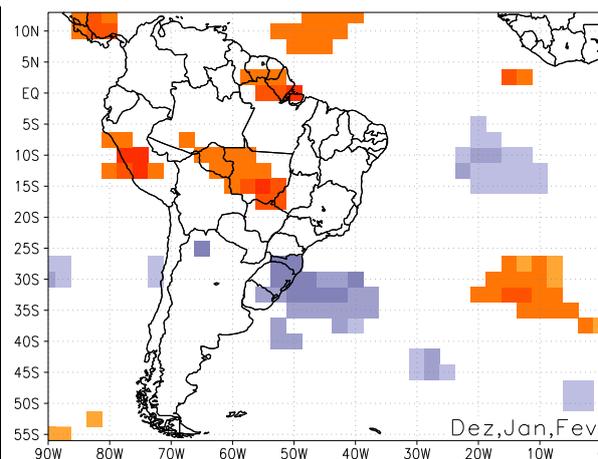


Figura 4.24.b: Campo de anomalia de ROLE (La Niña - Climatologia 1980 a 2000). Regiões sem significância estatística (BRANCO). Unidade de ROLE [W/m^2].

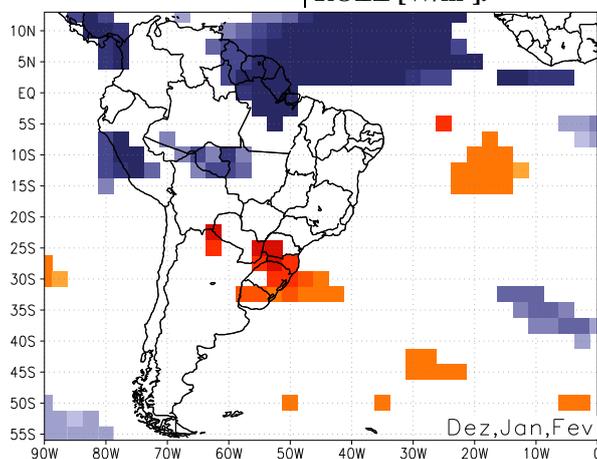
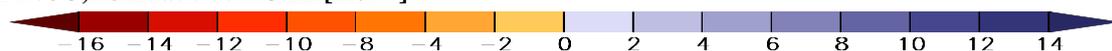


Figura 4.24.c: Campo de anomalia de ROLE (El Niño - La Niña). Regiões sem significância estatística (BRANCO). Unidade de ROLE [W/m^2].



No campo de perturbações da vorticidade relativa em 850 hPa (Figuras 4.25.a e b), verifica-se uma faixa com desvios negativos a oeste do Brasil Central e cobrindo grande parte da Região Sudeste. Esta faixa, em anos de EN, é mais restrita em comparação a anos de LN, indicando que há menor vorticidade ciclônica em anos de EN, propiciando menor convecção como mostrados na Figura 4.24.a. Em anos de LN a extensão da ZCAS está melhor configurada, cobrindo grande parte do oeste brasileiro e estendendo-se para o oceano.

Ao sul da região acima referida, tanto em anos de EN quanto em anos de LN, verifica-se uma faixa com anomalias positivas, possivelmente relacionada a problemas nas análises devido à presença dos Andes. Sobre o centro-sul da Região Sul do Brasil, nota-se desvios positivos que poderiam estar relacionados à subsidência imposta pela circulação da ZCAS, como proposto por Casarim e Kousky (1986) e Paegle e Mo (1997). Salienta-se que no composto para anos de EN, há um núcleo mais intenso, possivelmente associado à circulação imposta pela extensão da ZCAS no oceano, que é mais intensa em anos de EN que em LN.

Verifica-se, ainda na Figura 4.25 a e b, setores ao norte da região de atuação da ZCAS com anomalias positivas, ou seja regiões com menor vorticidade ciclônica em relação à climatologia. Nota-se que em anos de LN, esta região é melhor configurada que em anos de EN. De acordo com Gandu e Silva Dias (1998), a maior subsidência ao norte da ZCAS é verificada quando a atuação da ZCIT é mais efetiva sobre o continente, isto intensifica a circulação de Walker, que agregada à circulação da ZCAS, propicia maior subsidência observada ao norte da faixa de nebulosidade.

Analisando a diferença entre os extremos (Figura 4.25.c), verifica-se um núcleo positivo sobre o sul de Goiás e outro no Atlântico em torno de ponto 27°S e 30°W. Estas regiões indicam que a vorticidade sobre a região da ZCAS, tende a ser mais ciclônica em anos de LN. Em torno de 37°S e 40°W, verifica-se um núcleo negativo, possivelmente relacionado a maior passagem de transientes nesta região em anos de EN.

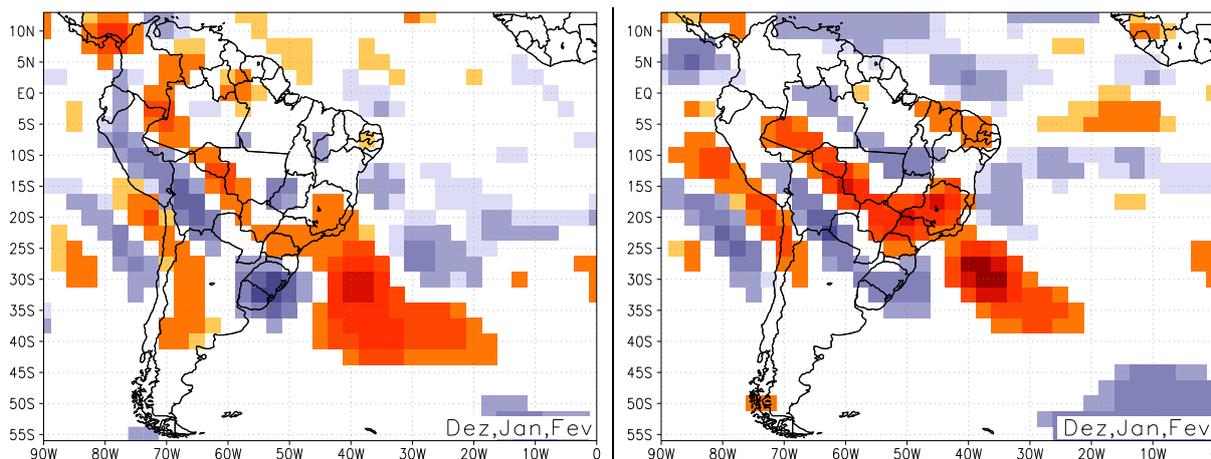


Figura 4.25.a: Como na Figura 4.24.a, mas para vorticidade relativa em 850 hPa. Intervalo de vorticidade relativa de $0,2 \cdot 10^{-5} \cdot s^{-1}$.

Figura 4.25.b: Como na Figura 4.24.b, mas para vorticidade relativa em 850 hPa. Intervalo de vorticidade relativa de $0,2 \cdot 10^{-5} \cdot s^{-1}$.

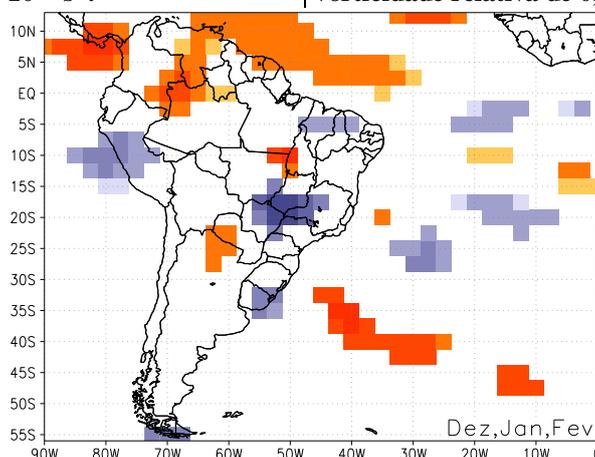


Figura 4.25.c: Como na Figura 4.24.c, mas para vorticidade relativa em 850 hPa. Intervalo de vorticidade relativa de $0,2 \cdot 10^{-5} \cdot s^{-1}$.



Na média troposfera (Figura 4.26.a, b), o campo de ϕ mostra que na faixa equatorial e em grande parte do Brasil Central, anomalias positivas e negativas no composto para EN e LN respectivamente. Isto mostra que a circulação de grande escala modulada pelos fenômenos é dominante sobre a da ZCAS. Ressalta-se na Figura 4.26.a, que a região da ZCAS possui extensão para o oceano com anomalias positivas. Por outro lado, na composição com casos em anos de LN, esta extensão não é evidente. A princípio, este prolongamento pode estar associado ao domínio de eventos transientes, como verificado em baixos níveis no campo de perturbações da vorticidade relativa (Figura 4.25.a). Já na diferença entre os

extremos (Figura 4.26.c), é verificado um domínio da circulação de grande escala imposta pelo EN, em quase todo o Brasil e faixa oeste da América do Sul

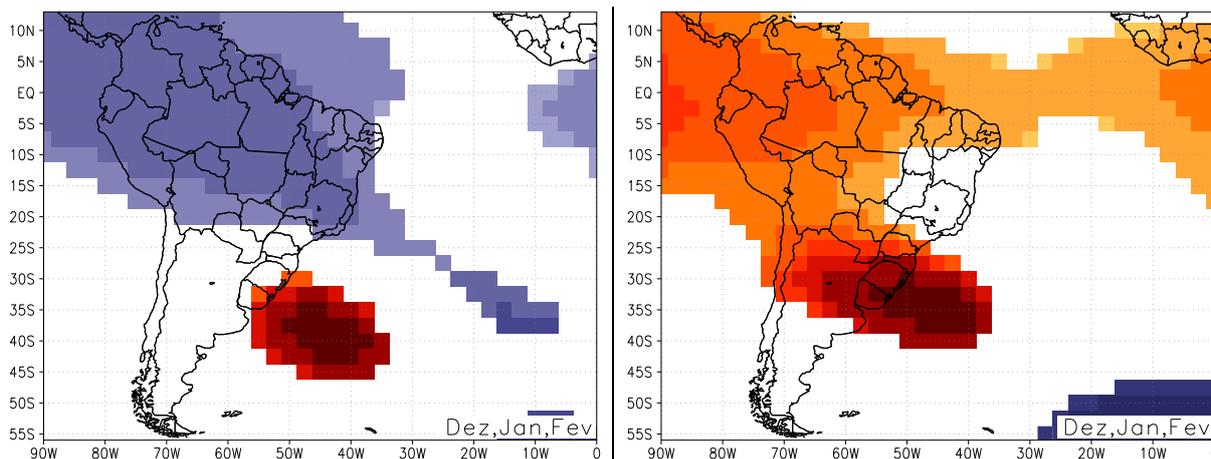


Figura 4.26.a: Como na Figura 4.24.a, mas para altura geopotencial em 200 hPa. Unidade em mgp.

Figura 4.26.b: Como na Figura 4.24.b, mas para altura geopotencial em 200 hPa. Unidade em mgp.

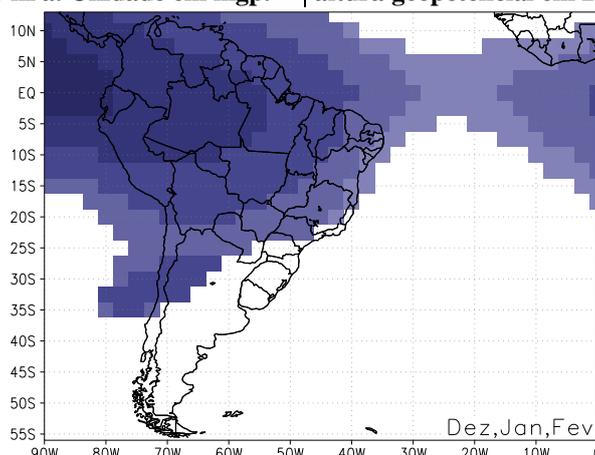


Figura 4.26.c: Como na Figura 4.24.c, mas para altura geopotencial em 200 hPa. Unidade em mgp.



Tanto no teste de significância estatística em situações EN quanto em LN, (Figuras 4.26.a e b respectivamente), fica evidenciado uma região com anomalias positivas ao sul da ZCAS. Este setor atua como uma resposta da circulação imposta pela ZCAS. O que difere é o posicionamento, ou seja, em anos de EN, ela está melhor configurada sobre o oceano devido à intensificação da convecção em baixos níveis pelos sistemas transientes (Figura 4.25.a). Em

anos de LN, esta região estende-se para o continente, possivelmente devido à intensificação da convecção em toda a extensão da ZCAS, como verificado no campo de anomalia de vorticidade relativa (Figura 4.25.b).

Os campos das perturbações da vorticidade relativa, (Figuras 4.27.a e b), mostram anomalias positivas associada com a crista em 200 hPa na região da ZCAS, cobrindo o setor centro-leste do Brasil, estendendo-se para oceano. É possível notar que em anos de EN, esta extensão abrange uma área maior no oceano. Esta característica possivelmente está associada tanto a efeitos da alta atividade convectiva da ZCAS, ao qual gera em altos níveis circulação anticiclônica, como também a ocorrência dos sistemas transientes em latitudes médias. Já em anos de LN (Figura 4.27.b), observa-se uma estreita faixa com anomalias positivas sobre o continente. Isto denota que a atividade convectiva em anos de LN, é mais intensa, como pode ser verificado na Figura 4.25.b.

Verifica-se ao sul da região média da ZCAS, áreas com anomalias negativas, tanto em períodos de EN quanto de LN. Assim, como no campo de ϕ (Figuras 4.26.a e b), estas áreas são representativas da circulação ciclônica imposta pela ZCAS, que gera subsidência ao sul da mesma. Nota-se que o comportamento é bem semelhante entre os campos de perturbações de vorticidade relativa e ϕ . Ao norte, também são verificadas áreas com desvios negativos. Salienta-se que em anos de EN (Figura 4.27.a), as anomalias negativas são mais intensas e extensas, possivelmente relacionadas a grande escala imposta pelo fenômeno. Há também o papel circulação local da ZCAS a qual poderia contribuir na subsidência sobre esta região. Em anos de LN (Figura 4.27.a), a região ao norte da ZCAS é mais restrita, levando a crer que a circulação de grande escala imposta pela LN inibe a subsidência imposta pela circulação da ZCAS.

No que se refere às diferenças de extremos (Figura 4.27.c), não há significâncias estatísticas relevantes em quase toda a extensão da ZCAS, a menos de um pequeno setor sobre o oceano, entre os paralelos 20°W e 10°W, onde possivelmente os fenômenos transientes em anos de EN, determinam a anomalia positiva. Ao norte desta região, verifica-se uma área com anomalias negativas, possivelmente associada à circulação de grande escala imposta pelo EN.

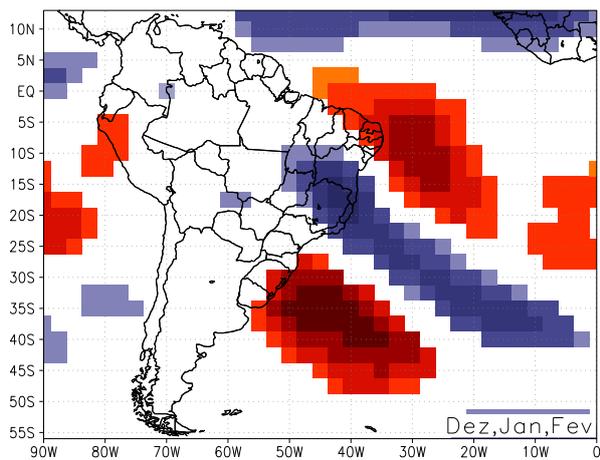


Figura 4.27.a: Como Figura 4.24.a, mas para vorticidade relativa em 200 hPa. Intervalo de $0,3 \cdot 10^{-5} \cdot s^{-1}$.

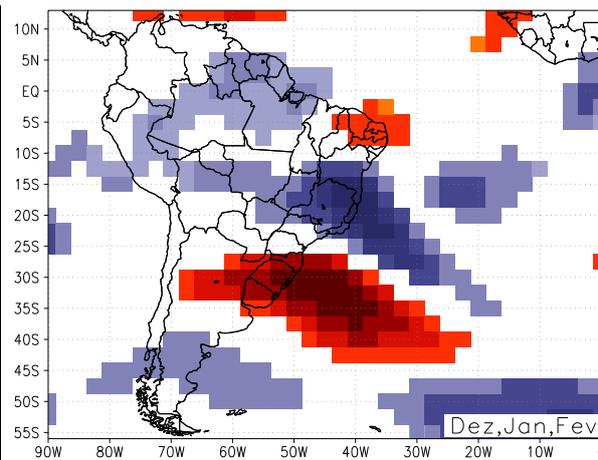


Figura 4.27.b: Como na Figura 4.24.b, mas para vorticidade relativa em 200 hPa. Intervalo de $0,3 \cdot 10^{-5} \cdot s^{-1}$.

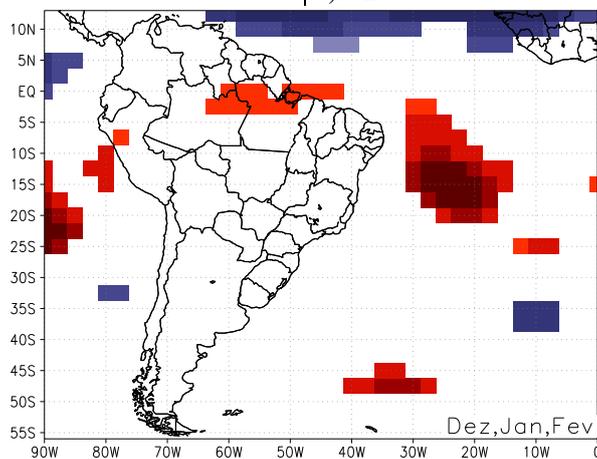


Figura 4.27.c: Como na Figura 4.24.c, mas para vorticidade relativa em 200 hPa. Intervalo de $0,3 \cdot 10^{-5} \cdot s^{-1}$.



4.4 COMPOSIÇÃO DE ZCAS EM FUNÇÃO DO CICLO DIURNO

Nesta seção, são apresentados os resultados da técnica de composição enfocando o ciclo diurno. Para tanto, foi aplicado em cada horário da análise, a composição de casos de ZCAS. São analisados separadamente, o comportamento sobre o continente e oceano e apresentados campos médios para o trimestre dezembro, janeiro e fevereiro, nos horários de 00, 06, 12 e 18 GMT. Nos campos em 850 hPa foi inserida uma máscara sobre a Cordilheira dos Andes.

4.4.1 Comportamento sobre o continente

Na Figura 4.28, observa-se em baixos níveis, que o aumento da convergência de umidade, na região da ZCAS, acompanha a evolução do ciclo diurno, ou seja, durante o final da madrugada e início da manhã, quando se inicia o aquecimento solar, são verificadas valores mínimos de convergência e no período da tarde e noite, quando o aquecimento e convecção são máximos, é verificada convergência de umidade em quase todo o Brasil central.

Na parte da tarde, às 18 GMT, são notados alguns núcleos de convergência de umidade, um a oeste de Minas Gerais e outro ao sul do Maranhão. Este comportamento pode estar relacionado com o forte aquecimento e a alta umidade que é transportada, pela circulação dominante, da Amazônia e do Oceano Atlântico, como pode ser verificado na Figura 4.28. Outro fator que colabora para isto é a topografia destas regiões. Silva Dias e Silva Dias (1994), mostraram a existência vórtices embebidos na ZCAS cujos mesmos poderiam estar relacionados com a topografia local e que estariam associados a eventos de precipitação mais severos e localizados.

Na Região Norte do Brasil, centro do Amazonas e sul do Pará, verifica-se entre o período da tarde e noite, aumento da convergência de umidade, tanto em área quanto em intensidade. Este comportamento deve estar associado à intensificação dos ventos alísios, transportando umidade do Oceano Atlântico para esta região. Outro fator seria o padrão de

circulação ao sul desta região, cuja componente de sul transportaria ar mais seco e frio. O encontro destes dois diferentes tipos de massas poderia propiciar a intensificação da convergência de umidade verificada às 00 GMT (Figura 4.28).

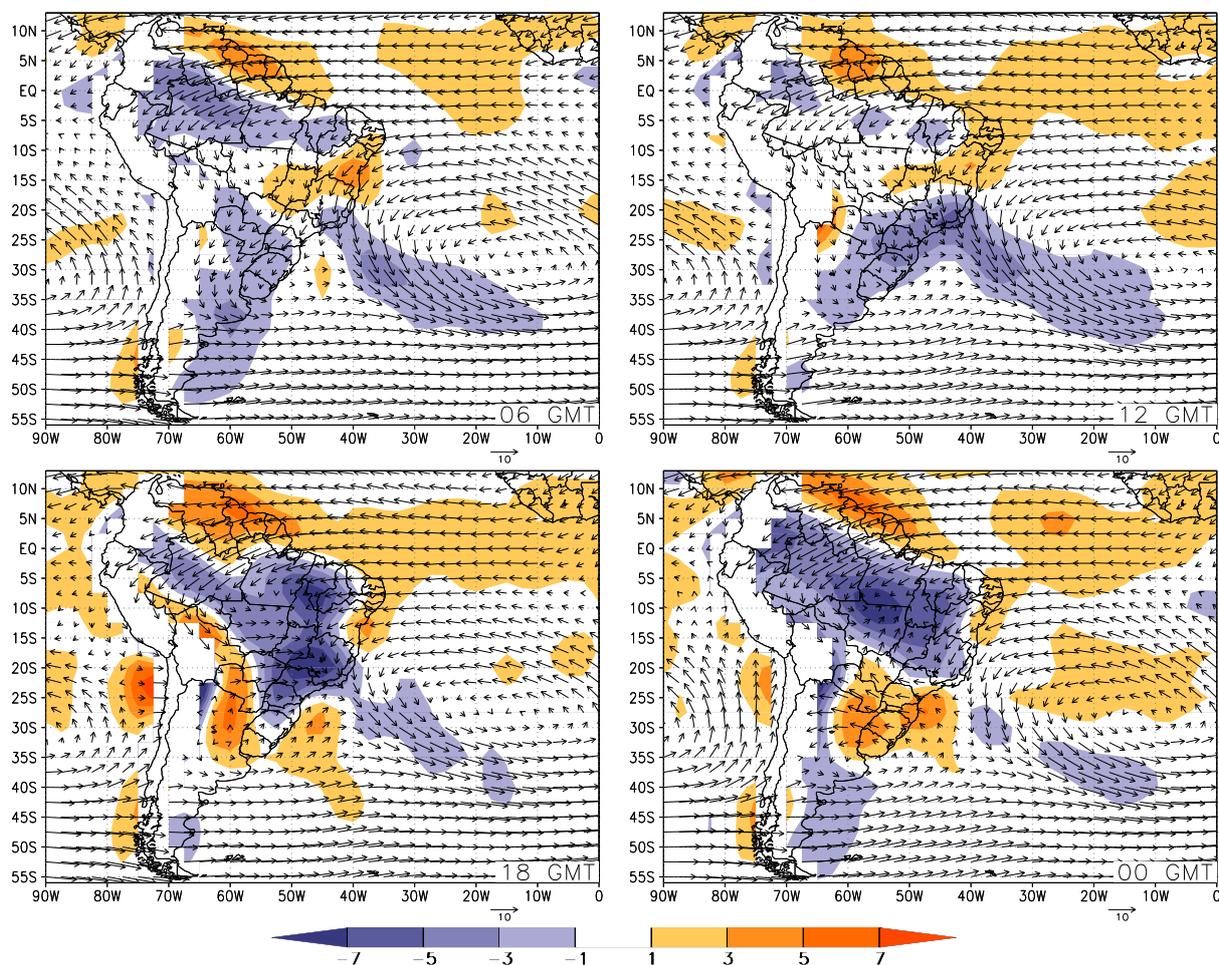


Figura 4.28: Composição de vetor velocidade do vento e divergência de umidade em 850 hPa, nos horários de 06, 12, 18 e 00Z, média para o trimestre dezembro, janeiro e fevereiro. Intervalos para a divergência de umidade de $2 \cdot 10^{-8} \text{ g/Kg}\cdot\text{s}^{-1}$. Unidade do vetor vento $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$.

Nota-se também na Figura 4.28, que a subsidência associada à divergência de umidade, ao sul da ZCAS não se verifica ao longo do dia. No período da madrugada e início da manhã, quando se inicia o aquecimento diurno, observa-se uma região de convergência na parte norte da Região Sul do Brasil. Isto também se verifica às 18 GMT. Apenas às 00 GMT é estabelecido um padrão de divergência sobre toda a Região Sul do Brasil. Este comportamento deve estar associado à circulação observada ao longo do dia, onde do período

da madrugada ao início da tarde, a direção preferencial dos ventos situa-se nos quadrantes norte e oeste e no final da tarde e noite estão entre os quadrantes leste e sul. Salienta-se que a faixa de divergência de umidade sobre o oeste brasileiro, observada às 18 GMT, pode estar associada a problemas de extrapolações do modelo devido à presença dos Andes.

Ainda em baixos níveis ao norte da ZCAS, norte da Bahia e faixa leste do litoral nordestino, observa-se que a região de subsidência associada à divergência de umidade, está presente ao longo de todo o ciclo diurno.

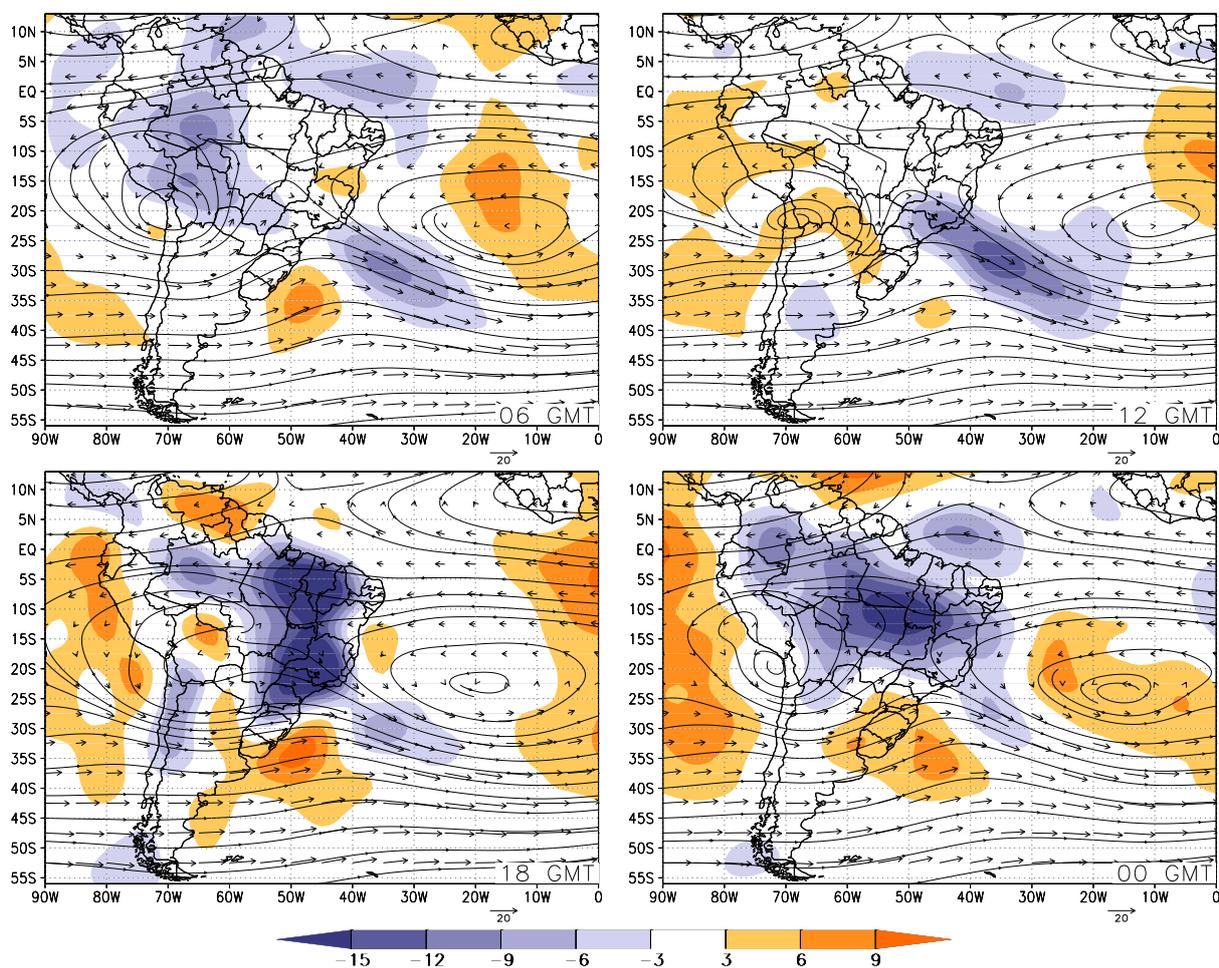


Figura 4.29: Como na Figura 4.28, mas para vetor vento, circulação e velocidade vertical em coordenadas de pressão, em 500 hPa. Intervalos de para velocidade vertical 3×10^{-3} hPa/s. Unidade do vetor vento m/s.

Na média troposfera (Figura 4.29), o campo de ω , nas regiões de abrangência da ZCAS, se assemelha ao comportamento observado no campo de divergência de umidade (Figura 4.28), ou seja, movimento ascendente quase nulo no final da madrugada e manhã e máximo na tarde e noite. Nota-se às 18 GMT, entre os meridianos 55° e 40°W, uma região ampla com ω negativo, que esta possivelmente associado em baixos níveis com a convergência de ventos e umidade a oeste de Minas Gerais e ao sul do Maranhão.

Às 00 GMT, nota-se a generalização de movimento ascendente em todo o Brasil central, associado ao movimento descendente cobrindo toda a Região Sul do Brasil. Às 06 GMT destaca-se, um núcleo negativo sobre o oeste da Região Norte do Brasil, que por sua vez está também associado a uma região de convergência em baixos níveis. Uma possível explicação para esta característica é o posicionamento da Alta da Bolívia, que propicia a permanência do movimento ascendente.

No campo de linha de corrente em 500 hPa (Figura 4.29), não se observam alterações significativas em sua configuração, isto é, a AB, Cavado de latitudes médias e a ASAS, são observados ao longo de todo o ciclo diurno, diferenciando apenas no posicionamento do centro das altas pressões e do eixo do cavado. Salienta-se, no campo das 18 GMT, que devido ao forte movimento ascendente observado em torno de 47°W, há intensificação do ponto de cela (em torno de 13°S), fortalecendo o cavado invertido cujo eixo está sobre os estados do Maranhão e de Tocantins. Esta intensificação permanece às 00 GMT quando ocorre um predomínio de movimentos verticais ascendentes em todo o Brasil central.

Em altos níveis (Figura 4.30), verifica-se um comportamento semelhante ao proposto por Silva Dias et al. (1987). No início do ciclo convectivo, às 18 GMT, nota-se um máximo de vento de componente sul a leste da AB. Conforme a AB se intensifica, é verificado, entre às 00 e 06 GMT, alteração no fluxo do vento que passa de sul para sudeste. Na simulação de Silva Dias et al. (1987) documenta-se o desenvolvimento de um núcleo, que poderia ser o observado ao sul do Pará no campo das 12 GMT (Figura 4.30). O desenvolvimento deste núcleo possivelmente está associado à intensificação do fluxo de sudeste, o qual transporta massa para esta região. Com o aumento da temperatura e convecção em baixos níveis, é

observado a intensificação da circulação e da divergência em altos níveis, estabelecendo-se o ciclo diurno convectivo sobre o continente.

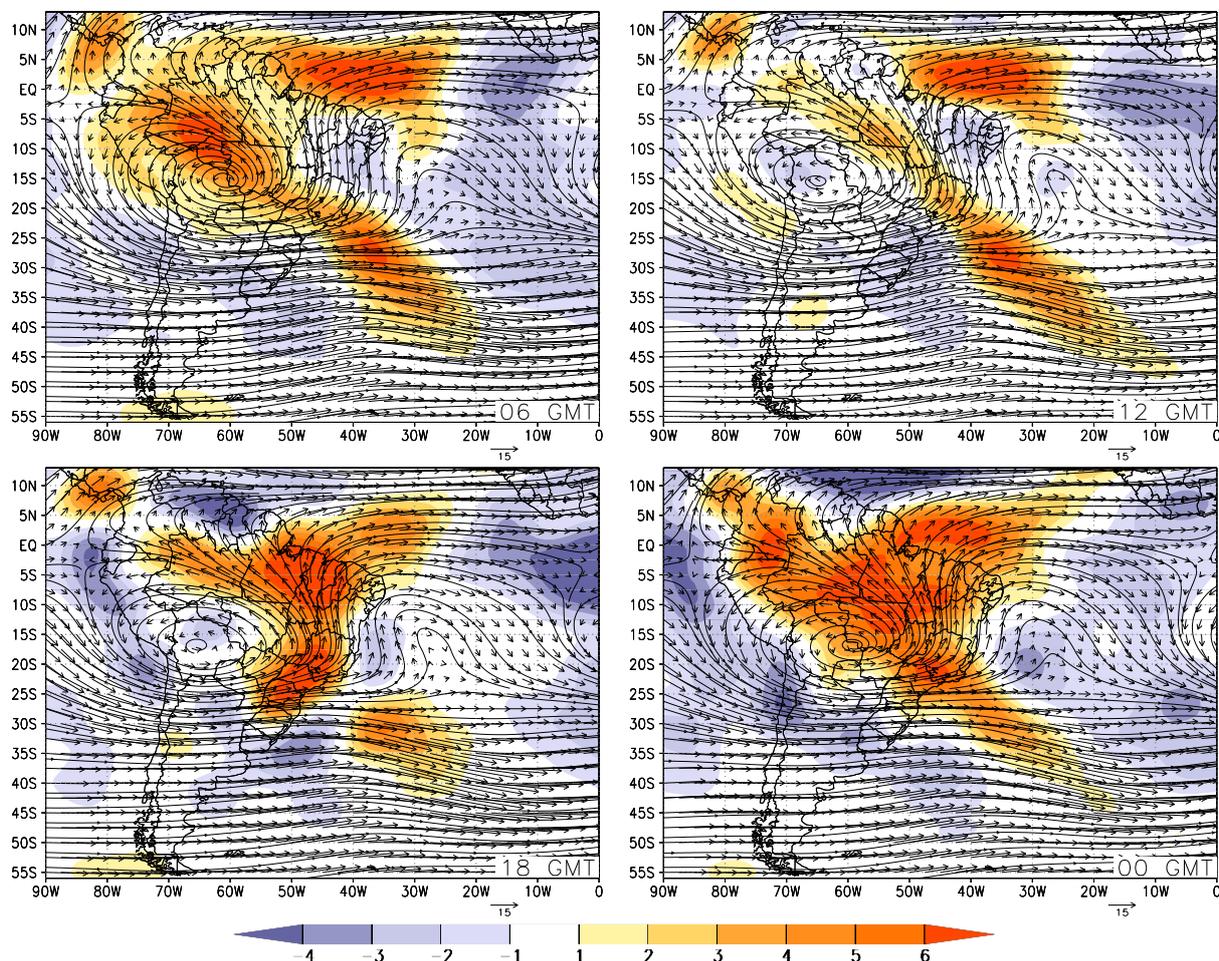


Figura 4.30: Como na Figura 4.28, mas para divergência do vento horizontal, linha de corrente e vento em 200 hPa. Intervalos para divergência do vento horizontal $1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$. Unidade do vento em m/s.

Para análise do comportamento do ciclo diurno ao longo da ZCAS, foram realizadas secções verticais, nos quatro horários disponíveis. O setor escolhido foi o segmento de reta E-F cuja região de abrangência pode ser visualizado na Figura 4.11.

Na Figura 4.31, verifica-se no período da manhã, em baixos níveis em torno de 60°W , uma região de divergência. Isto concorda com o fato de que no início do período do aquecimento diurno, há inibição da formação de convecção sobre o continente. Próximo a 50°W , há um núcleo de convergência que pode estar associado a dois fatores: 1) a presença da

topografia (a linha preta indica a topografia), que estimula o aumento da convergência sobre a montanha; 2) extrapolação do modelo, devido a presença da topografia.

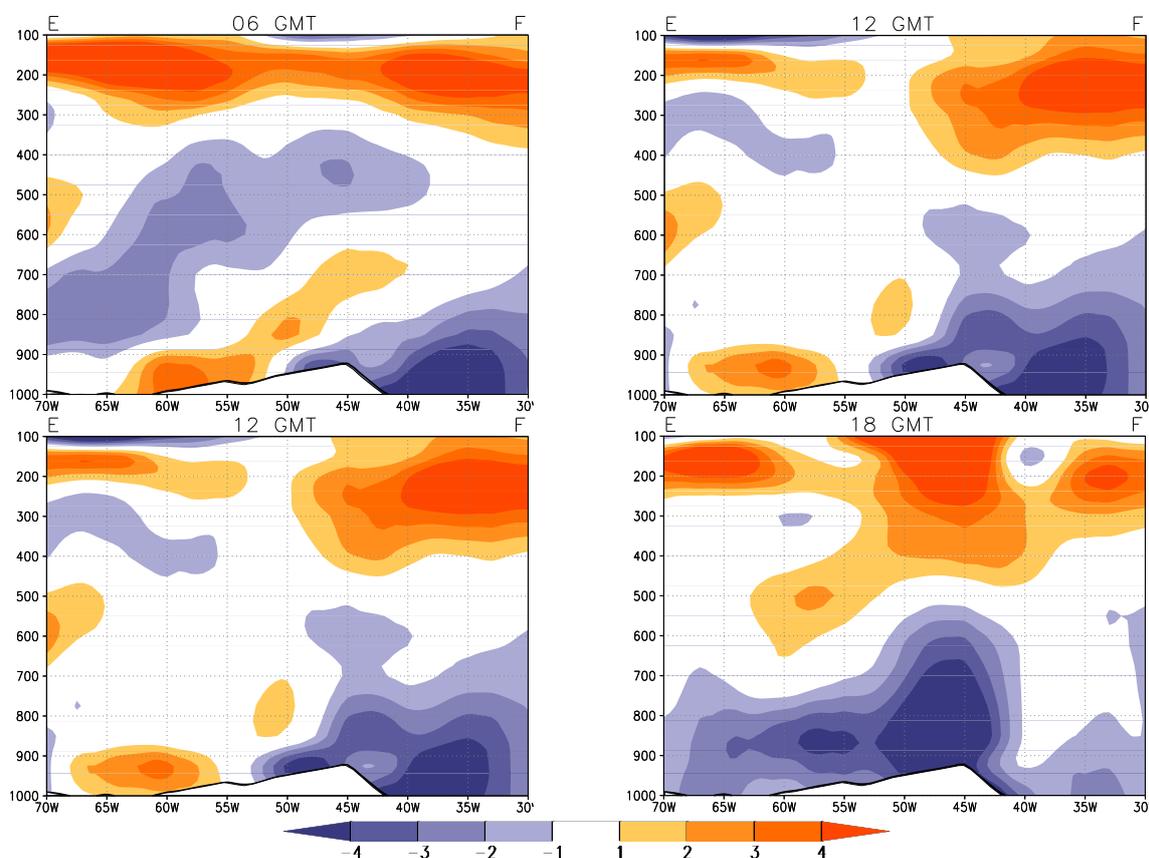


Figura 4.31: Secção vertical da Composição de divergência do vento horizontal para o setor E-F, nos horários de 06, 12, 18 e 00Z . Média para o trimestre dezembro, janeiro e fevereiro. Intervalo para divergência horizontal do vento de $1 \cdot 10^{-6} \text{s}^{-1}$.

Às 18 GMT é verificado um núcleo de convergência nas regiões de relevo mais pronunciado (em torno de 47°W) que se eleva aproximadamente a 600 hPa, este núcleo pode estar associado ao forte aquecimento diurno e a entrada da brisa marítima que ao encontrar uma barreira física propicia a convergência nesta região. Salienta-se a extrapolação realizada pelo modelo ao colocar uma região de convergência sob a montanha, o que poderia trazer interferência numa análise quantitativa do resultado.

No período da noite, verifica-se a generalização da convergência ao longo de toda a ZCAS, cuja altura atinge aproximadamente 600 hPa. Em altos níveis é verificada uma região

de divergência ao longo de toda a ZCAS. Já durante a madrugada é observada uma diminuição da convergência sobre todo o continente. Além disso, destaca-se uma região de divergência em torno do ponto geográfico 60°W.

4.4.2 Comportamento sobre o oceano

Sobre o oceano, a composição mostra um comportamento oposto ao observado sobre o continente, em termos da evolução diurna da convecção. Nota-se que o máximo de convergência de umidade (Figura 4.28) ocorre no período entre o final da madrugada e manhã. Salienta-se que esta convergência pode ser observada também no litoral centro-sul Brasil. Este comportamento também se verifica em 500 hPa (Figura 4.29) no campo de ω , isto é, enquanto ocorre a intensificação sobre o continente, no oceano é verificado o inverso e vice-versa.

Gray e Jacobson Jr (1977), ao estudarem o ciclo diurno da atividade convectiva de cumulus profundo sobre o oceano tropical, observaram uma tendência de ocorrência de convecção profunda no período da manhã. Esta convecção estaria associada a um sistema de tempo organizado. Foi proposta a seguinte explicação para o observado. Durante o período noturno, devido a forte convecção sobre o continente organizada por um sistema meteorológico, formam-se cirrus que são transportados para o oceano pela circulação dominante. Sobre o oceano nas regiões adjacentes àquela coberta por cirrus, ocorre maior perda radiativa diminuindo a temperatura, em contra partida sob a camada de cirrus a temperatura é aproximadamente constante. O quadro acima descrito possibilita, sob os cirrus, um aumento da espessura da camada, abaixando a pressão em superfície. Esta diminuição de pressão possibilita, no início da manhã, aumento de convergência em superfície que aumenta a velocidade vertical. Nas regiões em torno da camada de cirrus, há aumento de subsidência de compensação, o que diminui o resfriamento, desacelerando o processo. Esta condição resulta em maior convergência de vapor e umidade durante a manhã e menor no final da tarde e início da noite.

Na Figura 4.28, às 00 GMT, verifica-se na parte continental, um máximo de convergência ao longo da ZCAS, associado à componente de norte-nordeste do vento na interface continente-oceano. Esta situação possivelmente coopera para uma formação de mínimo de convergência sobre a parte oceânica da ZCAS. Ao sul, sobre a região de divergência, os ventos apresentam pouca intensidade no litoral e adquirem componente de leste ao adentrarem o continente.

Com o resfriamento radiativo, nota-se, às 06 GMT, a descaracterização da convergência e divergência na parte continental da ZCAS e ao sul da mesma, respectivamente. Há alteração no padrão da circulação, isto é, na parte central do Brasil, os ventos perdem intensidade adquirindo uma componente de noroeste e na faixa continental próxima ao oceano os ventos passam a ter componente de norte-nordeste desde o Estado da Bahia até o sul do Brasil, cooperando possivelmente com a convergência verificada no sul do Uruguai. Sobre o oceano, ao sul da região da ZCAS, é notada uma alteração no sentido dos ventos, contribuindo para a intensificação da circulação ao longo da ZCAS, juntamente com a da Alta Subtropical do Atlântico Sul. Com isto, é verificado um aumento de convergência na faixa oceânica. Este aumento observado sobre o oceano também poderia estar associada à diferença de temperatura entre a região da ZCAS e adjacências devido a uma possível camada de cirrus oriunda da alta atividade convectiva observada sobre o continente entre a tarde e noite. Esta camada seria transportada pela circulação em altos níveis, conforme proposto por Gray e Jacobson Jr (1977).

Com o início do aquecimento solar, verifica-se às 12 GMT (Figura 4.28) que a circulação é de noroeste em toda a parte central do Brasil, contribuindo para o transporte de umidade, oriunda da Amazônia, para a faixa oceânica da ZCAS. No oceano, ao sul da banda de nebulosidade, vê-se um aumento da circulação ciclônica, intensificando os ventos ao longo da mesma. Com isto é verificado um máximo de convergência na faixa oceânica da ZCAS. Especula-se, também, que possa haver uma associação com a camada de cirrus que foi transportada do continente para o oceano, no período da noite para a madrugada, o qual poderia colaborar com o aumento de convergência nesta região.

Ao longo do dia, com o aumento da temperatura sobre o continente, começa a ser verificado o aumento da convecção, levando às 18 GMT, à formação de uma região de convergência sobre o Sudeste brasileiro. A convergência sobre o oceano desconfigura-se, fechando o ciclo de convergência e divergência entre a parte oceânica da ZCAS e a continental. Esta descaracterização da convergência sobre o oceano pode estar associada ao contraste térmico entre oceano e continente que é maior no período da tarde e noite ou a diminuição do contraste térmico entre a região sob a camada de cirrus e adjacências (Gray e Jacobson Jr, 1977). Especula-se, também, que pode estar relacionado ao enfraquecimento dos ventos oriundos do Brasil central para o oceano ou ainda a entrada da brisa marítima que gera nas regiões de topografia mais pronunciada um aumento de convergência e por conseguinte uma diminuição da convergência na região oceânica, como pode ser verificado às 18 GMT da Figura 4.28.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foram realizados estudos de padrões atmosféricos dos eventos ZCAS para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, no período de 1980 a 2000. Foi feito um minucioso trabalho de catalogação e determinação de todos os episódios de ZCAS ocorridos durante os trimestres de verão do período de estudo. Foram encontrados 65 episódios, aproximadamente uma média de 3 episódios por verão, com duração aproximada de 10 dias e uma variabilidade temporal de 4 a 21 dias. No total, aproximadamente 1/3 do período estudado, a ZCAS esteve atuante, isto sugere que a climatologia de verão da América do Sul é modulada por essa zona de convergência. Salienta-se uma possível variabilidade interdecadal de frequência de episódios de ZCAS (Robertson e Mechoso, 2000).

Foi aplicada em todos os casos, uma técnica de composição proposta por Kodama (1993), que possibilitou filtrar a variação intrasazonal e interanual, ressaltando apenas as características atmosféricas relevantes num episódio. Foi aplicada a técnica em eventos generalizados de ZCAS, em eventos ZCAS cujos fenômenos EN e LN estavam em atividade e dentro do ciclo diurno da ZCAS.

Observou-se na evolução dos meses de verão, que o comportamento da convecção sobre o continente pouco se altera, em contra partida sobre o oceano, a descaracterização da banda de nebulosidade foi verificada no composto de Fev.

Foi verificada a possível presença do JBN sobre a Bolívia direcionado no sentido NW-SE, contribuindo no aumento da convergência do fluxo de umidade. Salienta-se que esta convergência não se mostrou homogênea, devido possivelmente a efeitos topográficos e locais, e que poderia estar associados a vórtices embebidos na ZCAS.

A separação entre duas massas, úmida na região da ZCAS e seca ao sul desta, ficou salientada principalmente no campo de θ_e . Esta massa seca está associada à subsidência verificada em todos os meses, o que sugere que o regime de chuvas na parte sul do Brasil é modulado pela presença da ZCAS.

Na média troposfera, o padrão de circulação encontrado esta associada à AB, cavado de latitudes médias e ASAS, que contribuem para a manutenção e intensificação da convecção da ZCAS. Já em altos níveis, este padrão de circulação acima descrito, foi substituído pela AB e Vórtice do Nordeste, que devido à alta variabilidade do posicionamento da ZCAS, configurou-se como um cavado alongado a leste da Região Nordeste.

Além disto, salientou-se a existência de distintos controles dinâmicos no continente e oceano, sendo que sobre o oceano, o comportamento atmosférico é melhor representado em relação ao conceito teórico da ZCAS. No continente, devido a fatores topográficos, presença da Amazônia, a dinâmica de manutenção da banda de nebulosidade é voltada a fatores de meso escala.

Verificou-se que em anos de LN, há uma grande variabilidade de número de episódios de ZCAS, em comparação a anos de EN. Em anos de EN, há uma tendência de estabelecer 3 episódios por verão.

Com relação ao composto em anos de EN, verificou-se os seguintes comportamentos: 1) A interação entre a ZCAS e ZCIT é menos efetiva ao longo do verão; 2) A atividade convectiva sobre o continente é menos intensa que o composto de todos os anos e deslocada ligeiramente para oeste; 3) Sobre o oceano na região da ZCAS, observou-se um setor cuja atividade convectiva era mais intensa, possivelmente associada as passagens de transientes que são modulados pela circulação do EN; 4) Em altos níveis, o campo de anomalia de ϕ , mostrou um prolongamento para o oceano, na região da ZCAS, possivelmente associado tanto a resposta da atividade convectiva, que é mais intensa sobre o oceano em anos de EN, quanto aos transientes nas latitudes médias; 5) Ainda em altos níveis ao norte da ZCAS, foi verificada uma extensa área de anomalias negativas de vorticidade relativa, que estaria associado tanto a circulação da ZCAS quanto à circulação de grande escala, inibindo a convecção nesta região.

Em relação aos anos de LN: 1) A ocorrência simultânea é mais efetiva entre a ZCIT e ZCAS em relação ao composto de todos os anos; 2) A atividade convectiva, em comparação a anos de EN ou a todos os anos, é mais intensa sobre que o continente; 3) Em altos níveis foi verificado que a subsidência ao norte da ZCAS, imposta pelo fenômeno, é inibida pela

circulação de grande escala, ao sul verificou-se que a circulação anticiclônica estende-se para o continente favorecendo a inibição da convecção tanto na parte oceânica quanto sobre o continente. 4) Ao norte da ZCAS foi observada maior subsidência em comparação ao EN, devido possivelmente a interação maior com a ZCIT, cuja mesma intensifica a circulação de Walker propiciando uma intensificação desta subsidência.

No composto realizado para analisar o ciclo diurno num episódio de ZCAS, observou-se uma espécie de oscilação da atividade convectiva na região da ZCAS: durante à tarde e noite, há forte atividade convectiva sobre o continente; e no final da madrugada e início da manhã, há uma intensificação da convecção sobre o Oceano.

Notou-se uma possível influência de vórtices embebidos ao longo da ZCAS que influenciados pela topografia favorecem a intensificação da convergência em baixos níveis. Ainda em baixos níveis, foram verificados padrões distintos de circulação sobre o continente nos diversos horários. Isto auxilia no enfraquecimento/fortalecimento da região de subsidência ao sul da ZCAS e na intensificação da convergência sobre o continente durante a noite.

Já o comportamento da ZCAS sobre o oceano, dentro de um ciclo diurno, mostrou que a convergência observada no final da madrugada e manhã poderia estar associada a dois fatores: 1) A alteração em baixos níveis, da circulação dominante a qual auxiliaria no transporte de umidade para esta região aumentando assim a convergência; 2) O outro fator está baseado no transporte de cirrus do continente para o oceano, pela circulação dominante. Esta camada seria oriunda da alta atividade convectiva observada sobre o continente no período da tarde e noite. Isto acarreta numa diferença de temperatura, sobre o oceano, entre as regiões adjacentes e a coberta pela camada, determinando uma expansão da camada sob os cirrus intensificando a convergência no final da madrugada e início da manhã.

Por fim, os resultados deste trabalho deixam algumas indefinições que podem gerar novas pesquisas sobre a ZCAS, como por exemplo:

- Realizar estudos de casos buscando associar os fatores sinóticos relevantes dos episódios com os padrões encontrados neste trabalho;

- Realizar semelhante trabalho agora com dados de análise de outras fontes tipo ECMWF, buscando verificar se a interferência da cordilheira dos Andes é tão efetiva quanto nas reanálises do NCEP;
- Realizar um trabalho mais minucioso nos padrões atmosféricos para casos em períodos de El Niño e La Niña, buscando verificar se alterando a amostragem de períodos altera nos padrões encontrados;
- Estender a área de análise para verificação do comportamento de outras Zonas de Convergência, tipo a do Pacífico Sul e do Índico;
- Realizar simulações com os padrões encontrados, para verificação do comportamento do modelo a situações padrões de ZCAS;
- Realizar simulações numéricas com os resultados do ciclo diurno para verificar se o modelo consegue responder a oscilação entre o continente o oceano, para então tentar obter possíveis respostas dos processos físicos reinantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambrizzi, T.; Marengo, J. A.; Liebmann, B.; Kiladis, G. N.; Glick, J. D. Propagação de Ondas Extratropicais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul. [CD-ROM] In: 10º Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília. **Anais da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, Brasília, 1998.
- Bolton, D. The Computation of Equivalent Potential Temperature. **Monthly Weather Review**, v. 108, p. 1046-1053, Jul. 1980.
- Bonatti, J. P. **Comentário sobre a interferência da topografia nas reanálises do NCEP**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, 2001). Comunicação Pessoal.
- Calderon, D.; Gandú, A. W. Análise Diagnóstica da Frontogênese, durante a Evolução da Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: 9º Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão. **Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v.1, p.369-373, 1996.
- Calheiros, R. V.; Silva Dias, P. L. Como prever melhor. **Climanálise**, v.3, p.31-32, Fev. 1988.
- Carvalho, A. M. G. **Conexões entre a circulação em latitude e a convecção sobre a América do Sul**. São José dos Campos. (INPE-4923-TDI/383). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989.
- Casarin, D. P.; Kousky, V. E. Anomalias de Precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.1, p.83-90, 1986.
- Cavalcanti, I. F. A. **Comentário sobre a possível influência de transientes, modulados pelo El Niño, sobre a parte oceânica do composto de ZCAS em anos de El Niño**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, 2001). Comunicação Pessoal.

- Cavalcanti, I. F. A.; Rowntree, P. A. Zona de Convergência do Atlântico Sul no modelo climático do Hadley Centre. [CD-ROM] In: 10^o Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília. **Anais da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, Brasília, 1998.
- Ferreira, N. J.; Laçava, C. I. V. A climatological study of convective cludbands in northeastern Brazil Part I: preliminary analysis. **Australia Meteorological Magazine**, v.50, n.2, p.105-113, Jun. 2001.
- Figueroa, S. N. **Simulações da Circulação Atmosférica no verão sobre a América do Sul com a presença da Cordilheira dos Andes usando coordenadas Eta**. São José dos Campos. 90p. (IINPE-5269-TDI/445). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1990.
- Figueroa, S. N.; Nobre, C. Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanálise**, v.5, p.36-45, Jun. 1990.
- Figueroa, S. N.; Satyamurti, P.; Silva Dias, P. L. Simulations of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.52, p.1573-1584, Mai. 1995.
- Figueroa, S. N. Estudo dos sistemas de circulação de verão sobre a América do Sul e suas simulações com modelos numéricos. São José dos Campos. (INPE-7121-TDI/672). Dissertação (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.
- Foltz, G. S.; Gray, W. M. Diurnal Variation in the Troposphere's Energy Balance. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.36, p.1450-1466, Ago. 1979.
- Gandu, A. W.; Geisler, J. E. A Primitive Equations Model Study of the Effect of Tropography on the Summer Circulation over Tropical South América. **Journal of The Atmospheric Sciences**, v.48, n.16, p.1822-1836, Ago. 1991.
- Gandu, A. W.; Silva Dias, P. L. Impact of tropical heat sources on the South American tropospheric upper circulation and subsidence. **Journal of Geophysical Research**, v.103, n.D6, p.6001-6015, Mar. 1998.

- Gandu, A. W.; Silva Dias, P. L. Simulação numérica dos efeitos locais da convecção de verão sobre a América do Sul. In: 9^o Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão. **Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v.1, p.481-484, 1996.
- Gray, W. M.; Jacobson Jr., R. W. Diurnal Variation of Deep Cumulus Convection. **Monthly Weather Review**, v.105, p.1171-1188, Set. 1977.
- Grimm, A. M.; Silva Dias, P. L. Analysis of Tropical – Extratropical Interactions with Influence Functions of a Barotropic Model. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.52, n.20, p.3538-3555, Out. 1995.
- Grimm, A. M.; Silva Dias, P. L. Use of Barotropic Models on the Study of the Extratropical Response to Tropical Heat Source. **Journal of The Meteorological Society of Japan**, v.73, n.4, p.765-780, Ago. 1995.
- Jones, C.; Horel, J. D. A circulação da Alta da Bolívia e a atividade convectiva sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 5, p.379-387, Jun. 1990.
- Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gadin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Jonawiak, J.; Mo, K. C.; Ropelewsk, C.; Wang, J.; Leetmaa, A.; Reynold, R.; Jenne, R.; Joseph, D. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.77, p.437-471, Mar. 1996.
- Karoly, D. J. Souther Hemisphere circulation features associated with El Niño-Southern Oscillation events. **Journal of Climate**, v.2, p.1239-1252, 1989.
- Kayano, M. T. Oscilações de Madden & Julian – Oscilações Intrasazonais ou Oscilações de 30-60 dias. **Climanálise Especial 10 anos**, p.65-69, 1996.
- Kayano, M. T.; Ferreira, N. J.; Ramírez, M. C. V. Summer Circulation Patterns Related to the Upper Tropospheric Vortices over the Tropical South Atlantic. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.64, p.203-210, 1997.
- Kayano, M. T.; Kousky, V. E. Sobre o monitoramento das Oscilações Intrasazonais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.1, p.593-602, Fev. 1992.

- Kayano, M. T; Kousky, Vernon. E.; Studzinski, C. D.; Silva Dias, P. L. As variações intra-sazonais da precipitação no Brasil durante o verão de 1989/1990. **Climanálise**, v.5, n.4, p.40-50, Abr. 1990.
- Kodama, Y Large-Scale Common Features of Sub-Tropical Convergence Zones (The Baiu Frontal Zone, The SPCZ, and the SACZ) Part II: Conditions of the Circulation for Generating the STCZs. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.71, n.5, p.581-610, Out. 1993.
- Kodama, Y. 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 Meteorological Society of Japan**, v.70, n.4, p.813-835, Ago. 1992.
- Kodama, Y. M. Roles of the atmospheric heat source in maintaining the subtropical convergence zones: Na Aqua-planet GCM Study. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.56, n.23, p.4032-4049.
- Krishnamurti, T. N.; Kanamitsu, M.; Koss, W. J.; Lee, J. D. Tropical east-west circulation during the northern winter. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.30, p.780-787, Jul. 1973.
- Liebmann, B.; Kiladis, G. N.; Marengo, J. A.; Ambrizzi, T.; Glick, J. D. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v.12, p.1877-1891, Jul. 1999.
- Madden, R. A.; Julian, P. R. Description of a 40-50 Day Oscillation in the Zonal Wind in the Tropical Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.28, p.702-708, Jul. 1971.
- Marton, E. Oscilações Intrasazonais Associadas a Zona de Convergência do Atlântico Sul no Sudeste Brasileiro, **Tese de doutorado**, IAG/USP, p.204, 2000.
- Nobre, C. Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: A importância do Oceano Atlântico. **Climanálise**, v.3, n.4, p.30-35, Abr. 1988.

Nogués-Paegle, J.; Mo, K. C. Alternating Wet and Dry Conditions over South America during Summer. **Monthly Weather Review**, v.125, p.279-291, Feb. 1997.

Quadro, M. F. L. **Estudos de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. São José dos Campos. 94p. (INPE-6341-TDI/593). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1994.

Revista Climanálise, Dezembro, Janeiro e Fevereiro, v. 1-14, n1,2,12, 1986-2000

Robertson, A. W., Mechoso, C. R. Interannual and interdecadal variability of the South Atlantic Convergence Zone. **American Meteorological Society**, v.128, p.2947-2957, Aug. 2000.

Sakamoto, M. S.; Silva Dias, M. A. F. Análise da variação temporal da convergência de massa e mesoescala num período chuvoso. In: 6º Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia**, Salvador, **1990**, v.1, p.305-309, 1990.

Sanches, M. B.; Silva Dias, M. A. F. Análise Sinótica de Verão. A Influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). In: 9º Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão. **Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v.1, p.439-443, 1996.

Santos, I. A. Variabilidade da Circulação de Verão da Alta Troposfera na América do Sul Tropical. São Paulo. **Dissertacao de mestrado**, IAG/USP p.132+ apêndices, 1986.

Satyamurti, P.; Rao, V. B. Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Climanálise**, v.3, p.31-35, Mar. 1988.

Satyamurti, P.; Santos, R. P.; Lemes, M. A. M. On the Stationary Trough Generated by the Andes. **Monthly Weather Review**, v.108, p.510-520, Abr. 1980.

Schwerdtfeger, P.; Mattos, L. F. The atmospheric circulation over central and South America. **In: Climates of central and South America. Amsterdam, Elsevier**, p.1-12, 1976.

- Silva Dias, M. A. F.; Silva Dias, P. L. Tropical and subtropical South American precipitation forecasts: December 1993. In: 8^o Congresso Brasileiro de Meteorologia e 2^o Congresso Latino Americano e Ibérico de Meteorologia, Belo Horizonte. **Anais. Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v.2, p.477-480, 1994
- Silva Dias, P. L. A Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: IV Curso de Interpretação de imagens e análise meteorológica. **Curso de extensão universitária**, 1995, UNIVAP. São José dos Campos, SP.
- Silva Dias, P. L.; Bonatti, J. P.; Kousky, V. E. Diurnally forced tropical Tropospheric circulation over South America. **Monthly Weather Review**, v.115, p.1465-1478, 1987.
- Silva Dias, P. L.; Etchichury, P.; Scola, J.; Pereira Filho, A. J.; Satyamurti, P.; Silva Dias, M. ^a F.; Grammelsbacher, I.; Grammelsbacher, E. As chuvas de março de 1991 na região de São Paulo. **Climanálise**, v.6, p.44-59, Mai. 1991.
- Silva Dias, P. L.; Shubert, W. H.; DeMaria, M. Large-Scale Response of the Tropical Atmosphere to Transient Convection. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.40, p.2689-2707, Nov. 1983.
- Silva, B. W.; Gandu, A. W. Sensibilidade na simulação com o RAMS em um período de ZCAS. [CD-ROM] In: 10^o Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília. **Anais da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, Brasília, 1998.
- Silva, B. W.; Gandu, A. W. Simulação de um episódio de ZCAS com o modelo RAMS. [CD-ROM] In: 10^o Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília. **Anais da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, Brasília, 1998.
- Spiegel, M. R. **Probabilidade e Estatística**. Coleção Schaum, p.517, 1978
- 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, Jun. 1973.

- Taljaard, J. J. The clouds bands of the South Pacific and Atlantic Oceans. **Meteorological Monographs**, v.13, p.189-192, Nov. 1972.
- Trenberth, K. E. The Definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.78, n.12, p.2771-2777, Dez. 1997.
- Vianello, R. L. **Ondas estacionárias forçadas pela topografia e pelas forçantes e sumidouros de calor no Hemisfério Sul**. (INPE-2080-TDI/055) Tese de Doutorado em Meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, INPE, 1981.
- Yassunary, T. Stationary waves in the Southern Hemisphere mid-latitude zonal revealed from average brightness charts. **Journal of Meteorological Society of Japan**, v.55, p.274-285, Jun 1977.