

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

GYRLENE APARECIDA MENDES DA SILVA

**Variabilidade inter-El Niños e seu impacto no jato de baixos níveis a leste dos Andes
durante o verão austral**

São Paulo

2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

GYRLENE APARECIDA MENDES DA SILVA

**Variabilidade inter-El Niños e seu impacto no jato de baixos níveis a leste dos Andes
durante o verão austral**

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

Área de Concentração: Climatologia Dinâmica
Orientador: Prof. Dr. Tércio Ambrizzi

São Paulo

2005

À minha amada Mãe que sempre esteve ao meu lado encorajando-me
diante dos desafios, e à memória do meu filho felino (Tico).

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Todo Poderoso que me ilumina e me guia. Sem sua benção essa dissertação não teria sido concluída.

À minha Mãe que se manteve sempre exemplar mesmo diante da distância física que nos separou durante o mestrado. Uma mãe perfeita, a minha companheira.

Aos meus familiares e amigos de Maceió sempre preocupados comigo.

Ao Prof. Dr. Tércio Ambrizzi pela orientação, amizade e respeito.

Sou grata à FAPESP pelo apoio financeiro (Proc. Nº. 02/10741-3), ao revisor e aos órgãos CNPQ (Proc. Nº. 302459/2002-2) e IAI-CRN055.

Agradeço ainda aos docentes do IAG Drs. Adilson W. Gandú, Artêmio P. Fattori, Leila M. V. de Carvalho, Maria A. F. S. Dias, Pedro L. S. Dias, Ricardo de Camargo e Rosmeri P. da Rocha e aos funcionários Fagner, Luciana, Marisa e Samuel. Todos de alguma maneira me ajudaram ao longo desses dois anos. Sugestões, suporte técnico, críticas, ensinamentos, palavras de conforto, tudo foi válido.

A minha companheira de sala Anita, tão compreensiva, atenciosa e acima de tudo amiga. Aos amigos Andréa, Edmilson, Fabrício, Gabriela, Hallak, Michel, Raupp, Rodrigo, Rosane, Santiago, Simone e Thaís pelas dicas e ensinamentos nas horas difíceis.

As amizades construídas ao longo do mestrado. Pessoas de diferentes partes do continente, das mais diversas culturas, religiões e crenças que me mostraram o quanto é bom viver em grupo. Com eles pude viver momentos inesquecíveis.

RESUMO

SILVA, G. A. M. **Variabilidade inter-El Niños e seu impacto no jato de baixos níveis a leste dos Andes durante o verão austral.** 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

O estudo tem como objetivo analisar o impacto da variabilidade inter eventos El Niño/Oscilação Sul (ENOS) sobre o Jato de Baixos Níveis (JBN) a leste dos Andes durante o verão austral. Para detectar os episódios de JBN aplicou-se o critério 1 de Bonner nos campos de circulação atmosférica do NCEP/NCAR para o período de verão austral de 1981 a 2003. Investigou-se o impacto do posicionamento do máximo de convecção sobre o centro leste do Pacífico Equatorial na intensidade e posicionamento do JBN. As composições de circulação atmosférica sobre a América do Sul (AS) mostraram que o transporte de umidade dos trópicos aos extratropicais pelo JBN é influenciado por pequenos deslocamentos no posicionamento de trem de ondas semi-estacionárias. A maior contribuição do padrão ondulatório de grande escala na gênese do JBN ocorreu quando a atmosfera estava sob influência da fase quente do ENOS. Através das composições durante os dias de atuação de JBN observou-se que durante El Niños fortes e fracos o sistema é alimentado pelos ventos Alísios de leste e norte, respectivamente. Em anos de La Niñas fortes e anos neutros um segundo escoamento de oeste vindo do Pacífico Equatorial Leste cruza a AS contribuindo na manutenção do JBN. Distúrbios baroclínicos transientes ao interagirem com o JBN, em torno de 20°S e 35°S, modificaram a localização do seu eixo e intensidade. O posicionamento do eixo mais ao sul

ou a sudeste do continente influenciou a atividade convectiva na Zona de Convergência do Atlântico Sul. Um modelo baroclínico seco foi utilizado na pesquisa. As simulações mostraram que mudanças na localização da forçante de calor podem influenciar na resposta atmosférica extratropical. O JBN ficou mais bem configurado quando a forçante foi posicionada em torno da região de Niño 3.4. Contudo, a ausência de interações com sistemas transientes fez com o eixo do jato simulado ficasse deslocado mais a oeste do observado.

Palavras-chave: Jato de Baixos Níveis. Variabilidade interanual. Circulação atmosférica da América do Sul.

ABSTRACT

SILVA, G. A. M. **Inter - El Niño variability and its impact on the South American Low-Level Jet east of the Andes during the austral summer.** 2005. 84 f. M.Sc. Dissertation – Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences, University of São Paulo, São Paulo, 2005.

This work investigates the impact of the inter El Niño–Southern Oscillation (ENSO) variability on the South American Low-Level Jet east of the Andes (SALLJ) during the austral summer (defined as the period between December and February). The Bonner criterium 1 was applied to the NCEP-NCAR circulation fields for the period from 1981 to 2003 to identify the SALLJ episodes. The impact of the location of the maximum convection over Eastern Central Pacific over the intensity and location of the SALLJ was investigated. The composites of the atmospheric circulation over the South American (SA) showed that the moisture transport from the tropics to the extratropics by the SALLJ was influenced for small displacements of the position of the quasi-stationary Rossby waves. The most important contribution of the large scale over the SALLJ generation occurred when the atmosphere was influenced by warm ENSO phase. The composites showed that during strong El Niño events the SALLJ is maintained by the eastern trade winds, while the northern trade winds maintain the SALLJ during weak El Niño events. In strong La Niña events and in neutral conditions there is a secondary western flux from the Equatorial Eastern Pacific crossing the SA and contributing for the maintenance of the SALLJ. When baroclinic transients interact with the SALLJ in the region between 20°S and 35°S, they modify the localization and intensity of the

jet. The displacement of the jet to the south or southeast influenced the convective activity over the South Atlantic Convergence Zone. A dry baroclinic model was used in the research. The simulations suggested that changes in the position of the convective forcing can influence the extratropical atmospheric response. The SALLJ was better configured when the forcing was located in the Niño 3.4 region. However, the absence of interaction with baroclinic transients systems displaced the jet axis to the west of the observed one.

Keywords: Low-Level Jet. Interannual Variability. South American Atmospheric Circulation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. DADOS E METODOLOGIA	17
2.1 DADOS	17
2.2 METODOLOGIA.....	18
2.2.1 DISPONIBILIDADE DO VAPOR D'ÁGUA NA ATMOSFERA DURANTE EVENTOS ENOS	21
2.2.2 TESTE DE SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA (TESTE T-STUDENT)	22
2.2.3 O MODELO BAROCLÍNICO SECO IGCM	23
3. ESTUDOS DE CASO DURANTE OS EL NIÑOS DE 1997/1998 E 2002/2003	27
4. VARIABILIDADE INTERANUAL DOS JBN.....	34
5. COMPOSIÇÕES DE TSM E DE CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA ASSOCIADA	36
6. COMPOSIÇÕES DURANTE OS DIAS DE ATUAÇÃO DE JBN	45
7. SIMULAÇÕES NUMÉRICAS	66
8. CONCLUSÕES.....	73
9.SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	76
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

1. INTRODUÇÃO

A circulação atmosférica pode ser melhor compreendida por meio das análises de teleconexões (uma vez que forçantes locais agem no sentido de influenciar regiões remotas) e pelo estudo das flutuações de grande escala e de baixa frequência. Podemos citar como forçantes remotas, as variações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) tropical que agem como moduladores do clima global.

As anomalias de TSM influenciam a atmosfera em consequência da alteração do fluxo de calor sensível e latente dos oceanos. De acordo com dados do *Atmospheric Model Intercomparison Project* (AMIP), o máximo de TSM sobre o oceano Pacífico Equatorial ocorre durante o verão austral. Esse máximo está muitas vezes relacionado à fase quente do fenômeno El Niño/Oscilação Sul (ENOS), que por sua vez causa um grande número de anomalias climáticas interanuais nos trópicos e extratropicais.

Segundo Trenberth et al (1998), anomalias de TSM como as que ocorrem durante eventos quentes de ENOS, forçam anomalias de convecção e consequentemente subsidência de grande escala ligada ao ramo descendente da circulação de Hadley, que resulta em perturbações nas ondas estacionárias planetárias climatológicas e correntes de jatos associados. Essas perturbações têm certamente um impacto nos padrões globais de teleconexões. As circulações associadas à célula de Walker também são afetadas e de forma linear (circulação térmica direta) acabam por alterar os padrões de ventos na região tropical (Kousky et al., 1984; Coelho e Ambrizzi, 2000).

A relação entre ENOS e sua influência remota, principalmente na precipitação, tem sido investigada por muitos autores (p.ex., Ropelewski e Halpert, 1986, 1987; Kiladis e Diaz, 1989). Em particular sobre a América do Sul (AS), as teleconexões da fase quente do fenômeno indicam déficit de precipitação ou mesmo secas no Norte e Nordeste do Brasil (Kousky et al, 1984; Pezzi e Cavalcanti, 2001) e chuvas acima do normal sobre o Sul do Brasil, Norte da Argentina, Uruguai e Chile (Aceituno, 1988; Rao e Hada, 1990, Grimm et al, 1998, entre outros). Por outro lado, a fase fria do ENOS, tem de forma geral mostrado chuvas com sinais opostos sobre as mesmas regiões (Grimm et al, 2000; Ropelewski e Halpert, 1989; Coelho, 2001).

Drumond (2001) e Drumond e Ambrizzi (2003) através do estudo dos eventos El Niño 1982/83, 86/87, 91/92 e 97/98, verificaram a existência da variabilidade inter episódios da forçante de TSM, da circulação atmosférica e da precipitação sobre as Américas. Na América do Sul, a variação inter El Niño da precipitação ocorre principalmente sobre o Uruguai, sul e leste do Brasil.

Embora estudos anteriores de precipitação sobre a AS tenham fortemente sugerido a existência de relações entre anomalias de TSM no oceano Pacífico e precipitação, pouca atenção havia sido dada no estudo da identificação das regiões do Pacífico Central e Leste que eram mais correlacionadas com a precipitação na AS durante eventos extremos de ENOS. Recentemente, Coelho et al (2002) usando métodos estatísticos de Decomposição de Valores Singulares e Correlação Linear Simples, analisaram a relação simultânea entre a TSM do Pacífico tropical e a precipitação observada sazonalmente em várias estações de superfície espalhadas pela AS durante eventos ENOS. Seus resultados indicaram que o Pacífico Tropical

Leste, em torno de 140°W tem a maior influência sobre a precipitação em várias regiões do continente sul-americano durante El Niños. Por outro lado, durante La Niñas, a região próxima à área central do Pacífico mostrou uma influência mais significativa.

É durante o verão austral (dezembro-fevereiro) que os sistemas meteorológicos atuantes sobre a AS demonstram maior impacto no regime de precipitação do continente. Dentre estes sistemas estão os Jatos de Baixos Níveis (JBN) a leste dos Andes, que pode ser definido como um sistema subsinótico de vento com altas velocidades, geralmente abaixo de 2 km, e extensão horizontal de centenas de quilômetros. Sua função consiste em transportar calor sensível e latente, gerar turbulência por meio do cisalhamento e participar ativamente como mecanismo disparador da instabilidade potencial favorável para a formação de tempestades severas no Sudeste/Sul do Brasil e Norte da Argentina.

Em termos de escalas interanuais, alguns estudos observacionais mais recentes indicaram que em alguns eventos El Niño os JBNs se mostraram mais frequentes e intensos do que a média climatológica. Objetivando ampliar estes resultados, o presente estudo consiste em analisar qual o impacto remoto da variabilidade inter - El Niños na gênese do JBN.

Vários autores documentaram a existência de JBN em todo o globo, dentre os mais conhecidos, estão os jatos da Grande Planície Norte-Americana, cuja climatologia foi estabelecida por Bonner (1968). Bonner estabeleceu critérios para identificação dos jatos, baseado em análises estatísticas aplicado a dois anos de dados obtidos de 47 estações de radiossondagem distribuídas pelos Estados Unidos.

No continente sul-americano alguns estudos observacionais utilizando dados de reanálises do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) relataram a ocorrência de JBN em diferentes estações do ano (Paegle, 1998; Douglas et al, 1998 e 2000; Saulo et al 2000; Misra et al 2000). Nesses trabalhos, os episódios foram identificados durante o verão e outono de 1997-1999. Sugahara et al (1994) mostraram em um estudo no qual englobou oito verões que, em aproximadamente 30 % dos dias, o escoamento de norte a leste dos Andes adquiriu características de jato em baixos níveis (com velocidade superior a 8 m.s^{-1} e cisalhamento vertical de no mínimo 2 m.s^{-1} entre 850 e 700 hPa). Na média dos dias com jato, a velocidade máxima atingiu 13 m.s^{-1} em 850 hPa. Os autores também compararam os dias com jato com aqueles sem jato através da diferença no campo de Radiação de Onda Longa (ROL), e mostraram que a convecção foi intensa e concentrada nos dias com jato na região, onde tipicamente ocorrem os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) subtropicais. Na região da Amazônia não houve nenhum sinal de diferença em ROL nos dias com e sem jato. Porém na região da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) a convecção foi menos intensa em dias com jato.

Salio et al (2002) mostraram que intensos episódios de JBN estiveram relacionados com enfraquecimento da ZCAS. Marengo et al (2004) aplicaram o critério 1 de Bonner em campos de circulação e umidade oriundos das reanálises do NCEP para o período de 1950-2000. Os autores verificaram que as maiores ocorrências de jatos ocorrem durante os meses de dezembro a fevereiro sobre a região da Bolívia, seguidas de desintensificação da ZCAS; e durante maio a agosto sobre a região do Paraguai. Os autores discordam da teoria de James e

Anderson (1984) o qual sugeriram que a convecção Amazônica seja a forçante responsável para que escoamento de norte a leste dos Andes se desloque para latitudes altas.

Os JBNs identificados por Bonner são responsáveis pelo transporte de umidade do Golfo do México ao centro dos Estados Unidos, associado com uma intensa convecção do tipo monção durante o verão, com intensidade máxima durante entre 00Z e 06Z. Para a AS estudos recentes mostraram que no caso dos JBNs a leste dos Andes, o transporte de umidade ocorre da Amazônia e do Atlântico Tropical para as regiões Sudeste e Sul do Brasil, Uruguai, Paraguai e Norte da Argentina. A umidade transportada em ambos os casos, condensa na região de convergência de umidade na saída do jato, e em alguns casos, dá lugar à formação de CCM.

A Figura 1, elaborada por Marengo et al (2004), esquematiza o ambiente físico descrito anteriormente. Nota-se na região de saída do jato, o transporte de umidade da Amazônia através do Sul do Brasil e norte da Argentina, e a mudança na direção do fluxo de nordeste para noroeste ao encontrar os Andes. A convergência de umidade da Bacia Amazônica (oriunda do Atlântico Norte pelos Alísios) e do Atlântico Sul na região do JBN, favorece a atividade convectiva e conseqüente chuva na região de saída do jato.

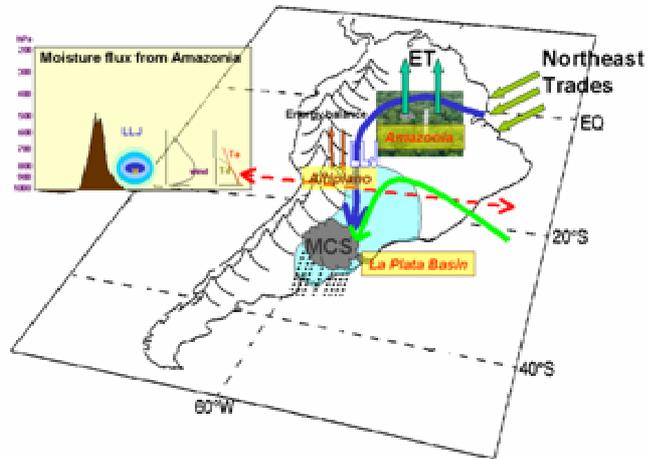


Figura 1: Modelo conceitual do ambiente físico do JBN durante a estação chuvosa. Destaca-se a interação entre as Bacias dos Rios Prata e Amazônia. Fonte: Marengo et al (2004).

O ciclo diurno dos JBN ainda não está bem caracterizado por atuar em regiões de grandes falhas de dados observacionais (estendendo-se entre o oeste do Brasil, Bolívia, Paraguai, Sul do Brasil, Uruguai e nordeste da Argentina) e devido ao pouco número de observações de ar superior, que ocorrem em média duas vezes por dia.

Logo, um estudo mais detalhado de influência de forçantes remotas sobre o JBN aliado aos dados observacionais, poderá ajudar na compreensão deste fenômeno que afeta a previsibilidade do tempo e clima nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

2. DADOS E METODOLOGIA

2.1 DADOS

O dados a seguir foram selecionados para o período de verão austral (Dezembro-Janeiro-Fevereiro DJF) de 1969 a 2003, iniciando em dezembro do ano inicial (0) e terminando em fevereiro do ano seguinte (1) e estão disponíveis na página do Climate Diagnostics Center (CDC), <http://www.cdc.noaa.gov>:

- sinóticos - vento zonal, vento meridional, temperatura, geopotencial, desde a superfície até 200 hPa, e PNMM extraídos do conjunto da reanálise do NCEP/NCAR (Kalnay et al, 1996). A resolução espacial dos dados é de 2,5° X 2,5° de latitude-longitude.
- médias diárias – função de corrente nos níveis de pressão 850 hPa e 200 hPa.
- médias mensais – temperatura da superfície do mar do NOAA Extended Reconstructed SST (Woodruff et al, 1987) disponíveis com uma resolução espacial de 2,0° x 2,0°. E umidade específica, desde a superfície até 300 hPa, espaçados a cada 2,5° de grade.

Para o período de verão austral 1975 a 2003 foram utilizadas médias diárias de radiação de onda longa oriundas do NOAA (Liebmann and Smith, 1996) em uma resolução horizontal de 2,5° x 2,5° de latitude-longitude.

2.2 METODOLOGIA

Os eventos ENOS selecionados para a climatologia do estudo foram identificados e classificados pelo CPC/NOAA (www.cpc.ncep.noaa.gov) de acordo com a técnica dos tercís (Tabela 1). O critério para identificação de um evento quente (frio) do ENOS equivale a um padrão de anomalias de TSM igual ou superior a 0.5°C (igual ou inferior a -0.5°C) com persistência de três meses na região de Niño 3.4. Na ausência destas situações o evento é considerado como neutro. Para uma classificação mais detalhada foi aplicada a técnica dos tercís dividindo cada classe em terços.

Na seleção dos episódios de JBN foi utilizada a metodologia de Marengo et al (2004). Assumiu-se que o eixo do jato está localizado em torno de 850 hPa, na região de Santa Cruz-Bolívia ($17,75^{\circ}\text{S}$; $63,06^{\circ}\text{W}$), local onde o autor observou a atividade máxima do sistema durante o verão. Para definir a ocorrência ou não de JBN, utilizou-se o Critério 1 de Bonner (Bonner, 1968), que define as seguintes condições a serem cumpridas: (a) vento meridional deve predominar sobre o vento zonal; (b) o vento meridional deve ser de norte; (c) a magnitude do vento em 850 hPa deve ser maior ou igual a $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; (d) deve existir um decréscimo na velocidade do vento de, pelo menos, $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ por quilômetro abaixo do nível de 3 Km (aproximadamente entre 850 e 700 hPa).

EVENTOS	EL NIÑO	LA NIÑA	NEUTRO	CLASSIFICAÇÃO
1981/1982			X	-
1982/1983	X			Forte
1983/1984		X		Fraca
1984/1985		X		Fraca
1985/1986			X	-
1986/1987	X			Moderado
1987/1988	X			Fraco
1988/1989		X		Forte
1989/1990			X	-
1990/1991	X			Fraco
1991/1992	X			Forte
1992/1993	X			Fraco
1993/1994			X	-
1994/1995	X			Fraco
1995/1996		X		Fraca
1996/1997			X	-
1997/1998	X			Forte
1998/1999		X		Moderada
1999/2000		X		Forte
2000/2001			X	-
2001/2002			X	-
2002/2003	X			Fraco

Tabela 1: Eventos ENOS selecionados de acordo com o critério de classificação do CPC/NOAA.

Com o intuito de detalhar as características do JBN, investigou-se o comportamento da circulação atmosférica em dois eventos El Niño de intensidades distintas. A influência da grande escala sobre a circulação atmosférica da AS foi investigada por meio das composições de anomalias de TSM, de função de corrente e do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente e divergente referentes ao período de verão austral de 1981 a 2003. A escolha do período de verão austral de 1981 a 2003 para as composições é baseada nos estudos de

Ambrizzi (2003) e Ambrizzi e Souza (2003). Segundo os autores durante a década de 70 as anomalias de TSM do Atlântico exerceram uma maior influência sobre a circulação atmosférica e regime de chuvas da AS, o que não foi observado durante décadas de 80 e 90, onde o Pacífico de maneira geral mostrou-se mais importante.

Para as composições de anomalia de TSM, as áreas de interesse foram a Bacia do Oceano Pacífico ($15^{\circ}\text{N}-40^{\circ}\text{S}$; $100^{\circ}\text{E}-40^{\circ}\text{W}$). O sinal remoto do ENOS sobre a AS foi examinado pelas composições de anomalia de função de corrente, em 200 hPa e 850 hPa, na mesma área acima. As composições de anomalia do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente e divergente na região entre $10^{\circ}\text{N}-40^{\circ}\text{S}$; $90^{\circ}\text{W}-30^{\circ}\text{W}$ indicarão a disponibilidade de umidade na atmosfera do continente sul-americano (maiores detalhes na secção 2.2.1).

O impacto das circulações de escala sinótica na manutenção do JBN foi examinada através das composições de anomalia de PNMM e vento em 850 hPa, e de Radiação de Onda Longa entre $10^{\circ}\text{N}-60^{\circ}\text{S}$; $120^{\circ}\text{W}-20^{\circ}\text{W}$. Para tanto foram considerados valores médios diários das variáveis para dois dias antes, durante e dois dias depois da ocorrência de um evento de jato.

Um teste de significância estatística foi aplicado às composições sendo este discutido em mais detalhes na secção 2.2.2. Com base nas composições foram elaborados modelos conceituais mostrando caminhos preferenciais de atuação do JBN.

Para o estudo numérico utilizou-se um modelo baroclínico seco. As simulações foram executadas com o objetivo de verificar a importância do posicionamento do máximo de convecção no Pacífico na geração de ondas quase-estacionárias sobre a AS, variando a

localização da forçante térmica inserida no estado básico climatológico de DJF do período de 1969 a 2003 (ver secção 2.2.3).

2.2.1 DISPONIBILIDADE DO VAPOR D'ÁGUA NA ATMOSFERA DURANTE EVENTOS ENOS

A configuração do escoamento do ar em níveis inferiores da atmosfera, devido às características da distribuição vertical do vapor d'água, pode ser representado através do fluxo de vapor d'água atmosférico integrado verticalmente.

Assim como no trabalho de Fernandes (2003), para cálculo do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente foram analisados o conteúdo de água precipitável (W), fluxo horizontal de vapor d'água (Q_λ) e fluxo meridional de vapor d'água (Q_ϕ), calculados na forma discretizada abaixo:

$$W = \frac{1}{g} \sum_{n=1}^N \frac{[q_{n+1} + q_n]}{2} [p_n - p_{n+1}] \quad 1$$

$$Q_\lambda = \frac{1}{g} \sum_{n=1}^N \frac{[(uq)_{n+1} + (uq)_n]}{2} [p_n - p_{n+1}] \quad 2$$

$$Q_{\phi} = \frac{1}{g} \sum_{n=1}^N \frac{[(vq)_{n+1} + (vq)_n]}{2} [p_n - p_{n+1}] \quad 3$$

sendo g aceleração da gravidade, q umidade específica, p pressão, N o número total de camadas do modelo, u e v as componentes zonal e meridional do vento.

O fluxo de umidade é dado por:

$$\vec{Q} = Q_{\lambda} \vec{i} + Q_{\phi} \vec{j} \quad 4$$

2.2.2 TESTE DE SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA (TESTE T-STUDENT)

Aplicou-se o teste-T similar ao trabalho de Harrison e Larkin (1998) para determinar a área de aceitação (rejeição) em que as anomalias possuíam (não possuíam) significância estatística durante o cálculo das composições.

O teste baseia-se na seguinte fórmula:

$$A_c \geq \frac{Z_{90}(n) x \sigma_c}{\sqrt{n}} \quad 5$$

sendo A_c a anomalia da composição; n o número de eventos usados em cada composição; σ_s o correspondente desvio padrão; Z_{90} o valor da distribuição relativa ao teste-T para n graus de

liberdade assumindo-se o nível de significância de 90%. A anomalia da composição é aceita com significância estatística ao nível de 95% se esta for maior ou igual ao teste-T.

2.2.3 O MODELO BAROCLÍNICO SECO IGCM

O modelo baroclínico seco utilizado no estudo, *Intermediate Global Circulation Model* (IGCM), foi originalmente desenvolvido por Hoskins e Simmons (1975). Os campos no modelo são representados horizontalmente através de harmônicos esféricos, sendo o truncamento do tipo triangular dentado. O método de integração no tempo é o semi-implícito em que são aplicadas médias temporais para suavizar os movimentos mais rápidos gerados por ondas de gravidade linearizadas.

O escoamento básico necessário para integrar o modelo requer os campos de vorticidade absoluta (ζ), divergência (D), temperatura (T), geopotencial (Φ) e pressão em superfície (p_s), todos adimensionais. Ferraz (2004) fez uma descrição do modelo através do conjunto equações do movimento não-dimensionais, para um gás perfeito em uma esfera, não viscoso, adiabático, hidrostático e em rotação:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{1}{1-\mu^2} \frac{\partial}{\partial \lambda} \mathfrak{F}_v - \frac{\partial}{\partial \mu} \mathfrak{F}_u \quad 6$$

$$\frac{\partial D}{\partial t} = \frac{1}{1-\mu^2} \frac{\partial}{\partial \lambda} \mathfrak{F}_u + \frac{\partial}{\partial \mu} \mathfrak{F}_v - \nabla^2 \left(\frac{U^2 + V^2}{2(1-\mu^2)} + \phi + \bar{T} \ln p^* \right) \quad 7$$

$$\frac{\partial T'}{\partial t} = -\frac{1}{1-\mu^2} \frac{\partial}{\partial \lambda} (UT') - \frac{\partial}{\partial \mu} (VT') + DT' - \dot{\sigma} \frac{\partial T}{\partial \sigma} + k \frac{T\omega}{p} \quad 8$$

$$\frac{\partial \ln p^*}{\partial t} = -V \cdot \nabla \ln p^* - D - \frac{\partial \dot{\sigma}}{\partial \sigma} \quad 9$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial \ln \sigma} = -T \quad 10$$

sendo $\mu = \sin \theta$; θ a latitude; λ a longitude; $U = u \cdot \cos \theta$; $V = v \cdot \cos \theta$; σ a coordenada vertical de pressão/ p^* ; e ainda

$$\mathfrak{F}_u = V \zeta - \sigma \frac{\partial U}{\partial \sigma} - T' \frac{\partial \ln p^*}{\partial \lambda} \quad 11$$

$$\mathfrak{F}_v = -U \zeta - \dot{\sigma} \frac{\partial V}{\partial \sigma} - T' (1-\mu^2) \frac{\partial \ln p^*}{\partial \mu} \quad 12$$

O IGCM é um modelo que utiliza o método de transformação espectral, cuja variáveis dependentes são representadas espacialmente em termos de séries finitas de componentes de onda. Logo, os campos adimensionais anteriormente citados são representados por meio de harmônicos esféricos.

O truncamento é do tipo triangular dentado e é representado pelo número de onda total 42 (T42) associado a uma grade gaussiana de 128 longitudes e 64 latitudes. Eventuais gradientes intensos devido a truncagem são suavizados através de difusão bi-harmônica com

coeficiente $2.333 \times 10^6 \text{ m}^4 \cdot \text{s}^{-1}$. Na vertical é utilizado o sistema de coordenadas de pressão com 12 níveis sigma.

As seguintes etapas foram necessárias na execução do IGCM:

- 1) Geração de campos médios de vento zonal e meridional, temperatura e geopotencial para DJF de 1969 a 2003 excluindo os anos de El Niño.
- 2) Cálculo da vorticidade e divergência a partir dos campos de vento zonal e meridional.
- 3) Conversão dos campos de ζ , D , T e Φ da grade de 144 longitudes x 73 latitudes, espaçados a cada $2,5^\circ$, para uma grade de 128 longitudes x 64 latitudes (grade gaussiana, espaçados a cada $2,8^\circ$).
- 4) Geração do campo de pressão em superfície a partir da equação hidrostática (Wallace e Hobbs, 1977).
- 5) Interpolação do escoamento básico para níveis sigma.
- 6) Conversão dos valores do escoamento básico a cada ponto de grade para coeficientes espectrais de harmônicos esféricos.
- 7) Conversão do truncamento triangular plano para o truncamento triangular dentado.

O IGCM tem sido intensivamente utilizado em estudos da circulação de grande escala, forçados por uma fonte de calor quando posicionado sobre os trópicos, ou uma fonte de vorticidade quando localizado em regiões extratropicais (Ambrizzi e Hoskins, 1997).

As simulações foram feitas com o objetivo de verificar a importância do posicionamento do máximo de convecção no Pacífico na geração de ondas quase-

estacionárias sobre a AS, variando a localização da forçante térmica inserida no estado básico climatológico.

As variáveis analisadas na saída do modelo foram função de corrente em 200 hPa entre 5°N - 55°S ; 150°E - 0° e vento em 850 hPa na região 10°N - 40°S ; 90°W - 30°W .

3. ESTUDOS DE CASO DURANTE OS EL NIÑOS DE 1997/1998 E 2002/2003

Neste item será analisada a circulação atmosférica sobre a AS observada durante o verão austral de 1997/1998 e 2002/2003. O objetivo é verificar o comportamento do JBN diante da ocorrência de eventos El Niño de intensidades distintas.

Os eventos escolhidos 1997/1998 e 2002/2003 possuem intensidades forte e fraca, respectivamente. A Tabela 2 mostra os dias com atuação de jatos sendo que os horários das 0600UTC e 1200UTC mostraram ser preferenciais para ocorrência da máxima intensidade. Paegle (1987) concluiu que o jato noturno de baixos níveis funciona como um importante mecanismo para iniciar a convecção ao longo da costa leste dos Andes, podendo ser influenciado pela circulação de vale-montanha. Durante o dia o aquecimento da superfície a leste da Cordilheira e a mistura turbulenta diminuem a intensidade dos ventos. À noite o desacoplamento do escoamento acima da camada estável favorece aceleração dos ventos, minimizando o efeito de atrito.

A Figura 2 mostra o padrão de anomalia de TSM sobre o Oceano Pacífico Equatorial para o episódio de 1997/1998 e 2002/2003, respectivamente. Em 2a, nota-se uma “língua” de águas quentes da ordem de 3.5°C desde 120°W até a costa do Peru. O episódio mais fraco (Figura 2b) apresentou anomalias de até 1°C entre 160°W-140°W.

	DIAS	HORA (UTC)
DEZ/97	10	12
	12	06,12
	13	12
	23	06
	27	00,12
	28	06,12
	29	12
	30	06
JAN/98	1	06,12
	6	06
	11	12
	17	12
	27	06,12
	28	06,12
FEV/98	2	06
	18	06
	24	06,18
	25	06
	26	06
DEZ/02	19	06,12
JAN/03	03	06
	18	06
	20	00,12
	21	06,12
	22	06,12
	23	06
FEV/03	8	06
	19	06
	20	06

Tabela 2: Dias e horários com ocorrência de JBN para a região de Santa Cruz, durante os El Niños de 1997/1998 e 2002/2003.

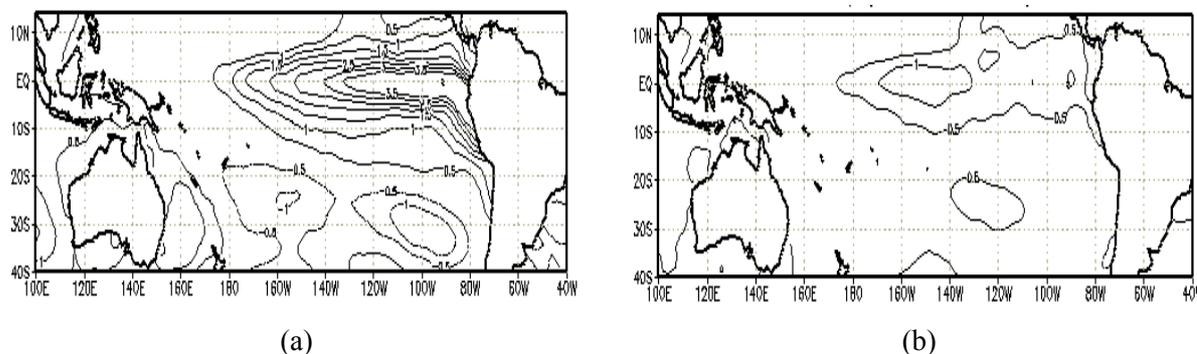


FIGURA 2: Anomalia de TSM ($^{\circ}\text{C}$) observada nos El Niños de 1997/1998 (a) e de 2002/2003 (b) durante o verão austral. Intervalos entre isolinhas a cada 0.5°C .

A Figura 3 mostra o comportamento dos ventos climatológicos para o verão em altos e baixos níveis. No nível de 850 hPa (Figura 3a) destaca-se a presença dos anticiclones subtropicais nos oceanos Pacífico e Atlântico e um escoamento de leste que, ao encontrar Andes, é defletido para noroeste e se desloca para o sul da América do Sul. Em 200 hPa, a Alta da Bolívia encontra-se posicionada em torno de $17^{\circ}\text{S};65^{\circ}\text{W}$. Em torno 30°S sobre a AS, observamos a presença da corrente de Jato Subtropical (JST). Um cavado em altos níveis atua sobre o Oceano Atlântico nas proximidades da costa nordeste do Brasil.

Na Figura 4 são plotados os campos de anomalia de vento em 850 hPa e 200 hPa para o trimestre DJF de 1997/1998 (Figuras 4a e 4b) e 2002/2003 (Figuras 4c e 4d). Na Figura 4a, observa-se uma deflexão anômala do fluxo de vento a leste dos Andes, sendo esse canalizado em direção ao Sul do Brasil e Norte da Argentina. A velocidade dos ventos no núcleo do JBN foi de aproximadamente $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, valor inferior ao climatológico que é de aproximadamente $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Durante o trimestre a ZCAS esteve ativa apenas entre os dias 12 e 16 de fevereiro (Climanálise, 1998). Esta configuração pode ser explicada pela presença de um anticiclone

anômalo de estrutura barotrópica equivalente posicionado em 22°S;40°W que impediu o deslocamento das frentes frias mais ao norte dos continente.

Em 200 hPa (Figura 4b), nota-se que o JST aparece desintensificado e posicionado mais o sul em relação à climatologia (Figura 3b). A relação entre JST e o JBN contribui com a dinâmica de sistemas convectivos de latitudes médias. A região de entrada do jato em altos níveis é caracterizada por confluência na parte sul e difluência na parte norte, do mesmo modo que a região de saída apresenta difluência na parte sul e confluência na parte norte. A difluência na parte sul da saída do JST favorece convergência em superfície. Esse mecanismo, juntamente com a convergência de umidade na região de saída do JBN, fornecem suporte para o desenvolvimento de CCMs. Próximo da costa nordeste brasileira a intensificação de um cavado de altos níveis pode ter contribuído com o enfraquecimento da Alta da Bolívia.

No evento de 2002/2003 (Figura 4c) ventos anômalos de norte em baixos níveis vindos do Oceano Atlântico Equatorial cruzam a costa norte do Brasil e seguem em direção ao interior do País configurando o JBN. A velocidade no núcleo do jato foi de aproximadamente de 3 m.s^{-1} inferior ao valor climatológico e sua saída ficou deslocada para sudeste em relação à climatologia. Na Figura 4d a corrente de JST mostrou-se mais intensa em relação à climatologia (Figura 3b) sobre o sudeste do continente. A presença de uma circulação anticiclônica sobre o Atlântico e sudeste do Brasil pode ser uma resposta à atividade convectiva na região da ZCAS.

A Figura 5 apresenta os perfis médios do vento meridional e umidade específica na latitude de Santa Cruz (17,75°S) para o El Niño de 1997/1998 (Figura 5a) e de 2002/2003 (Figura 5b). As Figuras 5a e 5b ilustram que o eixo do jato, caracterizado por ventos

máximos, ficou localizado em torno de 750-900 hPa entre 65°W-55°W e o conteúdo de umidade foi superior a 14 g.kg^{-1} em níveis inferiores a 700 hPa. A componente meridional de norte foi mais intensa na Figura 5a em relação à Figura 5b.

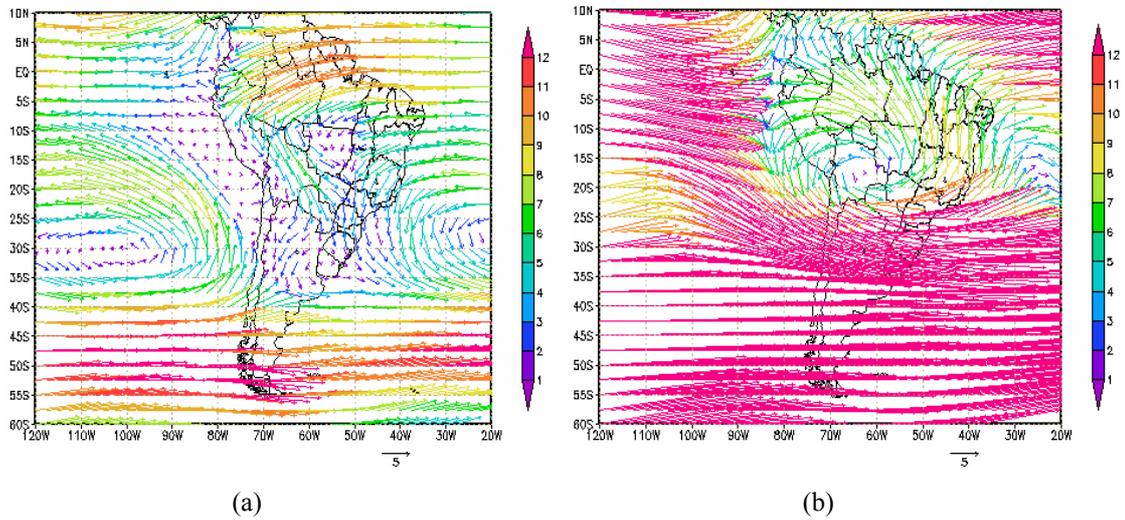


Figura 3: Climatologia dos ventos para o trimestre DJF de 1969 a 2003 (m.s^{-1}).

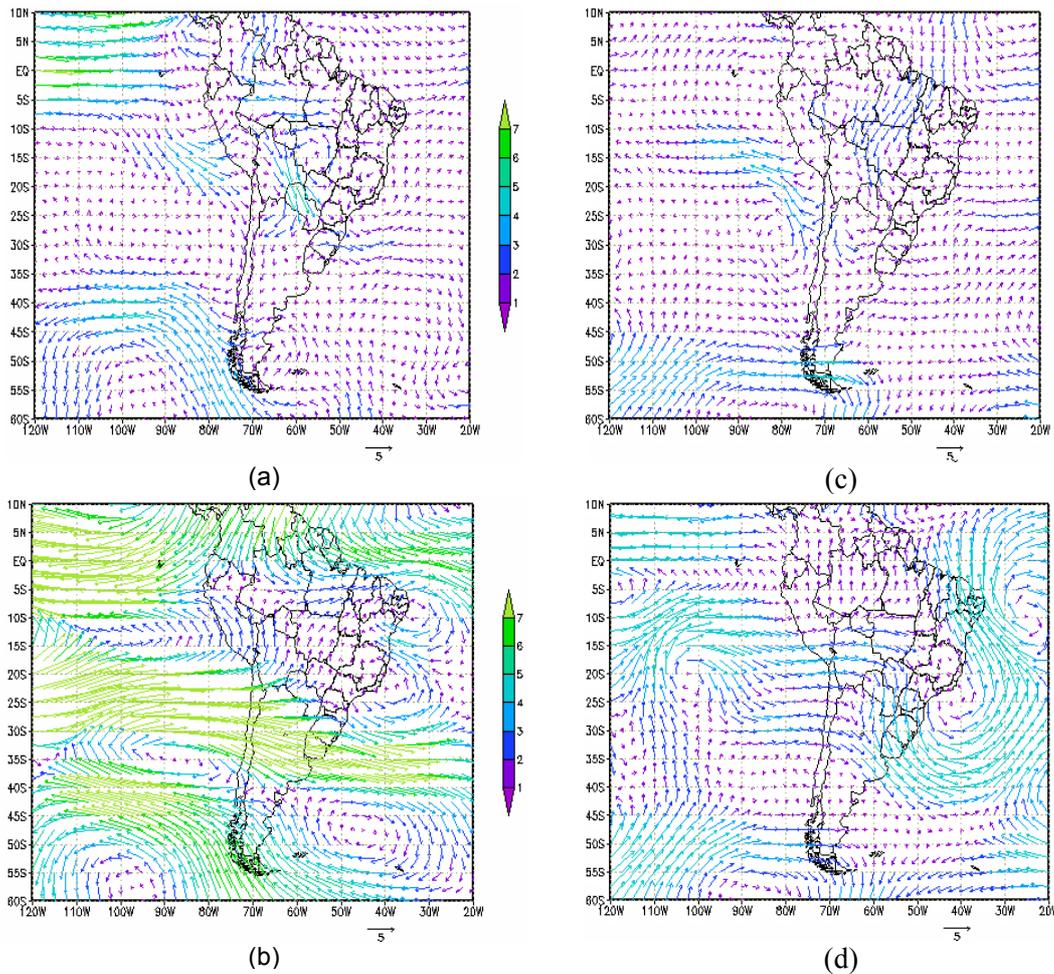


Figura 4: Anomalia de vento (m.s^{-1}) em 850 e 200 hPa, respectivamente: (a) e (b) evento de 1997/1998; (c) e (d) evento de 2002/2003.

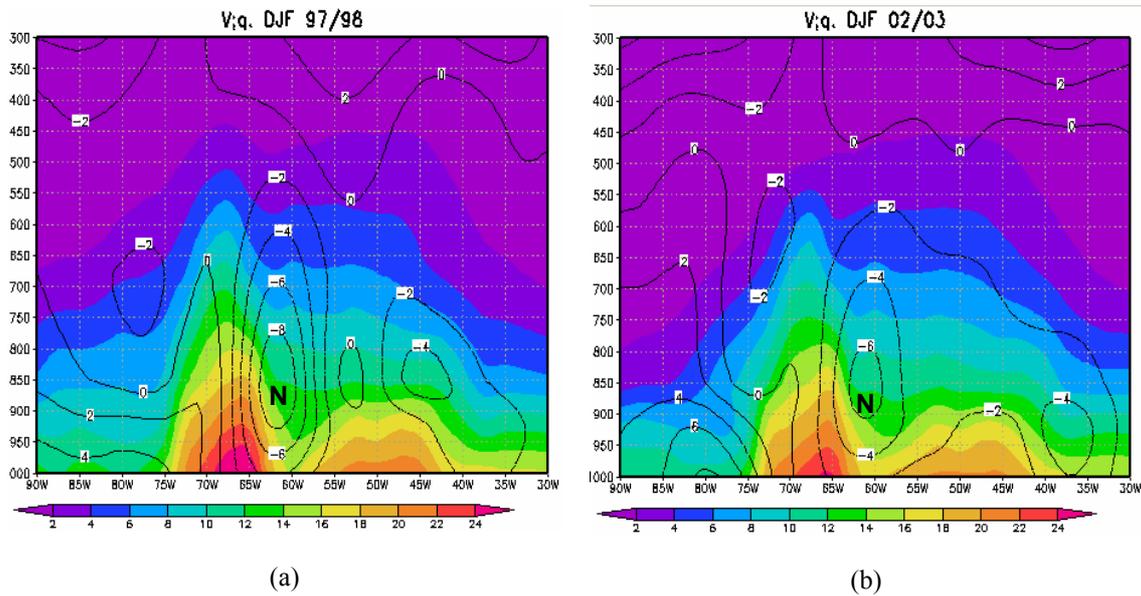


Figura 5: Perfil médio de umidade específica (g.kg^{-1}) e vento meridional (m.s^{-1}), centrado em $17,75^\circ\text{S}$. (a) DJF - 97/98; (b) DJF - 02/03. A letra N corresponde a escoamento de norte.

Para os estudos de caso notou-se uma certa variabilidade no padrão de circulação de um evento para o outro. As características do escoamento em baixos níveis a leste dos Andes, pode sofrer influência de fatores de escala sinótica como também de grande escala, como as variações no padrão de anomalia de TSM no Pacífico Equatorial. O transporte meridional de umidade dos trópicos para os extratropicos pelo JBN apresentou valores de até 14 g.kg^{-1} entre a superfície e o nível de 700 hPa. O acoplamento do JST com o JBN cria uma região de instabilidade convectiva atmosférica favorecendo a geração de sistemas ciclônicos na região de saída do JBN.

4. VARIABILIDADE INTERANUAL DOS JBN

O gráfico a seguir mostra às ocorrências de JBN em Santa Cruz para o período de DJF de 1981 a 2003 onde foram identificados 9 eventos El Niño, 6 eventos La Niña e 6 eventos neutros. Ocorrências de 16 ± 8 jatos foram consideradas em torno da climatologia. Dentre os eventos El Niño que apresentaram frequência de jato acima da média temos os de 1987/1988 (fraco), 1991/1992 (forte), 1997/1998 (forte), com ocorrências dentro da média nos demais eventos. Nas La Niñas de 1983/1984 (fraca), 1984/1985 (fraca) e 1998/1999 (moderada) observaram-se frequências abaixo da média, porém os demais episódios ficaram dentro da normalidade. Os eventos neutros tiveram todo tipo de ocorrência, por exemplo, acima da normal no episódio de 1981/1982, abaixo da normal no episódio de 2001/2002 e dentro da normalidade no restante dos anos.

A fase quente do ENOS parece gerar uma frequência maior de JBN, particularmente os de intensidade forte e fraca. Marengo et al (2004) exploraram o papel do TSM tropical na atividade do JBN em escala interanual. Seus resultados mostraram correlações com significância estatística positiva entre a frequência de JBN e anomalias de TSM observadas no Oceano Pacífico Equatorial, enquanto que no Oceano Atlântico as correlações foram mais fracas. E ainda, que aproximadamente 20% da variância do número JBN pode ser explicada pelo aquecimento anômalo do Pacífico Equatorial. Baseado nessa afirmação e na série temporal da Figura 6 pretende-se avaliar o impacto remoto da variabilidade do

posicionamento do máximo de convecção sobre o Pacífico Central-Leste na intensidade e localização do JBN.

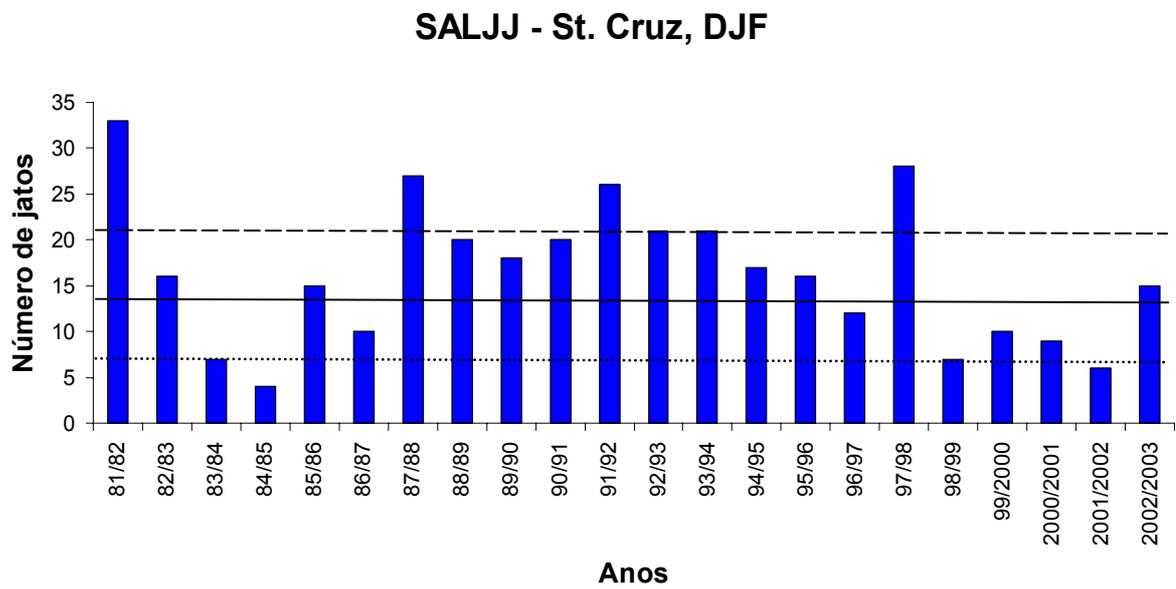


Figura 6: Frequência de JBN em 17,75°S; 63,06°W durante os verões de 1969 a 2003 segundo o Critério 1 de Bonner. As linhas contínua, tracejada e pontilhada representam a média, o desvio padrão superior e desvio padrão inferior, respectivamente.

5. COMPOSIÇÕES DE TSM E DE CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA ASSOCIADA

Neste capítulo serão apresentadas as composições de anomalia de TSM, anomalia de função de corrente em 200 hPa e 850 hPa (com média zonal removida) e anomalia do fluxo de vapor d'água atmosférico integrado verticalmente e divergente. As composições analisadas são separadas de acordo com a intensidade dos eventos ENOS e dar-se-á ênfase as anomalias que são estatisticamente significantes ao nível de 95%, conforme aplicação do teste-T de Student (ver detalhes na secção 2.2.2). Pretende-se verificar como o ENOS, um dos principais modos de variabilidade de baixa frequência, influencia o sistema de JBN do continente sul americano.

Vale ressaltar que, conforme os eventos ENOS selecionados na Tabela 1 só foi possível identificar um de intensidade moderada de El Niño e de La Nina. Sendo assim, as composições para esses respectivos eventos serão apresentadas apenas de forma qualitativa, não sendo possível extrair conclusões mais gerais das mesmas.

A Figura 7 mostra as composições do campo de anomalia de TSM. Para os El Niños fortes observamos um núcleo de anomalias superiores a $+2.5^{\circ}\text{C}$ posicionadas no Oceano Pacífico Equatorial entre 140°W - 100°W (Figura 7a). Para o episódio de El Niño moderado (1986/1987) esse núcleo aparece menos intenso com anomalias em torno de $+1^{\circ}\text{C}$ (Figura 7b). Para os El Niños fracos os valores ficaram em torno de $+1.0^{\circ}\text{C}$ em 160°W na faixa equatorial do Pacífico (Figura 7c). Para as La Niñas fortes selecionadas (Figura 7d) observam-se

anomalias negativas de até -2°C posicionadas em torno de 160°W - 140°W . A Figura 7e referente à La Niña moderada (1998/1999) apresenta semelhança com a Figura 7d no que diz respeito ao posicionamento e intensidade do máximo de anomalias de águas frias, contudo este máximo não se estendeu até a costa peruana. As La Niñas fracas (Figura 7f) apresentaram anomalias de até -1°C sobre o Centro Leste do Pacífico Equatorial. Nos eventos neutros (Figura 7g) destaca-se um núcleo anomalias negativas de até -0.5°C sobre a faixa equatorial do Pacífico entre 120°W - 100°W .

A Figura 8 refere-se às composições dos campos de anomalia de função de corrente em 200 hPa. Observa-se uma alternância de ciclones e anticiclones, caracterizando um padrão quase estacionário de ondas de Rossby. Estudos de Ambrizzi e Magaña (2003) sugeriram que a localização da estrutura espacial de forçantes convectivas anômalas no Pacífico Central e Leste podem afetar a fase e amplitude das circulações quase-estacionárias e, portanto, as regiões de máxima intensidade de chuvas. Durante os eventos El Niño (Figuras 8a, 8b e 8c) observa-se que o trem de ondas apresenta uma curvatura acentuada ao redor do paralelo 30°S . Para La Niñas (Figuras 8d, 8e e 8f) e anos neutros (Figura 8g) essa trajetória teve predominância mais zonal. Segundo Coelho (2001), o padrão de propagação do trem de ondas está relacionada com o posicionamento do anticiclone anômalo sobre Pacífico Equatorial Oeste em torno de 15°S em resposta ao núcleo de máxima atividade convectiva que ocorre durante eventos ENOS. Desta forma, observa-se que durante a fase quente do ENOS o anticiclone anômalo ficou localizado entre 160°W - 140°W (Figuras 8a a 8c) onde foram encontrados as maiores anomalias positivas de TSM de acordo com as Figuras 7a a 7c. Porém, na fase fria o anticiclone tende a se posicionar mais a oeste da linha de mudança de

data (Figuras 8d a 8f). Durante os anos neutros a trajetória do trem de onda semi-estacionário parece sofrer influência de outro tipo de forçante, o que deve ser estudado mais detalhadamente. Observa-se também que quanto menor a intensidade dos eventos El Niño selecionados, maior o número de onda zonal.

As Figuras 9 e 10 referem-se às composições dos campos de anomalia de função de corrente em 850 hPa e do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente na atmosfera e divergente, respectivamente. As circulações anômalas de grande escala que podem favorecer a trajetória preferencial dos JBN ficaram mais caracterizadas durante El Niños fortes (Figura 9a) e El Niños fracos (Figura 9c). Na Figura 9a a presença de uma circulação anticiclônica sobre a AS contribui com o jato de norte-sul em baixos níveis a leste dos Andes. Na Figura 10a o transporte de umidade de trópicos para os extratropicos ocorreu em virtude desse jato, seguido de regiões de divergência anômala de umidade sobre Atlântico Norte e Amazônia e de convergência anômala sobre o norte da Argentina e parte do Sudeste do Brasil.

Para o El Niño moderado (Figura 9b) um anticiclone posicionado sobre a parte oeste da AS parece favorecer um escoamento de sul-norte. De fato quando observamos a Figura 10b verificamos que um fluxo divergente de umidade próximo da costa Sul do Brasil segue em direção ao continente convergindo com um fluxo do Atlântico Norte sobre a Amazônia.

Na Figura 9c um ciclone localizado sobre o Brasil Central interage com o anticiclone atuante no restante da AS. Comparando com a Figura 10c, observa-se um fluxo divergente anômalo de umidade entre 25°S-35°S e 60°W-35°W que converge sobre a região de atuação do ciclone anteriormente descrito. Um outro fluxo divergente de norte-sul a leste do Andes transportou umidade do Atlântico Norte e Amazônia em direção a Bolívia.

Em anos de La Niñas e em anos neutros observa-se uma predominância de circulação ciclônica sobre a AS (Figuras 9d a 9g). Na Figura 10d, destaca-se o transporte anômalo de umidade do Pacífico Equatorial Leste em direção a região onde tipicamente ocorre a ZCAS. Para La Niña moderada (Figura 10e) observa-se que ocorreu divergência anômala de umidade sobre o Pacífico Leste (entre 3°N e 23°S) seguido de convergência sobre a Amazônia. Na Figura 10f, observamos a ausência de transporte de umidade de latitudes tropicais para latitudes extratropicais. Finalmente, na fase de neutralidade (Figura 10g) podemos observar dois núcleos de divergência anômala de umidade. Um sobre o Pacífico Equatorial Leste com convergência sobre parte da região Amazônica e outro sobre o Atlântico próximo da costa sudeste brasileira com convergência anômala sobre o centro leste do Brasil.

Em síntese, o transporte de vapor d'água de latitudes baixas até latitudes médias pelo JBN ficou melhor configurado durante a fase quente do ENOS onde o Atlântico Tropical e região Amazônica mostraram ser as principais fontes de umidade. Nos demais eventos ENOS as principais regiões fornecedoras de umidade para AS se posicionaram sobre o Pacífico Equatorial Leste próximo ao continente e sobre o Atlântico Sul próximo da costa Sul do Brasil.

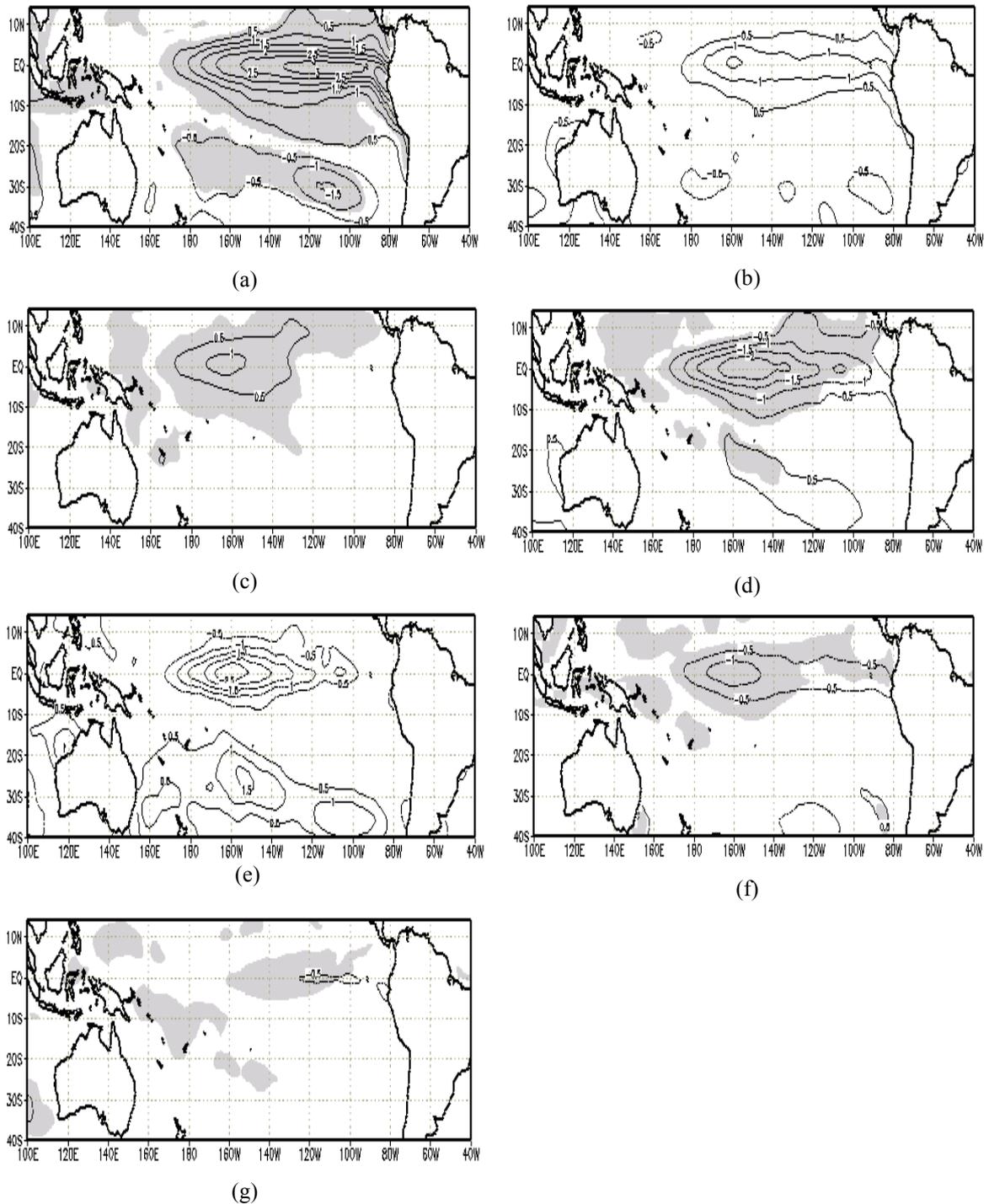


Figura 7: Composição do campo de anomalia de TSM ($^{\circ}\text{C}$) observada durante o verão austral para El Niños de intensidades forte, moderada e fraca (letras a, b e c); La Niñas de intensidades forte, moderada e fraca (letras d, e e f) e anos Neutros (letra g). Intervalos entre isolinhas a cada 0.5°C . As áreas sombreadas indicam anomalias estatisticamente significativas ao nível de 95%.

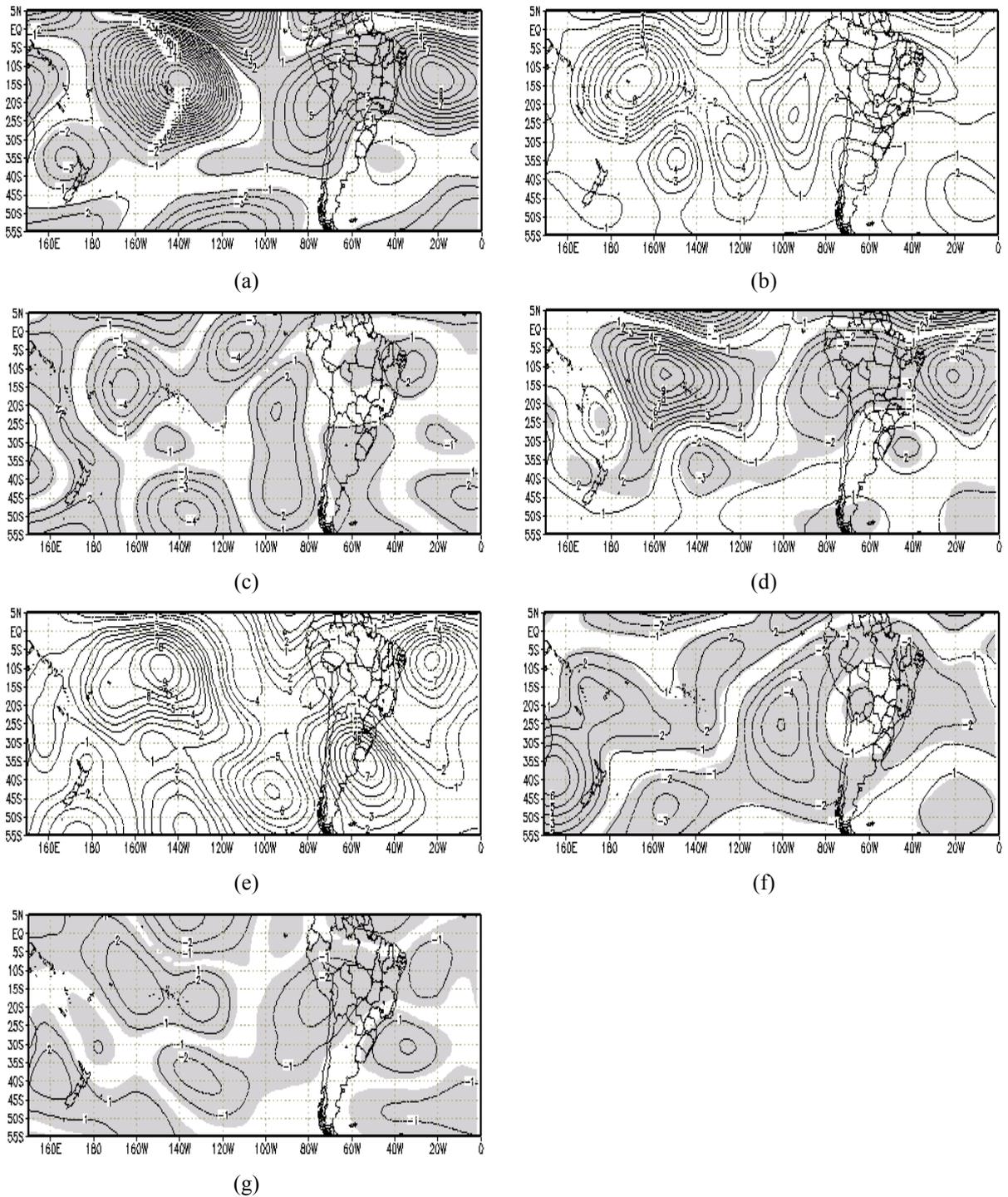


Figura 8: Composição do campo de anomalia de função de corrente ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) em 200 hPa observada durante o verão austral para El Niños de intensidades forte, moderada e fraca (letras a, b e c); La Niñas de intensidades forte, moderada e fraca (letras d, e e f) e anos Neutros (letra g). Intervalos entre isolinhas a cada $1 \times 10^6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. As áreas sombreadas indicam anomalias estatisticamente significantes ao nível de 95%.

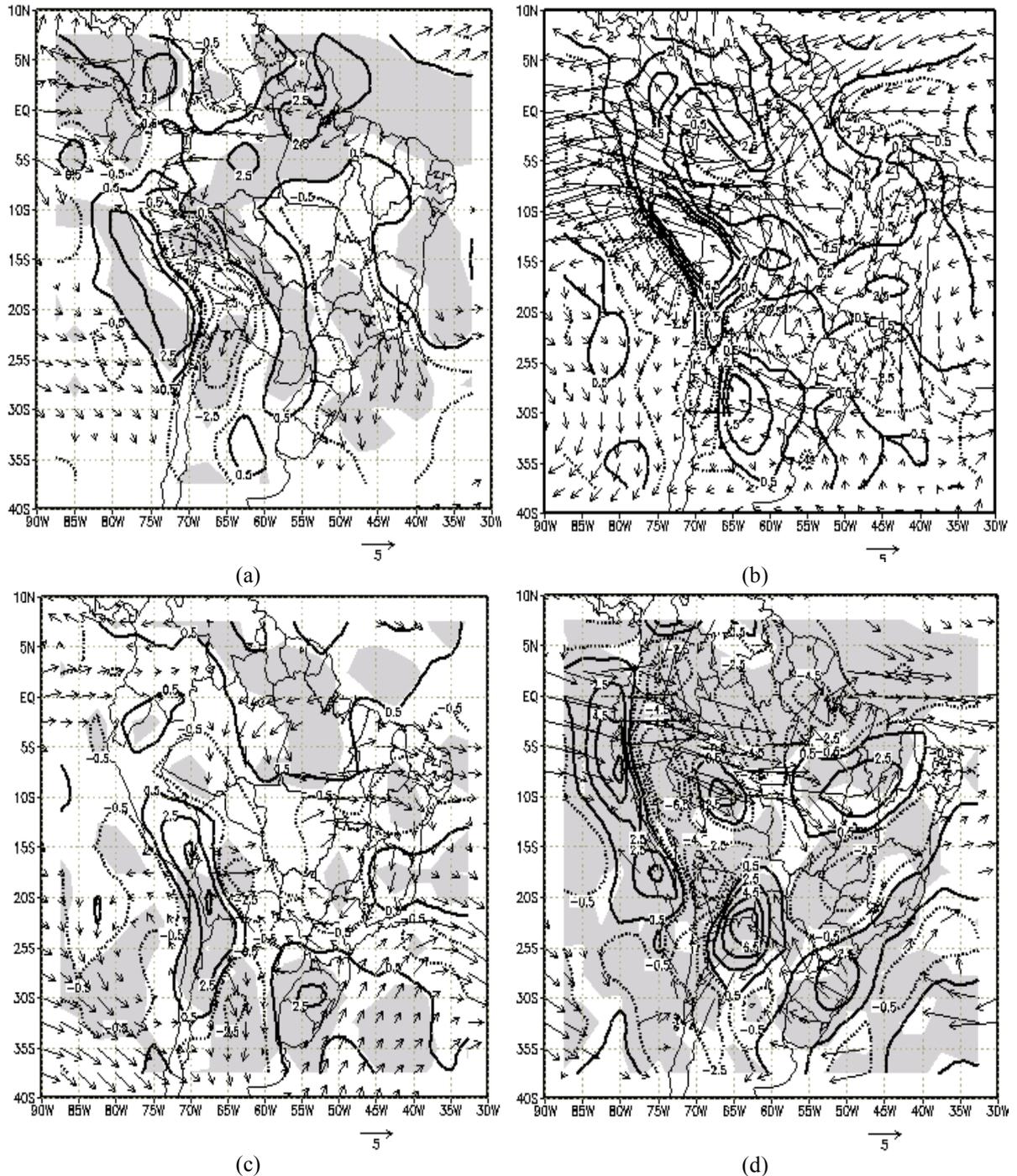
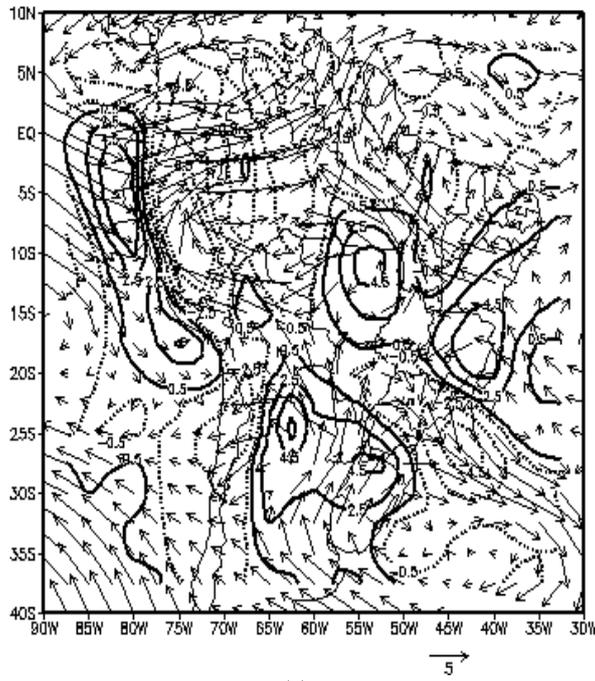
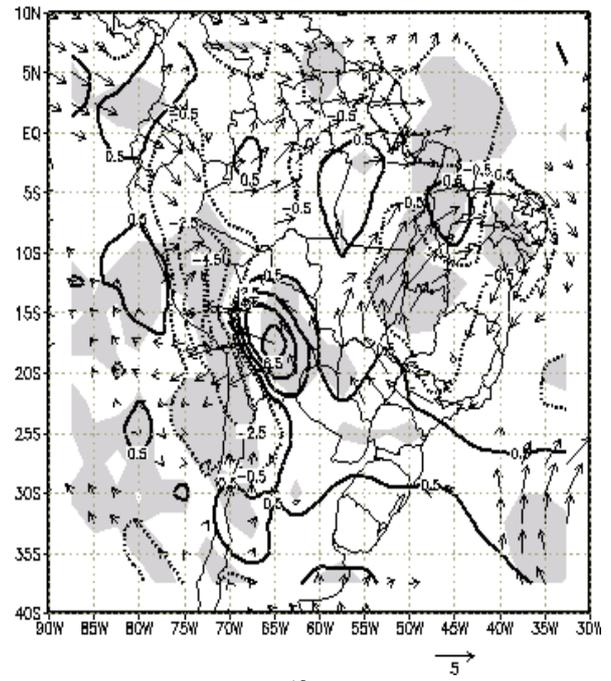


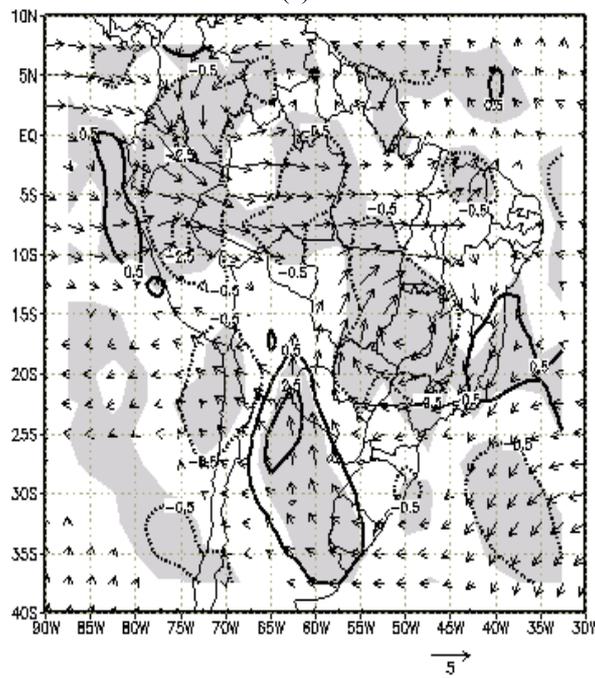
Figura 10: Composição dos campos de anomalia de fluxo de vapor d'água atmosférico integrado verticalmente ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) e divergente ($\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$, para facilitar a visualização os valores foram multiplicados por 86.4). Campos observados durante o verão austral para: El Niños de intensidades forte, moderada e fraca (letras a, b e c); La Niñas de intensidades forte, moderada e fraca (letras d, e e f) e anos Neutros (letra g). Intervalos entre isolinhas a cada $2 \text{ mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ e as linhas pontilhadas representam valores negativos. O fluxo plotado e as áreas sombreadas indicam anomalias estatisticamente significantes ao nível de 95%. Continua na página seguinte...



(e)



(f)



(g)

Figura 10: continuação.

6. COMPOSIÇÕES DURANTE OS DIAS DE ATUAÇÃO DE JBN

Neste capítulo serão apresentadas as composições de anomalia de PNMM e vento em 850 hPa e anomalia de ROL. As composições analisadas são separadas de acordo com a intensidade dos eventos ENOS levando-se em consideração a média diária dos campos dois dias antes (Dia -2), durante (Dia 0) e dois dias depois (Dia +2) da atividade máxima JBN. Dar-se-á ênfase as anomalias que são estatisticamente significantes ao nível de 95%, conforme aplicação do teste-T de Student (maiores detalhes na secção 2.2.2). Posteriormente serão apresentados diagramas conceituais indicando a localização média do JBN e circulação atmosférica associada.

A seqüência de Figuras 11 a 17 apresenta as composições de anomalia de PNMM e vento em 850 hPa da seguinte forma: durante El Niños fortes, moderado e fracos, La Ninas fortes, moderada e fracas e anos neutros. A mesma seqüência poderá ser vista nas Figuras 18 a 24 referentes às composições de anomalia de ROL

Da Figura 11 referente aos El Niños fortes observa-se entre os Dias -2 ao Dia 0 a interação do JBN com um sistema de baixa pressão posicionado sobre o centro-sul da AS (Figuras 11a a 11c). O deslocamento desse sistema para leste em direção ao oceano Atlântico deslocou a componente de norte-sul do JBN ligeiramente para sudeste (Figuras 11d e 11e). Na Figura 18 relativa aos El Niños fortes a convecção associada a anomalias negativas de ROL ficaram posicionadas sobre o Sul do Brasil e parte norte da Argentina durante o período de

máxima atividade do jato (Figuras 18a a 18c). Nos dias posteriores a convecção foi enfraquecida à medida que a baixa pressão se afastou para leste (Figuras 18d a 18e).

A Figura 12 mostra a presença de uma alta pressão sobre o norte do Brasil e um núcleo de baixa pressão sobre o Nordeste da Argentina e Sul do Brasil. A confluência dos ventos devido a esses sistemas em torno de 20°S favoreceu o deslocamento do JBN para sudeste (Figura 12c). O aumento do gradiente de pressão a partir do Dia 0 possibilitou uma maior velocidade no núcleo do jato. A partir do Dia +2 uma alta pressão vinda de latitudes médias penetrou no continente desconfigurando o JBN (Figura 12e). Durante o El Niño moderado (Figura 19) as regiões convectivamente ativas coincidiram com o posicionamento do JBN (Figuras 19c a 19e).

Nos El Niños de fraca intensidade assim como nos de forte intensidade, o JBN interagiu com um sistema de baixa pressão de latitudes médias (Figura 13). Porém, o escoamento a leste do Andes teve uma componente de norte-sudeste ao longo dos dias. A interação parece ter favorecido o aumento na velocidade do núcleo do jato a partir do Dia -1 (Figura 13b). A partir do Dia +1 (Figura 13d) a baixa pressão anômala deslocou-se para o oceano com posterior enfraquecimento do JBN. Interessante notar que antes da entrada da baixa pressão a Figura 20a mostrou um núcleo de anomalias negativas de ROL sobre grande parte da região de atuação da ZCAS. Mesmo durante o ciclo de máxima atividade do JBN (Figuras 13b e 13c) houve permanência de convecção na região da ZCAS (Figuras 20b e 20c) diminuindo de intensidade e desaparecendo após o Dia +1 (Figura 20d).

Para composições de La Ninas fortes (Figura 14) podemos observar a presença de uma anomalia positiva de pressão sobre grande parte do Pacífico e extremos norte da AS. Em

contra partida a AS foi dominada por anomalias negativas de pressão. Como consequência deste gradiente, nota-se entre 3°N e 10°S a entrada de ventos de oeste sobre o continente que confluíram com os ventos Alísios de norte formando um jato de norte-sudeste a leste dos Andes (Figura 14a). A partir do Dia -1 (Figura 14b), um sistema ciclônico de médias latitudes interagiu com o escoamento de norte-sudeste a leste dos Andes intensificando-o. Na Figura 14c ocorreu o máximo da atividade do JBN sobre a região de convecção da ZCAS, onde anomalias negativas de ROL (Figura 21a a 21c) são observadas. Note que neste caso o jato sempre se manteve sobre o sudeste do Brasil, pouco influenciando a parte mais sul do País.

Durante as La Ninas moderadas (Figura 15) a formação do JBN a partir do Dia -1 se deu pela atuação de um anticiclone sobre o Brasil Central (Figura 15b). O jato que se posicionou sobre o Nordeste da Argentina e Sul do Brasil permaneceu ativo até o Dia 0 (Figura 15c). Entre os Dias 0 e +1 (Figuras 22c e 22d) valores negativos de ROL sobre as regiões atingidas pelo JBN parecem responder a sua atividade.

Na Figura 16 para La Niñas fracas, nota-se que a partir do Dia -1 (Figura 16b) a entrada de ventos de oeste do Pacífico sobre a AS, entre 3°N e 10°S, foi decisiva na configuração do JBN. A interação com uma baixa pressão em aproximadamente 25°S, intensificou o jato. Em paralelo, observou-se ventos de nordeste vindos do Oceano Atlântico em direção ao centro-leste do Brasil que foram enfraquecidos a partir do Dia +1 (Figura 16d). Como na maioria dos casos anteriores o deslocamento da baixa pressão para o oceano enfraqueceu o jato e a entrada de uma alta pressão sobre o continente desconfigurou o mesmo (Figura 16e). Na Figura 23 destaca-se um núcleo negativo de anomalias de ROL sobre a região central do Brasil (Figuras 23a a 23c). A partir do Dia +1 quando os ventos do Atlântico

foram enfraquecidos o núcleo perdeu intensidade e surgiu um outro núcleo sobre a região Sul do Brasil (Figura 23d).

Na fase neutra do ENOS (Figura 17) a baixa pressão que penetrou pelo cone sul tomou grande parte da AS (Figura 17a). O contraste com as anomalias positivas de pressão na parte norte gerou a intensificação do JBN sobre a região da ZCAS. O padrão de convecção durante este ciclo (Figura 24) mostrou relação com o que foi observado durante a fase fria ENOS mais forte.

Em resumo, as composições permitiram observar que durante El Niños fortes e fracos a formação do JBN é influenciada pelos ventos Alísios. Contudo para La Niñas fortes e anos neutros um segundo escoamento de oeste vindo do Pacífico Equatorial Leste cruza a AS alimentando a atividade do JBN. Durante La Niñas fracas os ventos Alísios não mostraram contribuição significativa na formação do fenômeno. O posicionamento do eixo do JBN e sua intensidade podem ser influenciados quando da interação com sistemas transientes sobre o continente sul americano. Em anos de El Niño forte, por exemplo, essa interação desloca o eixo do jato mais ao sul do continente o que não ocorre em anos de El Niño fraco. Dependendo do posicionamento do seu eixo, o JBN pode modular a atividade convectiva sobre a ZCAS.

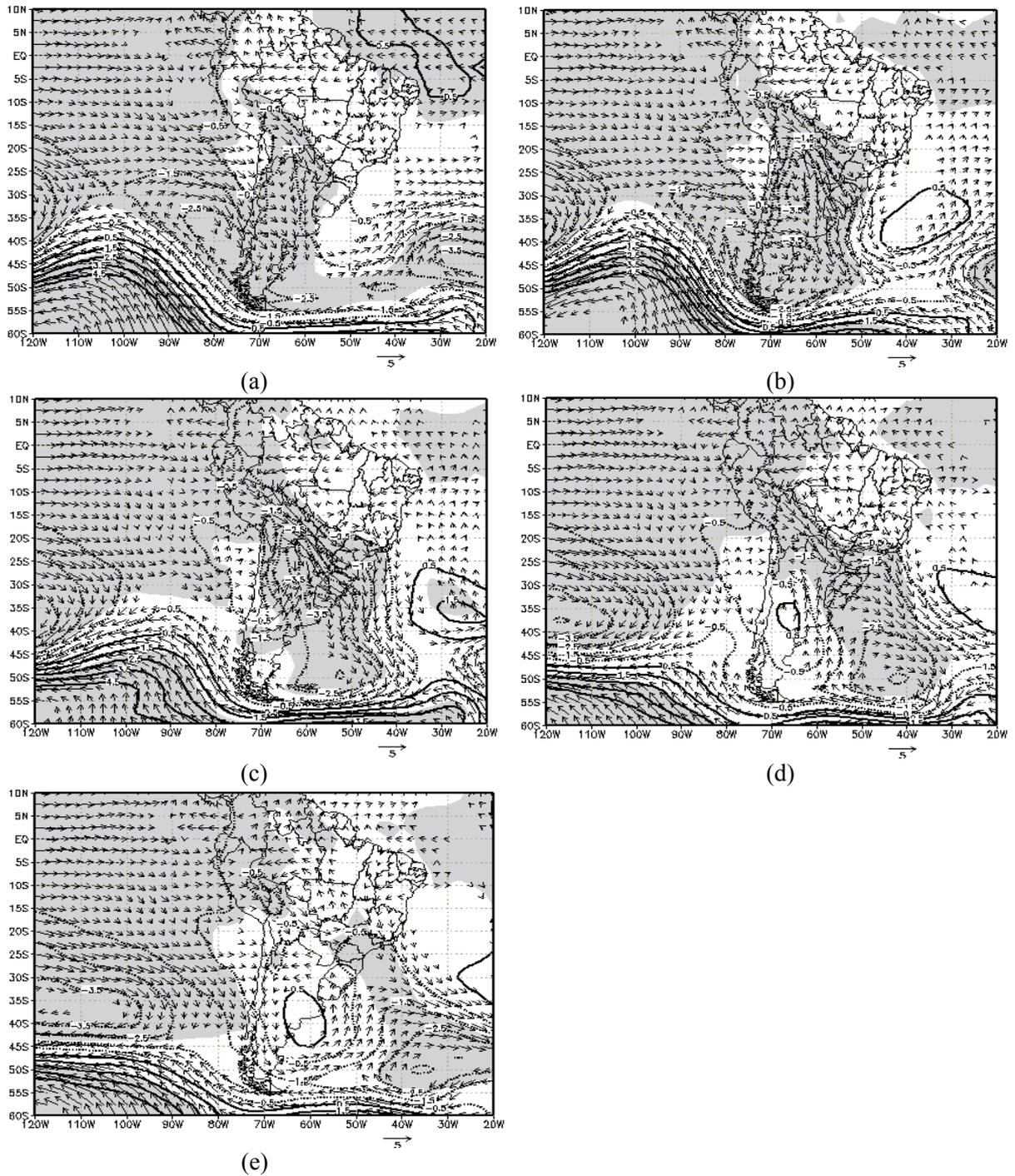


Figura 11: Composição dos campos de anomalia de PNMM (hPa) e vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) em 850 hPa na presença de JBN durante El Niños fortes. Seqüência de painéis referente aos Dias (a) -2, (b) -1, (c) 0, (d) +1 e (e) +2 da atividade máxima do jato. Intervalos entre isolinhas de pressão a cada 1 hPa. O vento plotado e as áreas sombreadas indicam anomalias estatisticamente significantes ao nível de 95%.

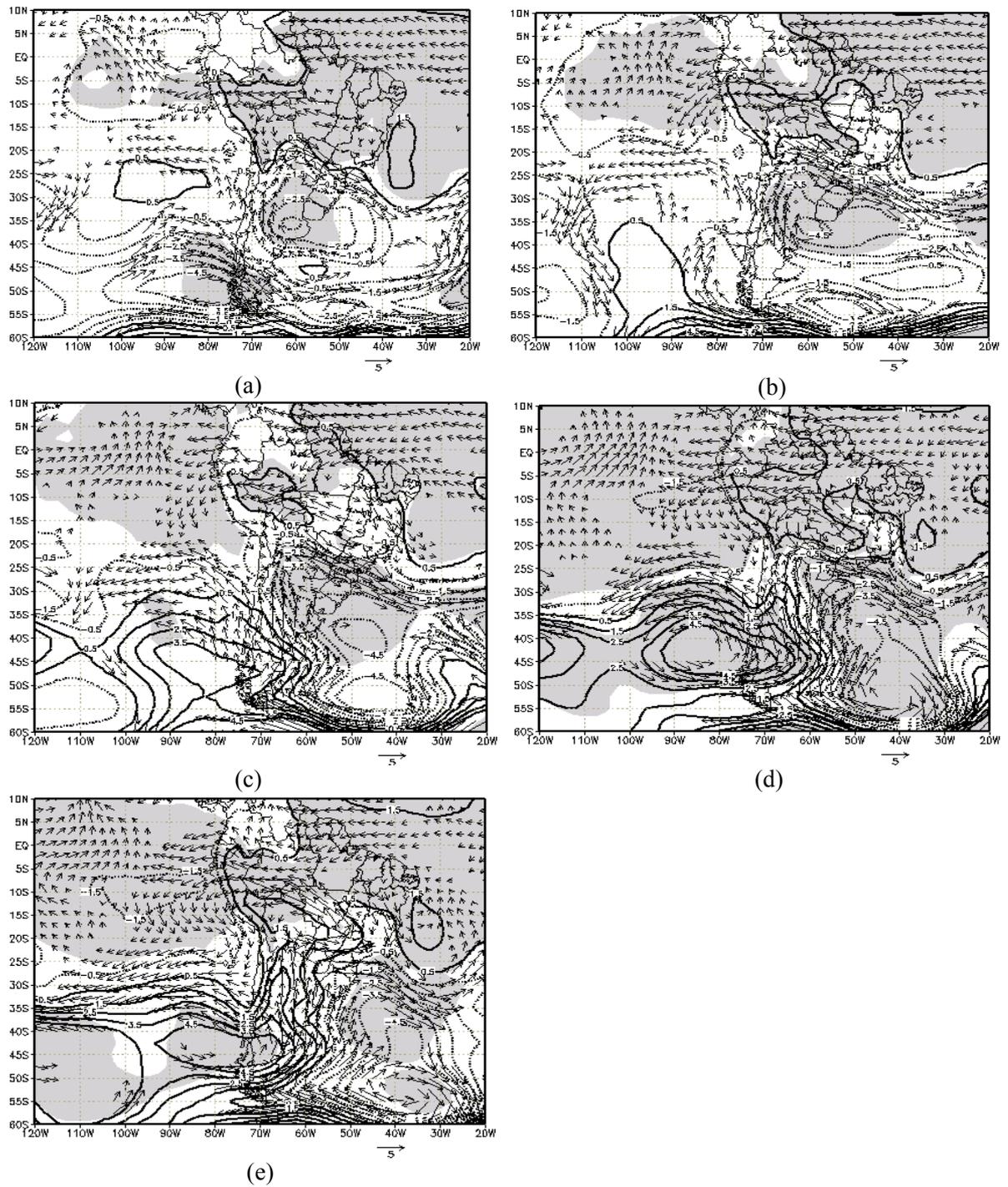


Figura 12: Idem a figura 11, mas durante o El Nino moderado selecionado.

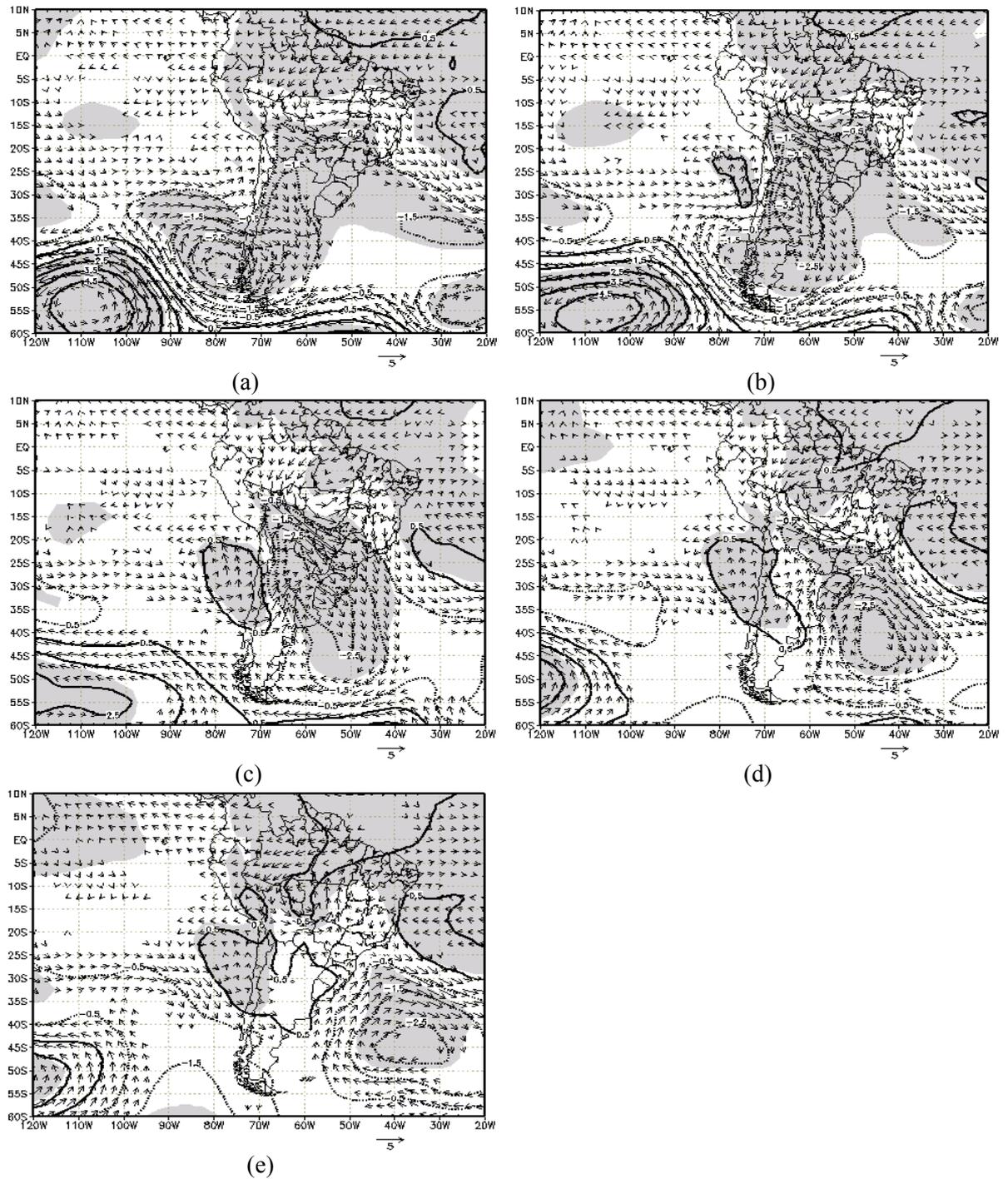


Figura 13: Idem a figura 11, mas durante El Niños fracos.

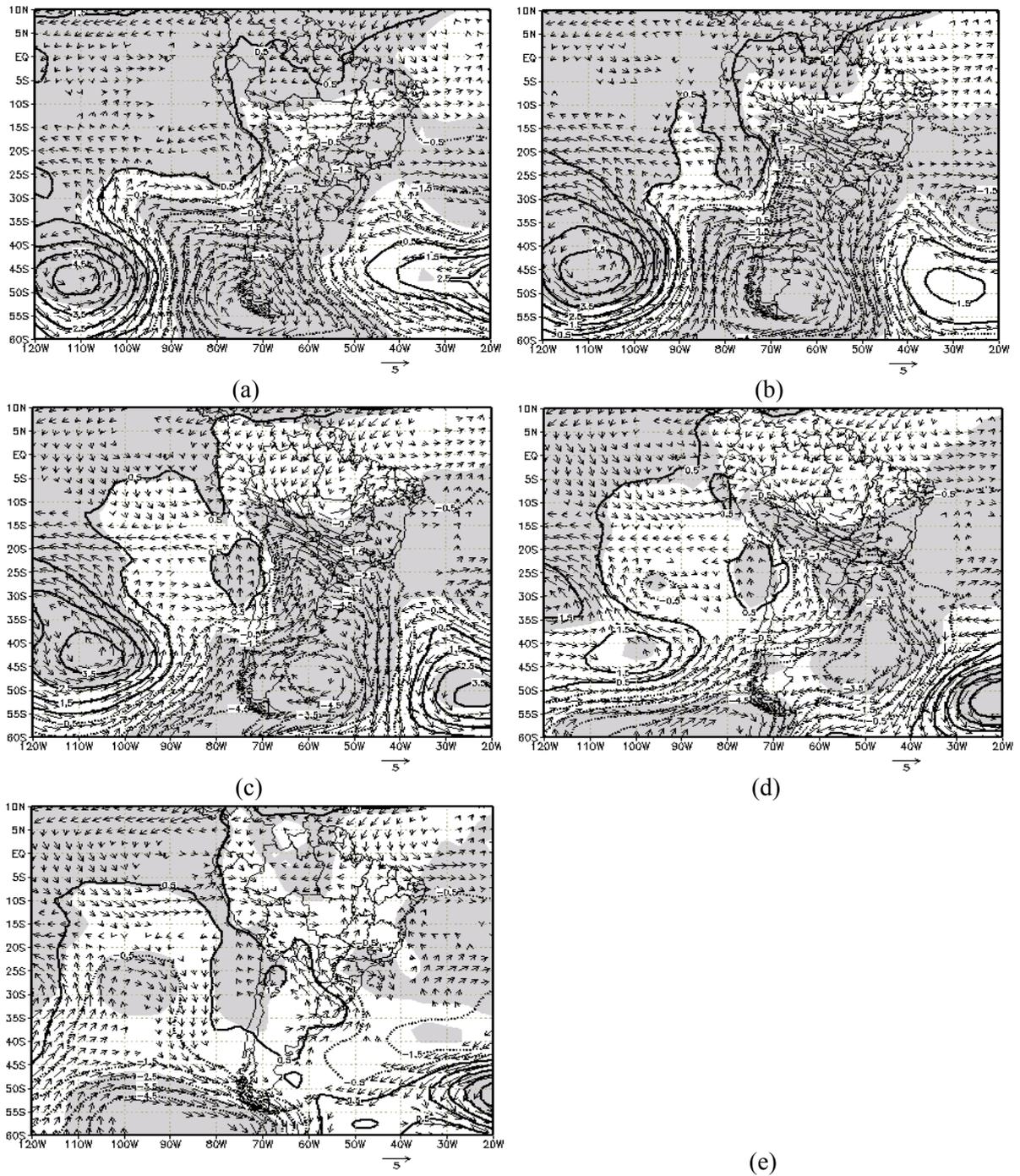


Figura 14: Idem a figura 11, mas durante La Niñas fortes.

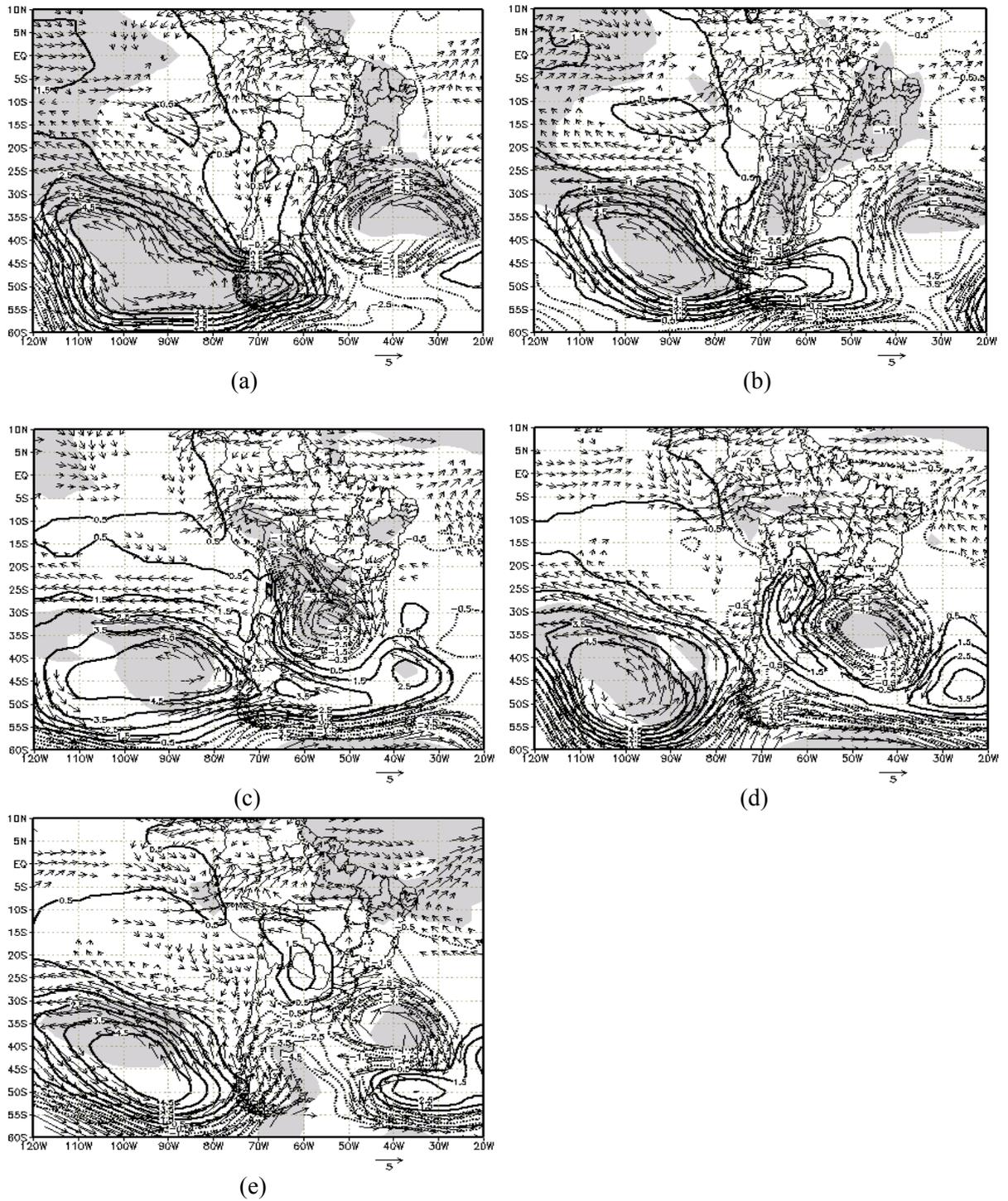


Figura 15: Idem a figura 11, mas durante a La Niña moderada selecionada.

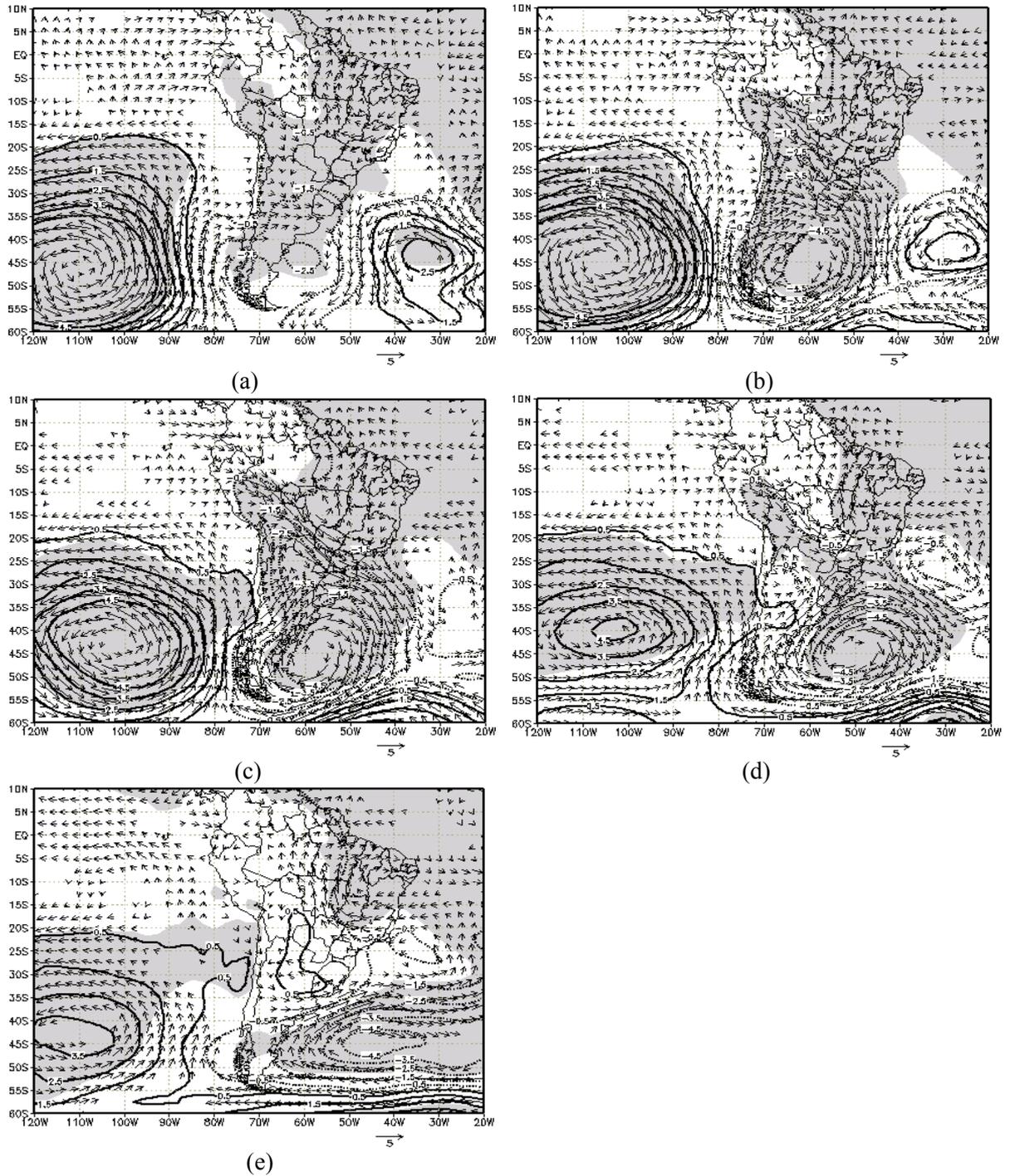


Figura 16: Idem a figura 11, mas durante La Niñas fracas.

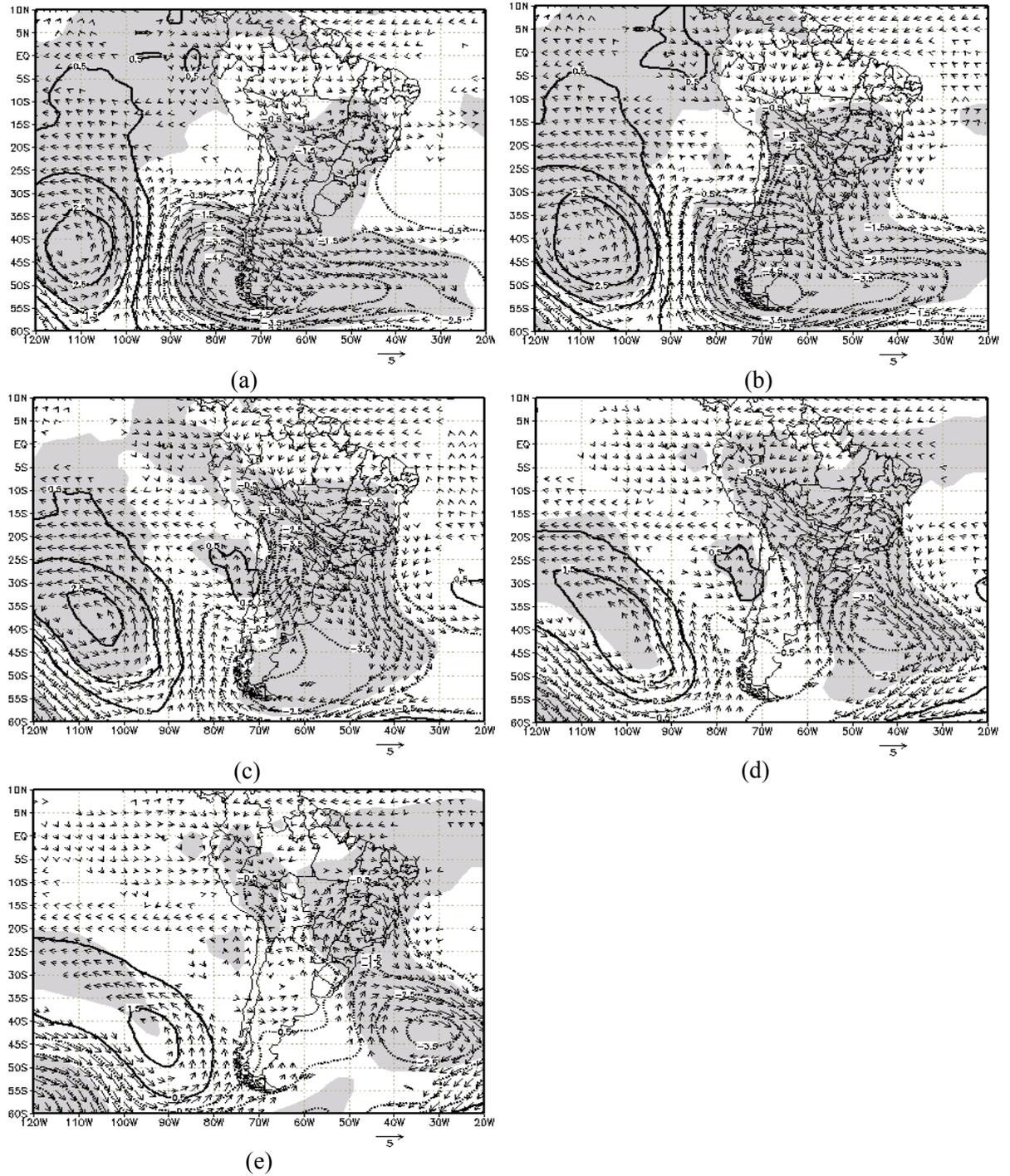


Figura 17: Idem a figura 11, mas durante anos neutros.

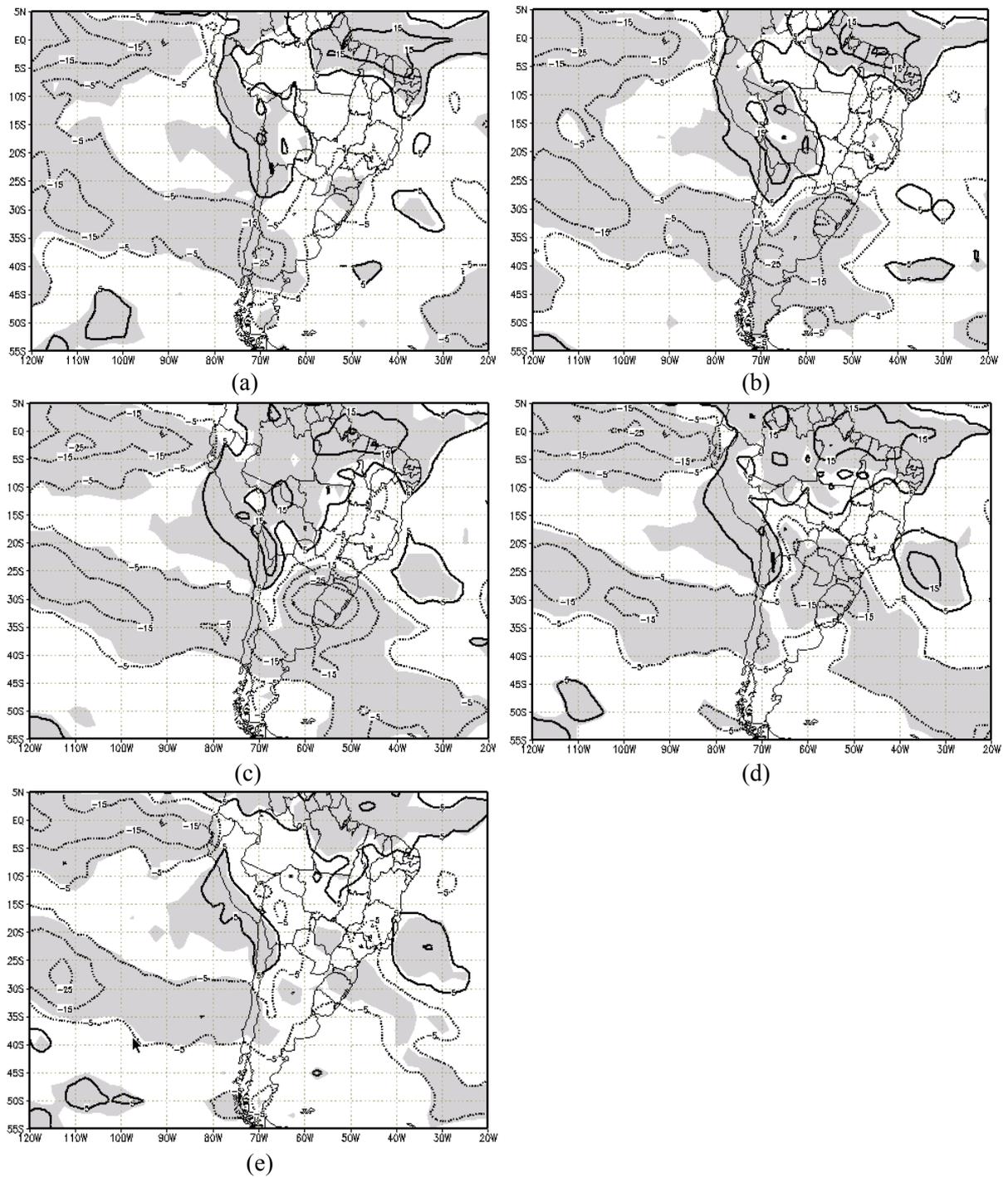


Figura 18: Composição do campo de anomalia de ROL ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) na presença de JBN durante El Niños fortes. Seqüência de painéis referente aos Dias (a) -2, (b) -1, (c) 0, (d) +1 e (e) +2 da atividade máxima do jato. Intervalos entre isolinhas a cada $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. As áreas sombreadas indicam anomalias estatisticamente significantes ao nível de 95%.

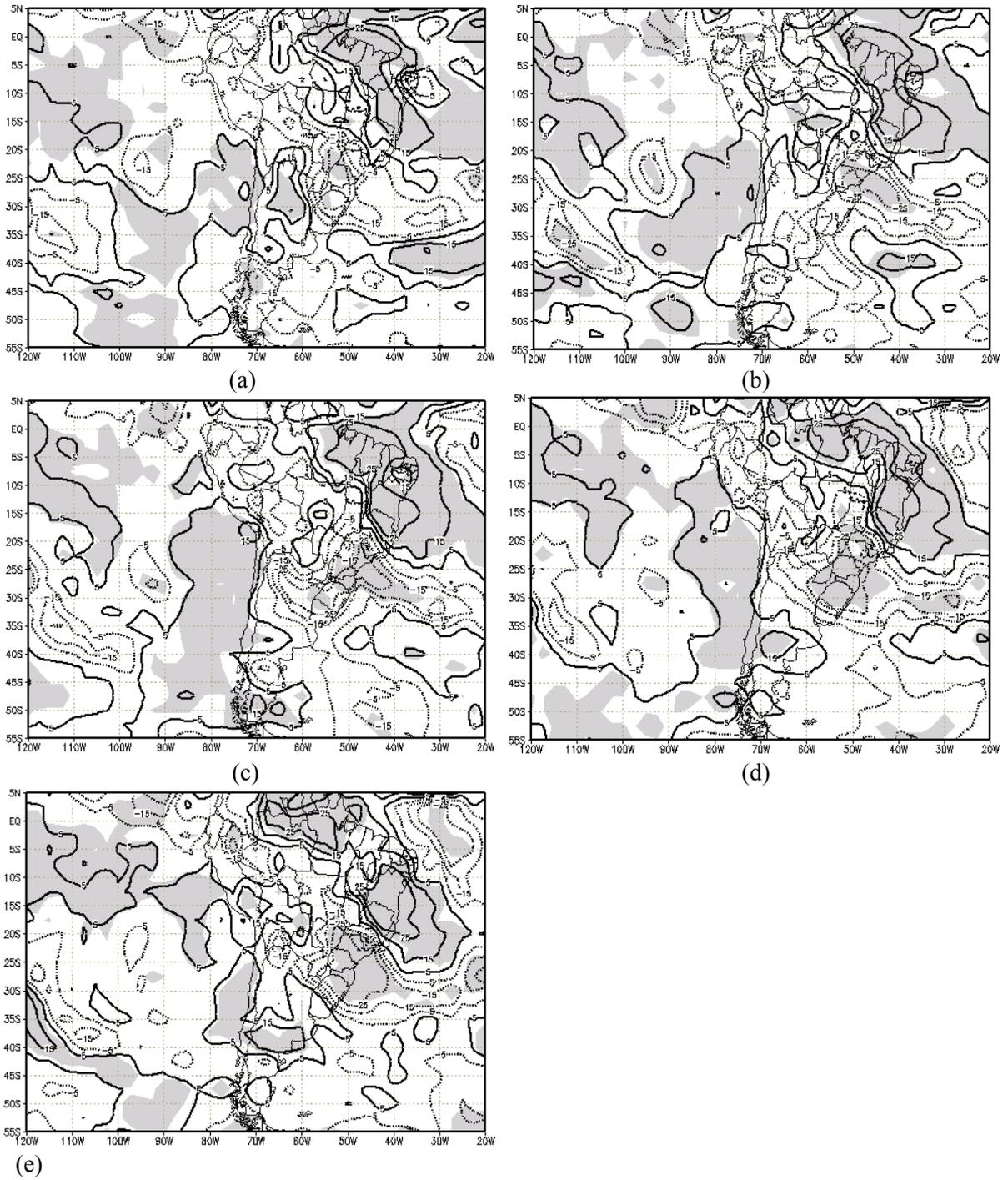


Figura 19: Idem a figura 18, mas durante o El Nino moderado selecionado.

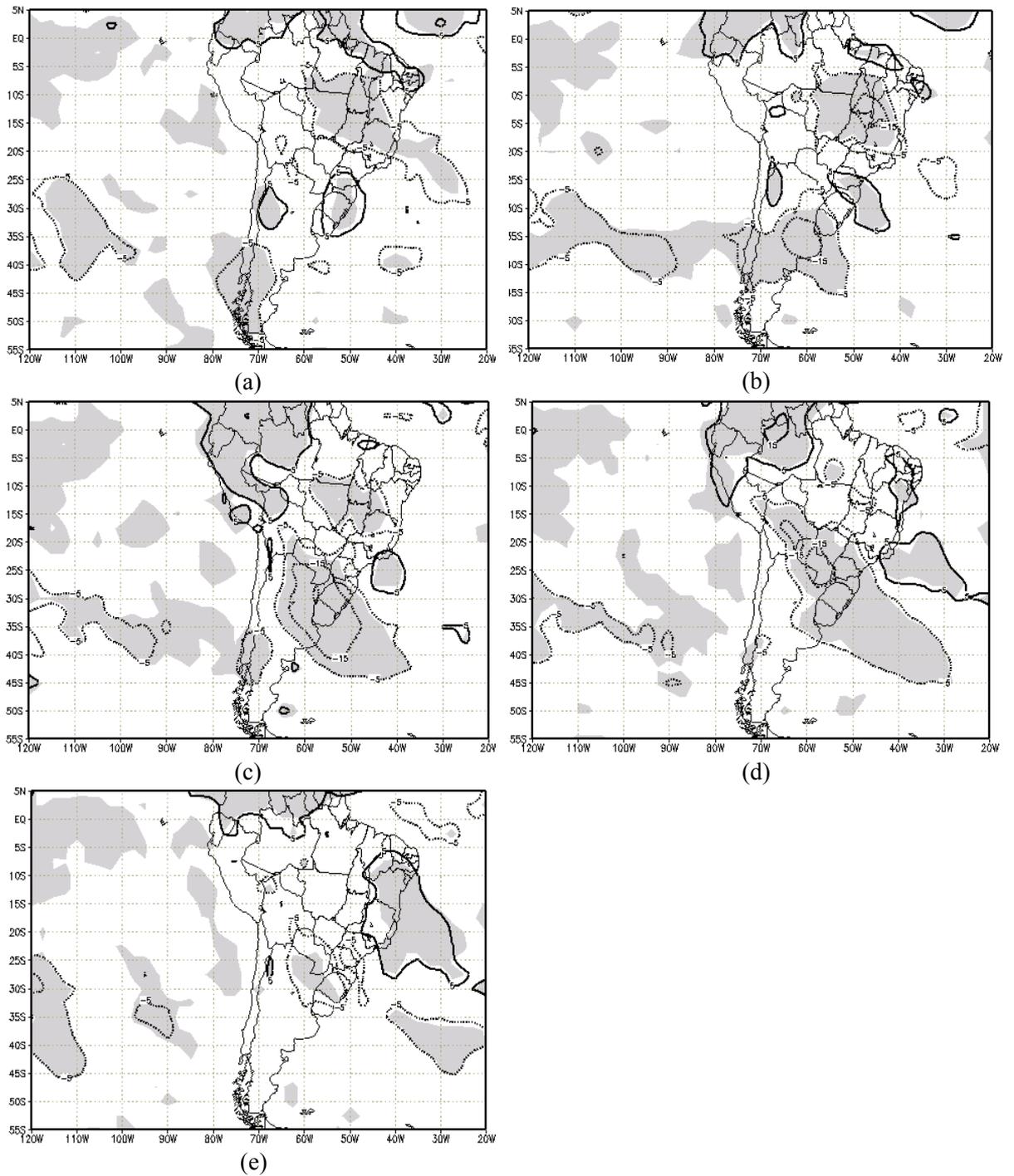


Figura 20: Idem a figura 18, mas durante El Niños fracos.

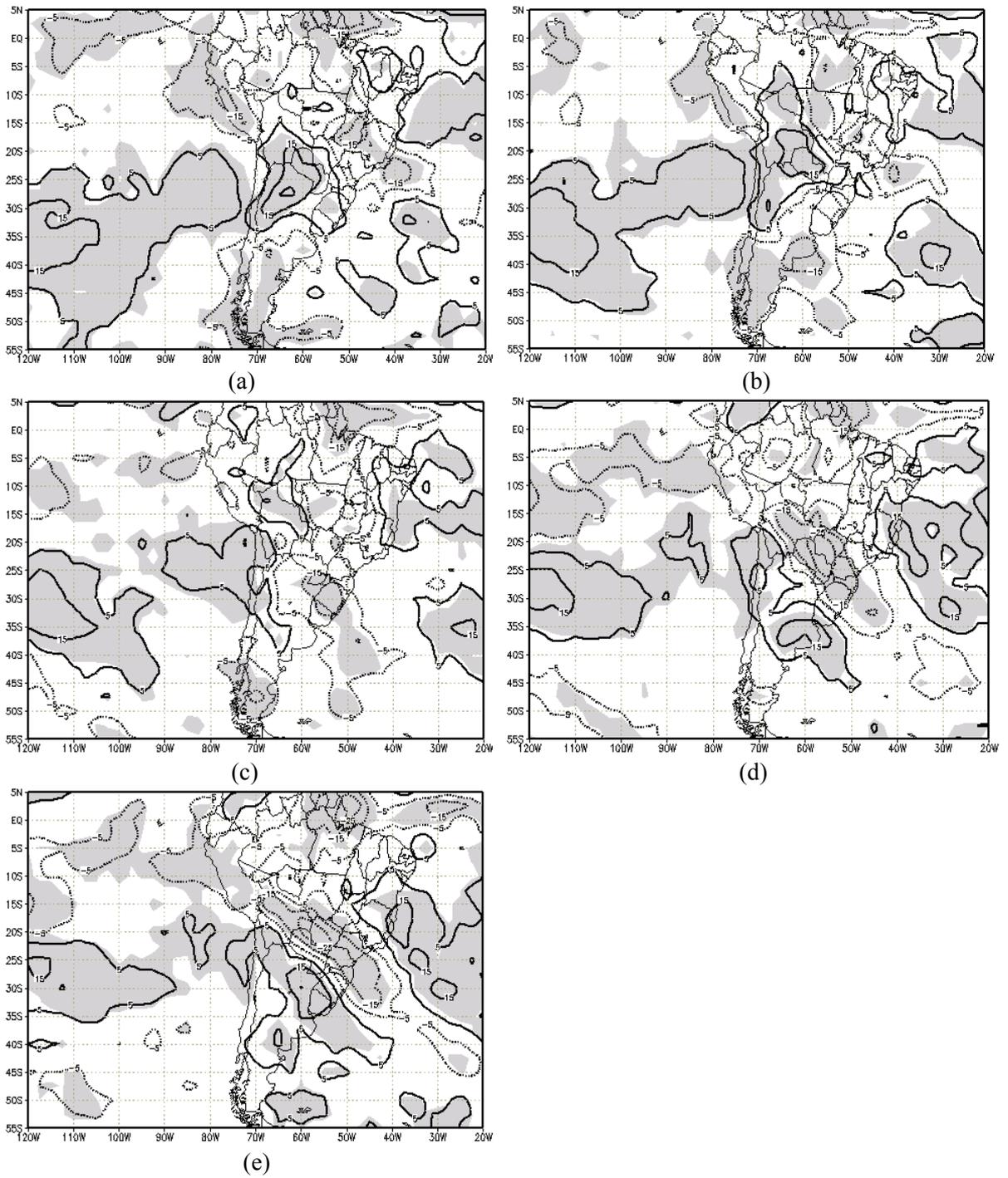


Figura 21: Idem a figura 18, mas durante La Niñas fortes.

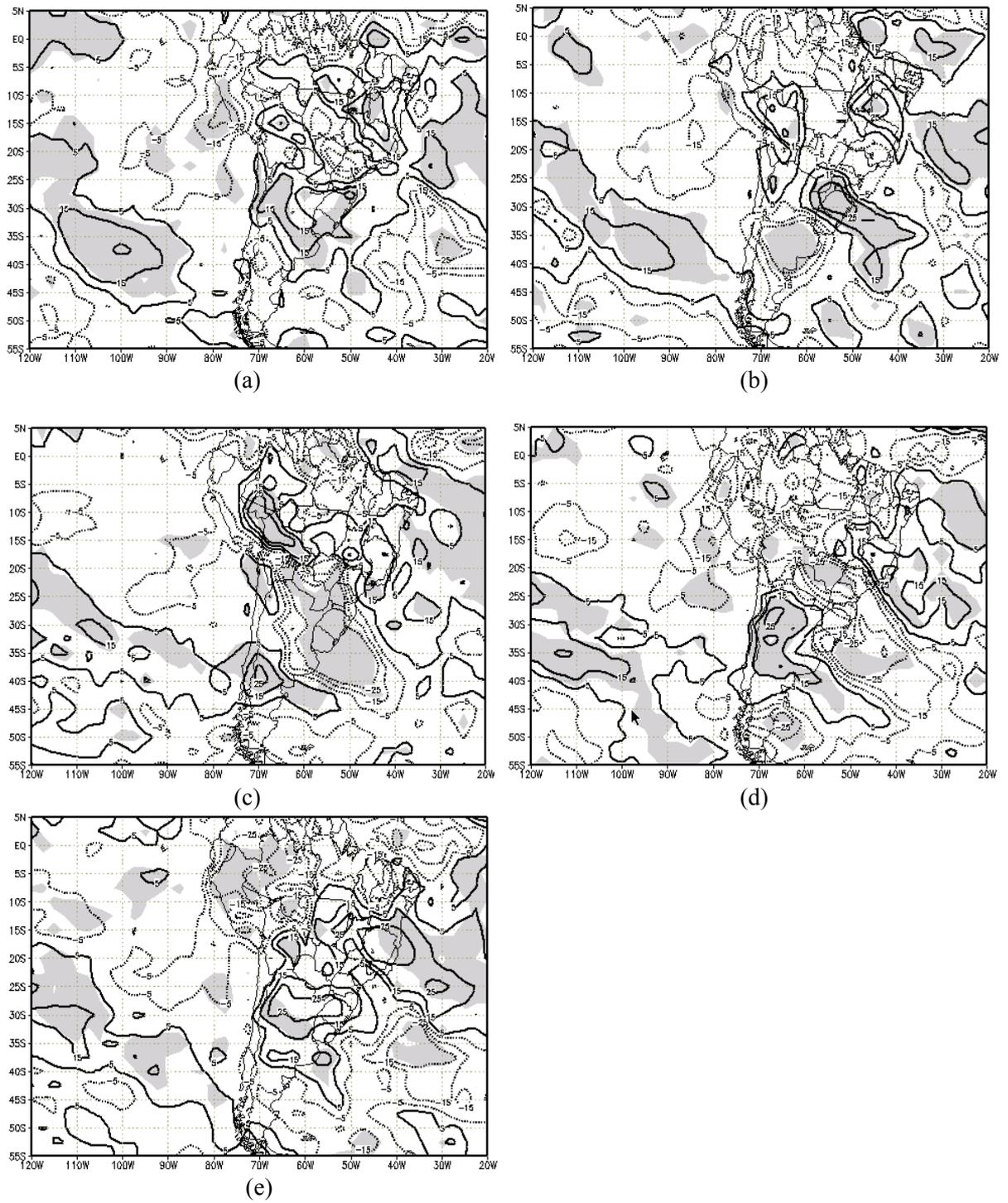


Figura 22: Idem a figura 11, mas durante a La Niña moderada seleccionada.

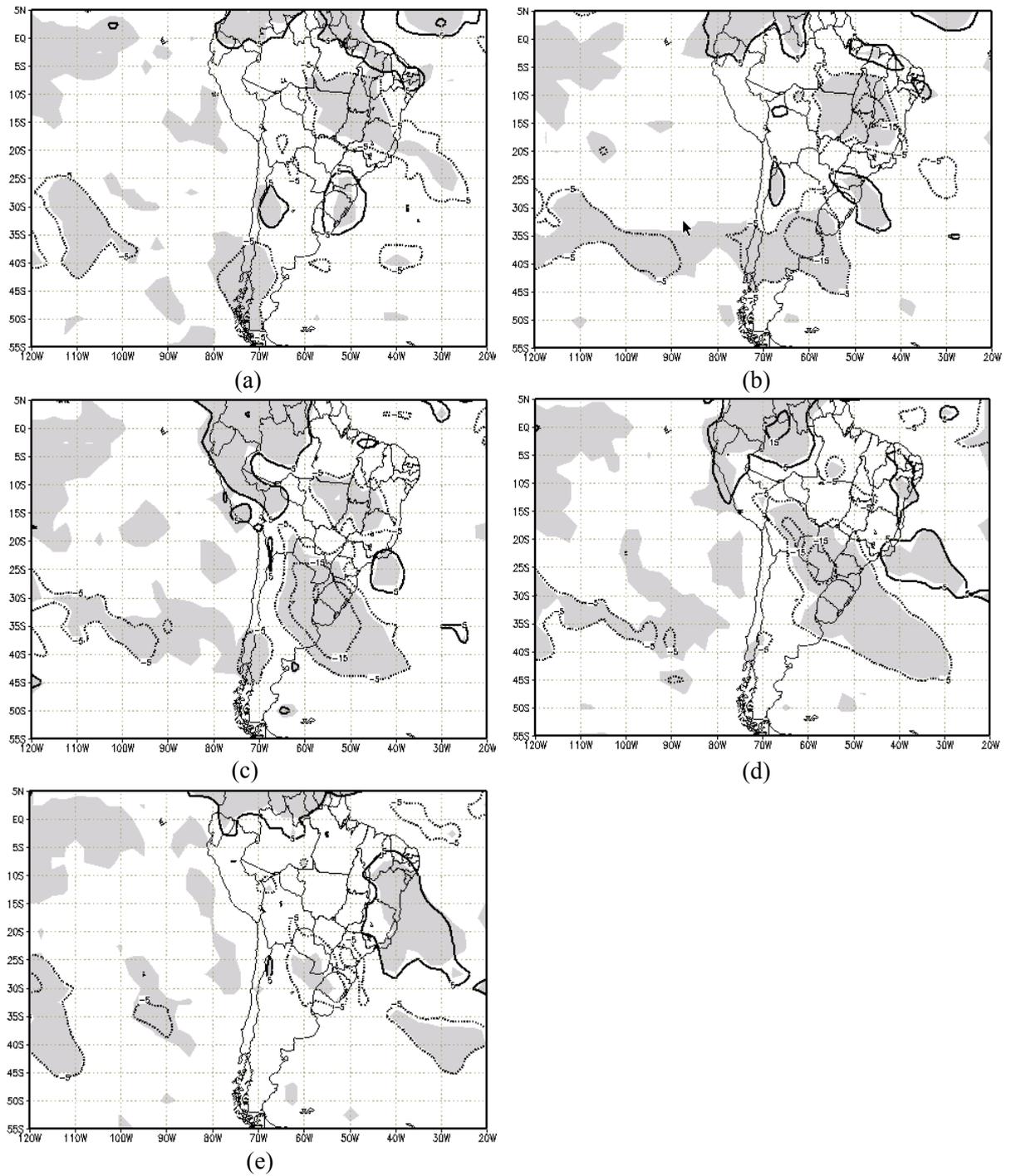


Figura 23: Idem a figura 18, mas durante La Niñas fracas.

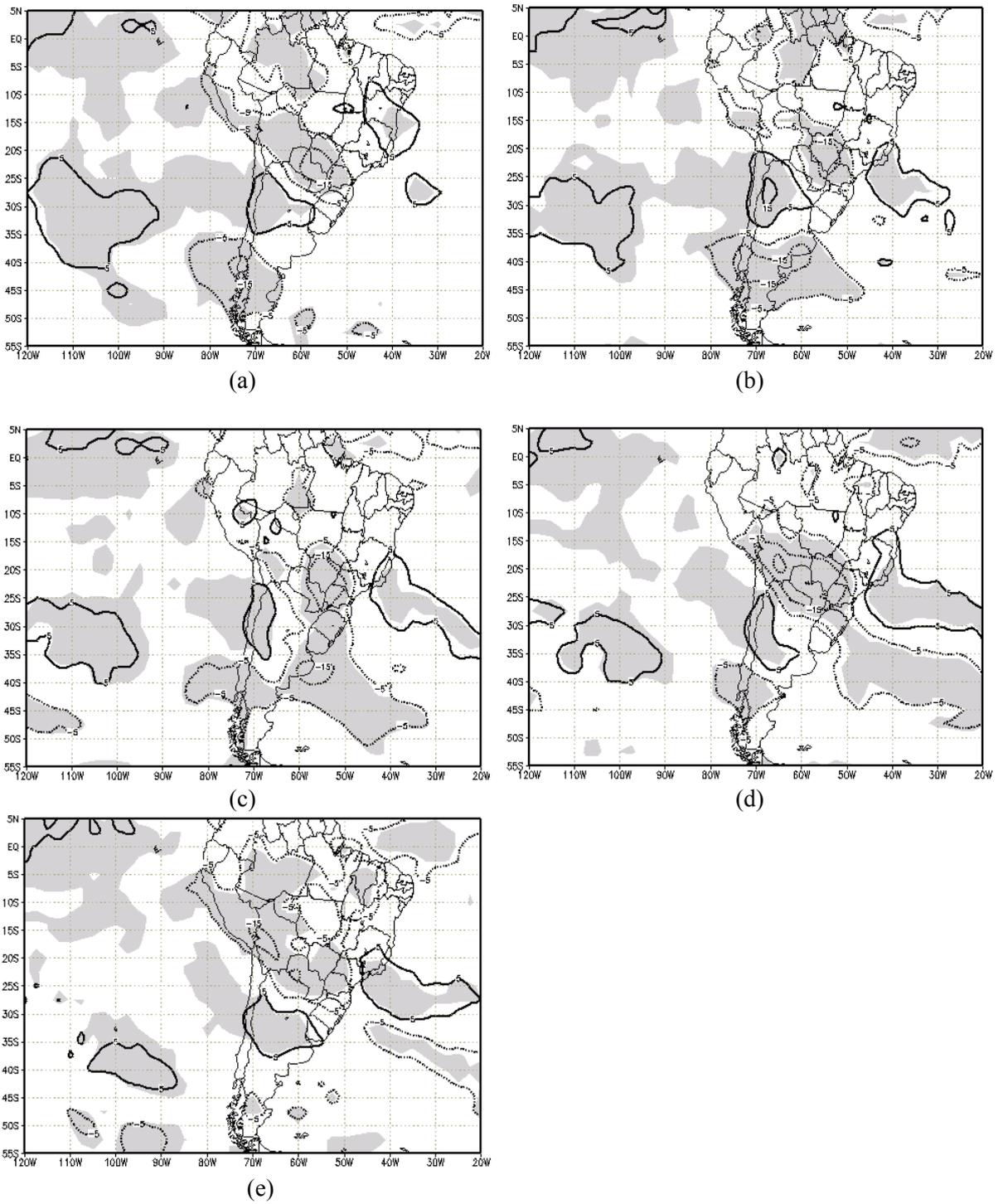


Figura 24: Idem a figura 18, mas durante anos Neutros.

Na Tabela 3, podemos verificar o posicionamento médio do núcleo do JBN, sua magnitude aproximada, e regiões de saída (difluência do escoamento). Observa-se uma variação tanto latitudinal quanto longitudinal no posicionamento do máximo do escoamento a leste dos Andes durante as diferentes fases do ENOS. As maiores magnitudes do vento no núcleo do JBN ocorreram durante os El Niños fortes selecionados.

A circulação atmosférica sobre a AS relacionada à formação do JBN é esquematizada nos diagramas mostrados na Figura 25. Durante os El Niños de intensidade forte (Figura 25a), o escoamento de nordeste a leste dos Andes é defletido para noroeste podendo atingir o Nordeste da Argentina, Sul e parte sul da região Sudeste do Brasil. Entretanto, os JBNs que ocorrem durante El Niños de intensidade fraca têm em geral sua saída posicionada mais sobre o centro-sul do Brasil (Figura 25b). A trajetória e circulações associadas aos JBNs mostraram semelhanças durante La Niñas fortes e anos neutros. Além dos Alísios de nordeste, sua formação é modulada pela incursão de ventos de oeste vindos do Pacífico Equatorial Leste em direção ao continente sul americano (Figura 25c). Porém em anos de La Niñas fracas, observou-se que os Alísios de nordeste não contribuem na gênese do jato em baixos níveis a leste dos Andes que tem em geral sua saída sobre a região Sul do Brasil (Figura 25d).

	Núcleo		Mag. aprox. (m.s ⁻¹)	Saída
	LAT	LON		
El Niños fortes	20°-30°S	52°-60°W	8	Nordeste da Argentina, Sul e parte sul da região Sudeste do Brasil
El Niño moderado (1986/1987)	20°-30°S	50°-60°W	8	Norte da região Sul e sul da região Sudeste do Brasil
El Niños fracos	15°-20°S	55°-65°W	7	Centro- Sul do Brasil
La Niñas fortes	15°-25°S	50°-65°W	7	Centro- Sul do Brasil
La Niña moderada (1998/1999)	20°-25°S	53°-60°W	7	Nordeste da Argentina, Sul do Brasil
La Niñas fracas	20°-25°S	53°-60°W	7	Região Sul
Neutros	20°-25°S	53°-63°W	7	Regiões Sul e Sudeste brasileiras

Tabela 3: Posicionamento médio do núcleo, magnitude aproximada do vento e regiões de saída do JBN. A tabela foi construída baseada nas composições dos dias de atuação de JBN durante as diferentes fases do ENOS.

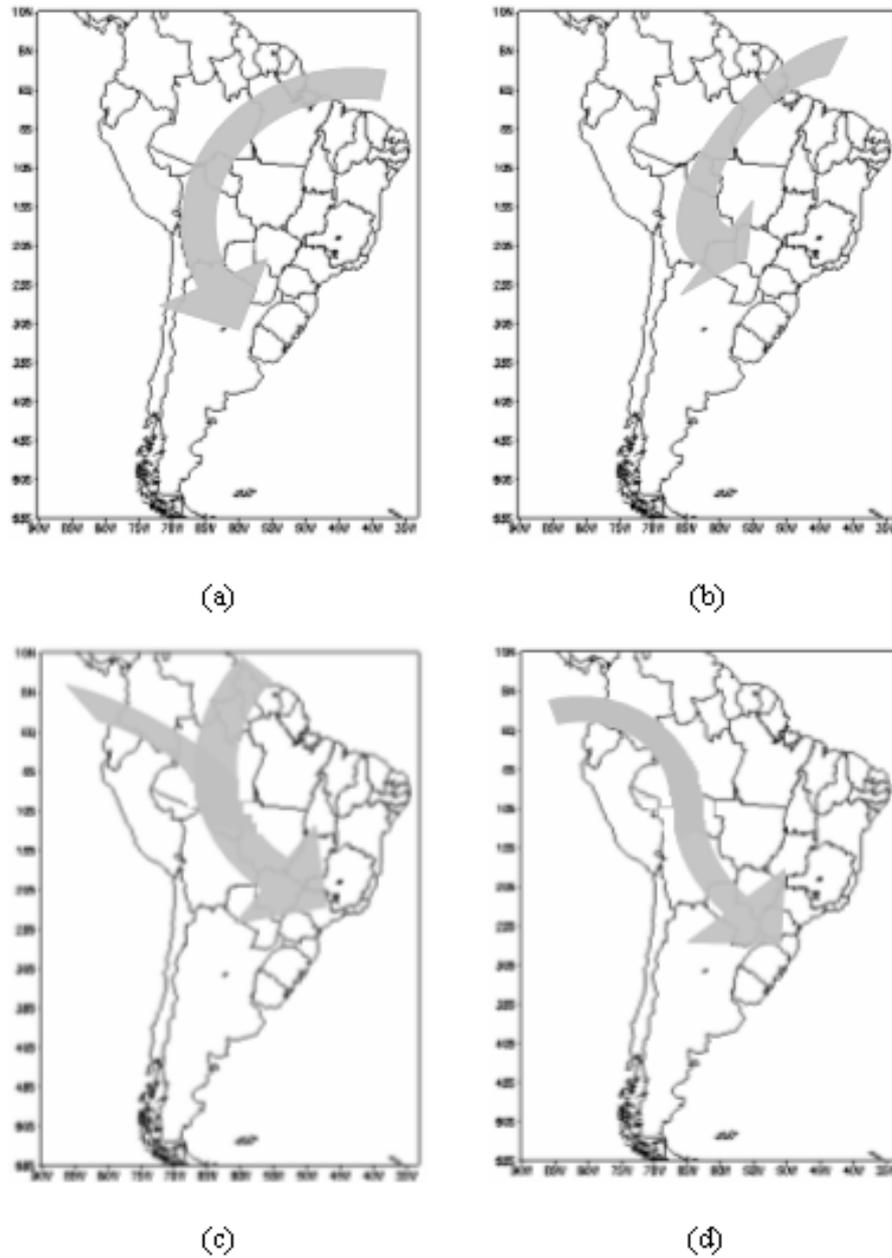


Figura 25: Diagramas conceituais do posicionamento médio dos JBN durante (a) El Niños fortes; (b) El Niños fracos; (c) La Niñas fortes e anos neutros e (d) La Niñas fracas.

7. SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

Os experimentos numéricos foram obtidos através do uso do modelo baroclínico a partir de uma forçante térmica inserida no estado básico climatológico correspondente ao período de DJF de 1969 a 2003 sem anos de El Niño, eliminando assim a pré-existência do mesmo. O tempo de integração foi de 15 dias, sendo suficiente para obter uma resposta quase-estacionária.

Utilizou-se uma forçante horizontal de forma elíptica para representar um aquecimento na coluna atmosférica gerado quando da configuração de anomalias positivas de TSM sobre o Pacífico Equatorial em anos de El Niño (ver figuras 7a a 7c como referência). Em relação à estrutura vertical o aquecimento máximo ocorreu em 400 hPa, com uma magnitude de 5 K/dia e média na coluna de 2,5 K/dia. A forçante de excentricidade $\varepsilon=1/6$ foi posicionada na latitude de 0° e longitudes de 120°W , 140°W e 160°W . Posteriormente alguns testes de sensibilidade foram feitos posicionando a forçante de calor nas latitudes de 3°N e 3°S . A Figura 26 mostra a forçante de calor no caso do experimento em $0^\circ;120^\circ\text{W}$.

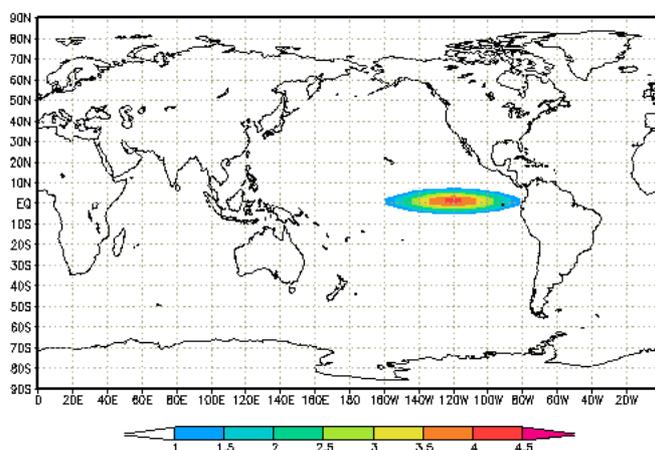


Figura 26: Forçante de calor utilizada no experimento $0^\circ;120^\circ\text{W}$. Valores a cada 0.5 K/dia.

A Figura 27 apresenta a anomalia de função de corrente média em 200 hPa simulada para o dia 15 de integração. Os resultados mostrados são para a saída do modelo com a forçante posicionada em 0°; 120°W, 140°W e 160°W, respectivamente, e para 3°N e 3°S nas mesmas longitudes. Em linhas gerais, a resposta linear obtida foi o estabelecimento de um padrão de trem de ondas de Rossby semi-estacionárias que emanou do Centro-Leste do Pacífico Equatorial, cruzando o Sul da AS e retornando em direção a latitudes mais baixas. Na Figura 27a observa-se que este padrão foi similar ao observado, em anos de El Niños fortes (Figura 8a). O padrão ondulatório reproduzido nas Figuras 27b e 27c são semelhantes entre si. Porém, a estrutura de núcleos ciclônicos e anticiclônicos não parece tão bem configurada como nas observações (Figuras 8b e 8c). Através das Figuras 27d, 27e e 27f observa-se que o deslocamento da forçante para 3°N gerou ondas com amplitudes menores em relação às Figuras 27a, 27b e 27c, principalmente sobre a AS. O contrário, porém, pode ser observado nas Figuras 27g, 27h e 27i quando a forçante foi posicionada mais ao sul do equador.

A Figura 28 mostra o comportamento dos ventos nível de 850 hPa resultantes do padrão de trem de ondas semi estacionário simulado. A seqüência de letras mostra os campos simulados para forçante posicionada em 0°; 120°W, 140°W e 160°W, respectivamente, e o mesmo ocorre para 3°N e 3°S. Em 28a, 28b e 28c observa-se que os ventos Alísios foram defletidos para norte e para sul próximo da longitude de 65°W. A deflexão para o sul favoreceu a formação do JBN. O núcleo do JBN simulado ficou posicionado em torno de 25°S e entre 60°W-65°W, ficando mais a oeste do que foi observado. A magnitude do vento no núcleo do JBN ficou em torno de 12 m.s⁻¹ para a forçante tropical mais a leste (Figura 28a), e em torno de 10 m.s⁻¹ para as outras forçantes (Figuras 28b e 28c). Quando a forçante

foi deslocada para 3°N (Figuras 28d, 28e e 28f) os Alísios foram enfraquecidos e conseqüentemente a velocidade do vento no núcleo do JBN. O contrário ocorreu quando a forçante de calor foi posicionada em 3°S (Figuras 28g, 28h e 28i).

Alguns testes de sensibilidade relativos ao formato da forçante foram realizados. Quando utilizou-se uma forçante menos alongada horizontalmente ($\epsilon=1/4$) observou-se que menos energia foi colocada sobre os extratropicais do Hemisfério Sul.

Em linhas gerais, as simulações mostraram que mudanças na localização da forçante convectiva sobre o Pacífico Equatorial podem influenciar a resposta atmosférica extratropical sobre a América do Sul e conseqüentemente o JBN. Embora a posição do eixo do jato simulado não tenha ficado dentro do observado o mesmo foi simulado próximo da região esperada. É possível que o modelo fosse capaz de simular o posicionamento correto do eixo do JBN se o mesmo interagisse com sistemas transientes conforme vimos nas análises das composições. Experimentos numéricos com modelos mais complexos como um Modelo de Circulação Geral são necessários para um melhor entendimento desta interação entre baixa e alta frequência.

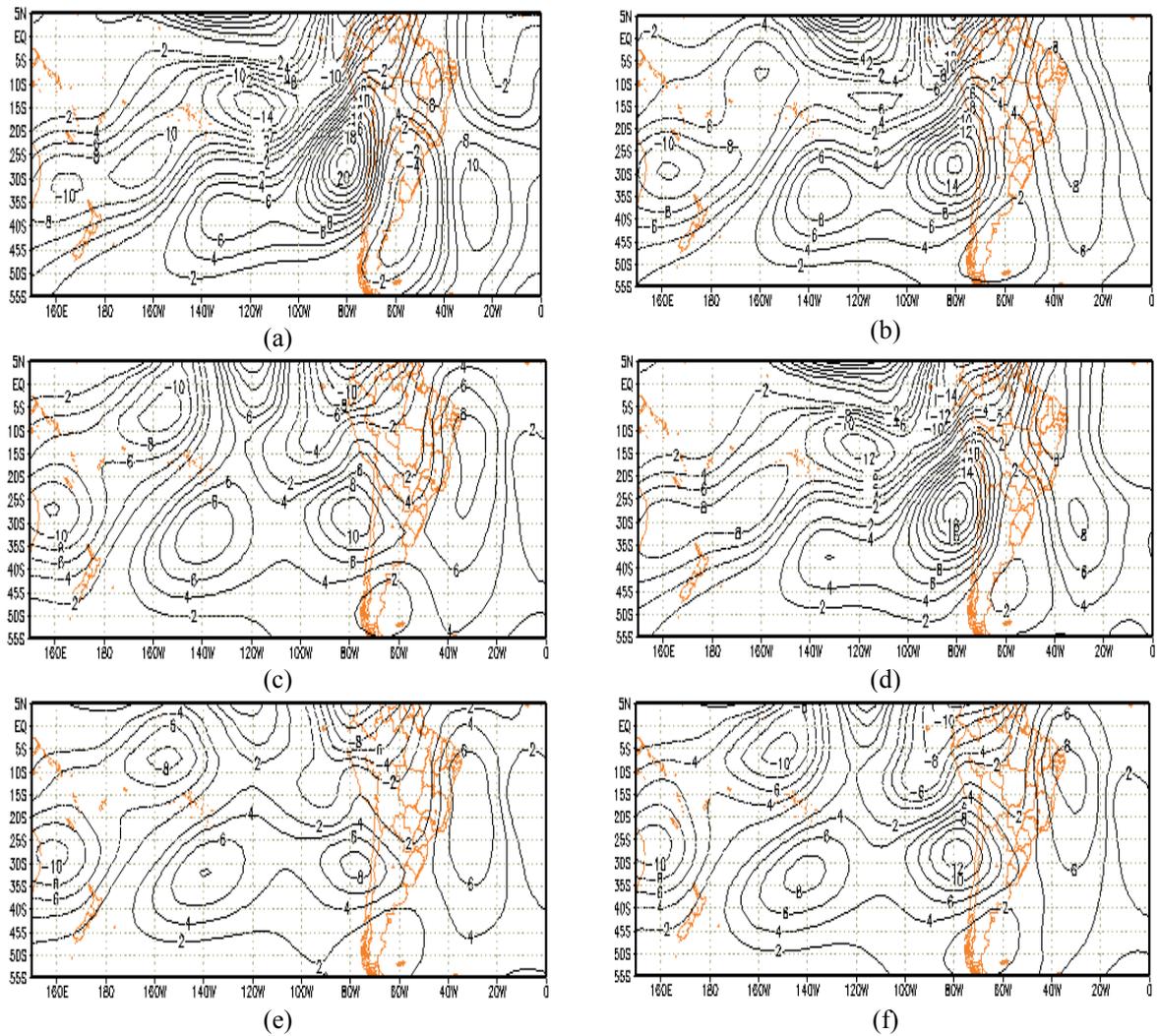


Figura 27: Anomalia de função de corrente em 200 hPa para o dia 15 de integração com média zonal removida. Posição da forçante em: 0° e (a) 120°W, (b) 140°W, (c) 160°W; 3°N e (d) 120°W; (e) 140°W; (f) 160°W; 3°S e (g) 120°W; (h) 140°W; (i) 160°W. Isolinhas de contorno a cada $2 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Continua na próxima página.

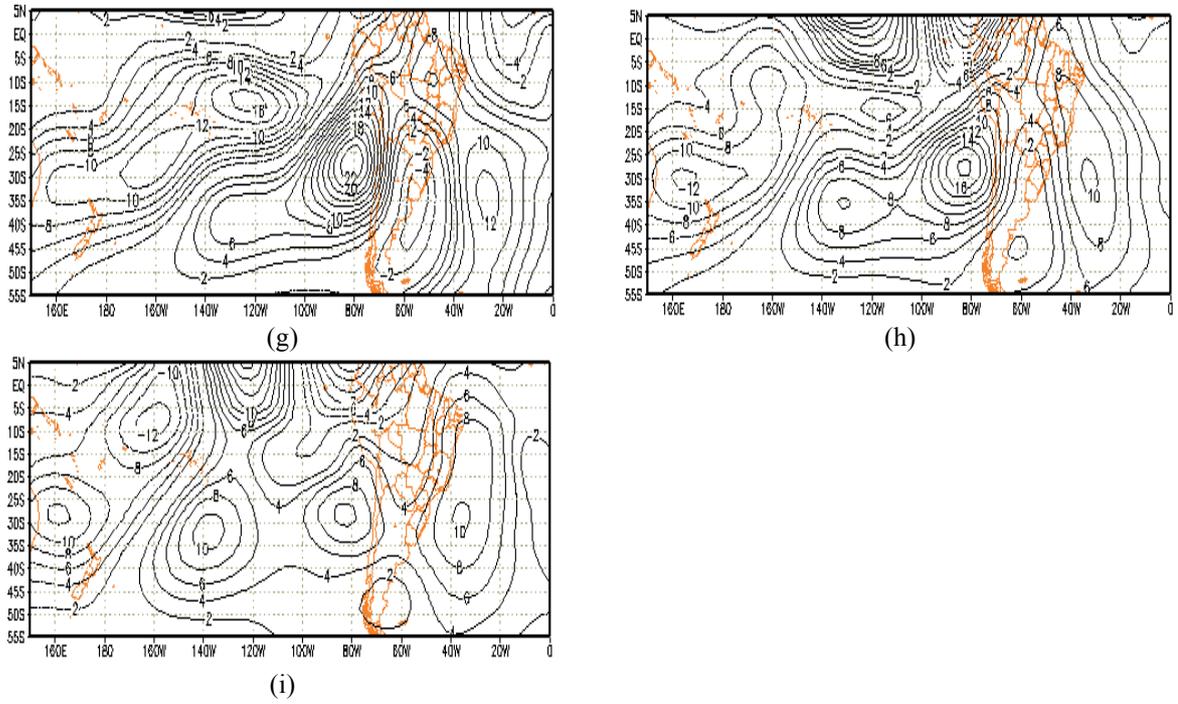


Figura 27: ... continuação.

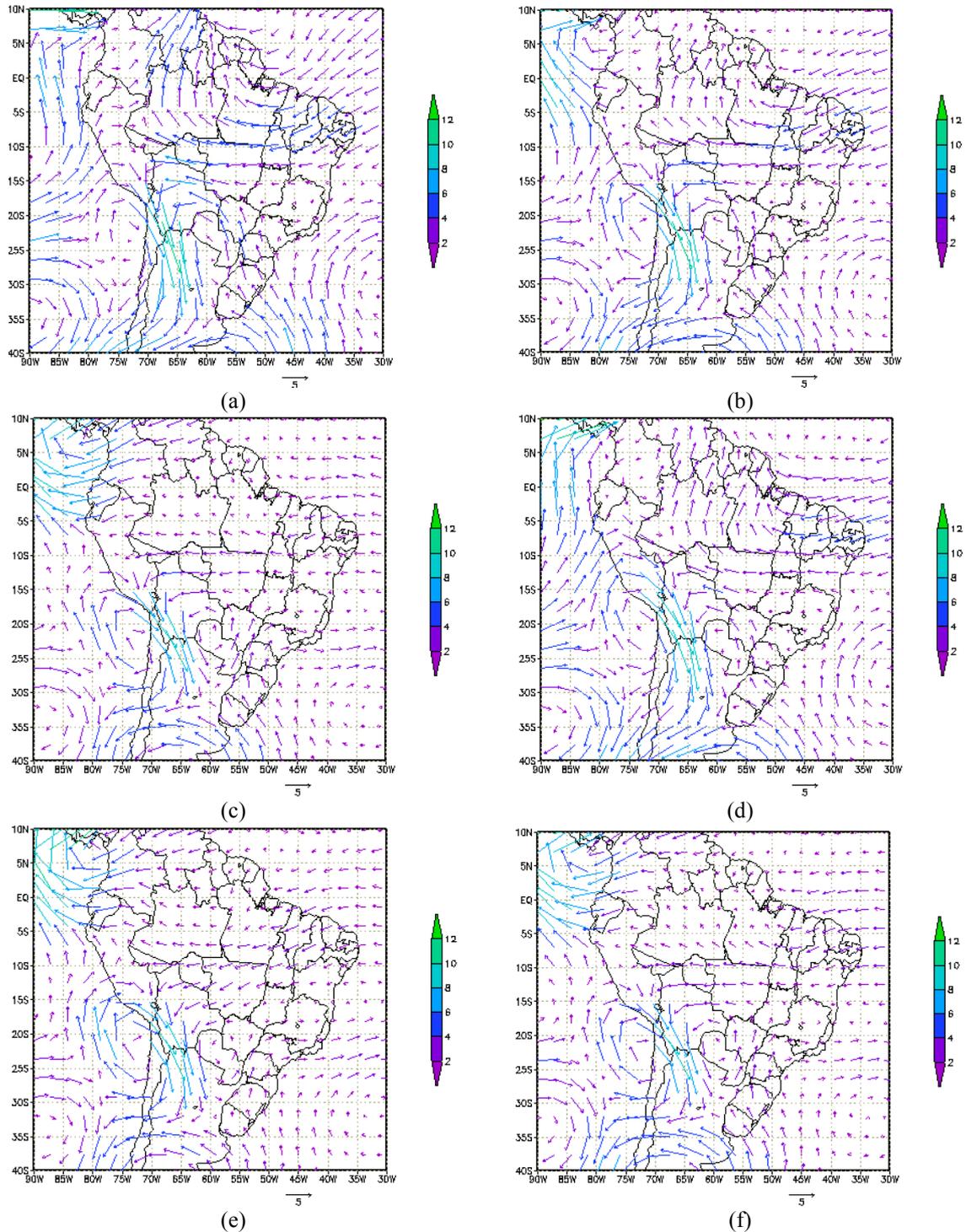


Figura 28: Anomalia do vento (m.s^{-1}) simulado para o dia 15 de integração em 850 hPa para forçante em: 0° e (a) 120°W, (b) 140°W, (c) 160°W; 3°N e (d) 120°W; (e) 140°W; (f) 160°W; 3°S e (g) 120°W; (h) 140°W; (i) 160°W. Continua na próxima página.

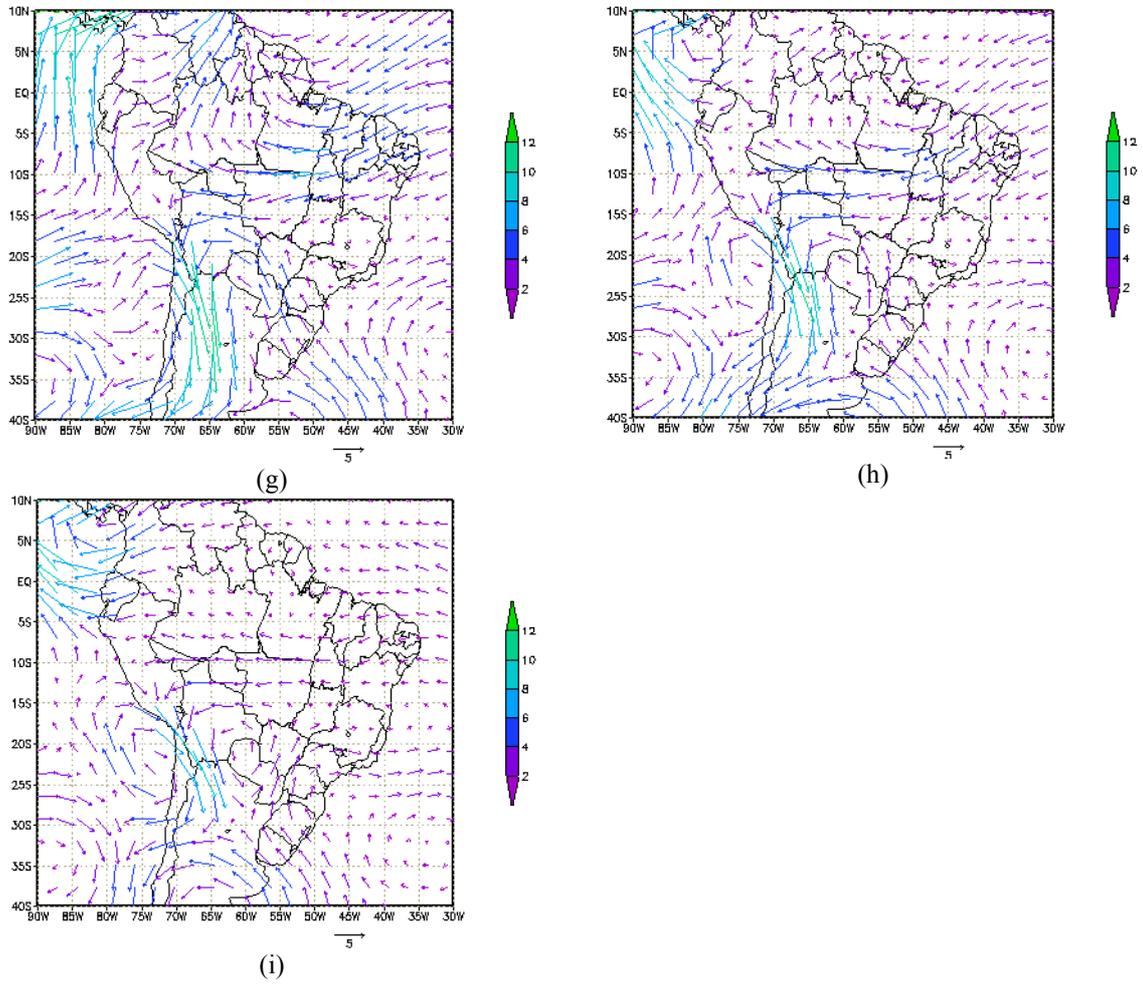


Figura 28: ... continuação.

8. CONCLUSÕES

A influência da variabilidade no campo de TSM observada no Pacífico Equatorial em conjunto com a dinâmica interna da atmosfera exerce um efeito modulador sobre o clima do continente sul americano. Estudos anteriores, como os de Marengo e Hastenrath (1993) e Moura e Shukla (1982), identificaram tanto processos remotos de grande escala, quanto os processos continentais e de escala menor, como sendo essenciais na explicação dos regimes de precipitação da América do Sul.

A série temporal de frequências de JBN sobre Santa Cruz-Bolívia, de acordo com o critério 1 de Bonner, mostrou frequências de normal a acima da média durante El Niños fortes e fracos e de normal a abaixo da média durante La Niñas fortes e fracas. Durante os eventos neutros, observou-se frequências abaixo, em torno e acima da climatologia.

De maneira geral em resposta a variabilidade inter El Niños observou-se o estabelecimento de um trem de ondas de Rossby que emanou do centro-leste do Pacífico Equatorial, cruzando o sul da América do Sul e retornando em direção a latitudes mais baixas. Na ausência de eventos El Niño o trem de ondas apresentou fase oposta. Pequenos deslocamentos no posicionamento do trem de ondas de Rossby quase-estacionária sobre o continente sul americano afetaram de forma significativa o transporte de umidade dos trópicos para os extratropicos pelo JBN. A maior contribuição do padrão ondulatório de grande escala na gênese dos JBN ocorreu quando a atmosfera esteve sob influência da fase quente do ENOS.

As teleconexões do ENOS durante o verão austral mostraram mudanças na frequência de ocorrência do regime de circulação sobre a América do Sul. As composições durante os dias de atuação de JBN mostraram que em anos de El Niños fortes e fracos o sistema foi alimentado pelos ventos Alísios de leste e norte, respectivamente. Em anos de La Niñas fortes e anos neutros um segundo escoamento de oeste vindo do Pacífico Equatorial Leste cruzou a América do Sul contribuindo na manutenção do JBN. Durante La Niñas fracas isso também ocorreu, contudo os ventos Alísios não mostraram contribuição significativa na formação do fenômeno. Observou-se ainda que a passagem de sistemas baroclínicos transientes sobre a América do Sul, por exemplo, afetaram a intensidade e posicionamento dos JBN. O fenômeno também exerceu influência sobre a atividade convectiva na Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Por exemplo, durante El Niños fortes o JBN se deslocou mais ao sul do continente e a convecção anômala ficou concentrada no Nordeste da Argentina e Sul do Brasil. Porém, nas composições durante El Niños fracos e La Niñas fortes os jatos perderam intensidade e se deslocaram mais para sudeste do continente, alimentando atividade convectiva na região da ZCAS. Liebmann et al (2004) realizaram um estudo comparativo entre extremos de precipitação identificados na saída do JBN com aqueles na região da ZCAS. Os autores verificaram que quando o fluxo de umidade transportado pelo JBN ao centro da América do Sul é intenso, a convecção ao longo da ZCAS é enfraquecida e vice-versa. Eles sugeriram que o padrão parece ser influenciado pelas variações intrasazonais de baixa frequência devido a Oscilação de Madden e Julian. Os resultados apresentados aqui sugerem que a posição das anomalias positivas de TSM sobre o Pacífico Equatorial e sua

intensidade também podem influenciar a convecção na ZCAS através da mudança do eixo central do JBN.

As simulações numéricas com o modelo baroclínico seco reforçam a importância do impacto de forçantes tropicais na geração e localização do JBN. Em termos lineares, o posicionamento de forçantes térmicas sobre o Pacífico Equatorial determinam basicamente a trajetória e o alcance do trem de ondas quase-estacionário, e conseqüentemente a localização e intensidade do JBN. O uso do IGCM nesse tipo de estudo permitiu investigar a representatividade da ocorrência de JBN e a situação de grande escala associada. Interessante notar que o modelo de forma geral deslocou o eixo do JBN mais a oeste do observado. É possível que o correto posicionamento do mesmo exija uma interação com sistemas transientes, conforme verificamos nas análises das composições. Estudos mais focados neste tipo de interação principalmente durante a fase quente do ENOS ainda são necessários, bem como o uso de modelos mais complexos como os de Circulação Geral (MCG).

9. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Como uma extensão do estudo, as próximas etapas poderão ser executadas:

- Estudar mais detalhadamente outras possíveis forçantes remotas que possam contribuir com a ocorrência anômala de JBN em anos neutros, visto que nessa fase tudo pode acontecer.
- Fazer um estudo mais específico da interação entre jato de baixos níveis e sistemas frontais.
- Experimentos numéricos com um MCG.
- Através de dados observacionais oriundos de radiossondagens e balões piloto de experimentos de campo na região de atuação do JBN, revisar o Critério de 1 Bonner adequando-o as condições do continente sul-americano.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the South America Sector Part I: Surface Climate . *Mon. Wea. Rev.*, 116, 505-524.

Ambrizzi, T., 2003: El Niño/Oscilação Sul e teleconexões atmosféricas no hemisfério austral. Tese de Livre – Docente. Instituto Astronômico e Geofísico. USP. São Paulo, Brasil. 201pp.

Ambrizzi, T. e Hoskins, B.J., 1997: Stationary Rossby wave propagation in a baroclinic atmosphere. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 123, 919-928.

____ e Souza, E.B., 2003: Hadley and Walker Circulations associated with the ENSO episodes during 1970s, 1980s and 1990s: Impacts on the South American Seasonal Rainfall. 7th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. 24-28, March. Wellington, New Zealand. p: 14-15.

Bonner, W.D., 1968: Climatology of the Low Level Jet. *Mon. Wea. Rev.*, 96, 833-50.

Climanálise, 1998. Vol. 13 - N.02. Produzida pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 01 mar. 2004.

Coelho, C.A.S., 2001: Anomalias de precipitação sobre a América do Sul e sua relação com a Temperatura da Superfície do Mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico durante períodos de extremos de El Niño/Oscilação Sul. Dissertação de Mestrado do IAG, 253pp.

____; Uvo, C. B.; Ambrizzi, T., 2002: Exploring the impacts of the tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. *Theor. Appl. Climatol.* 71, 185-197.

____ e Ambrizzi, T., 2000: Climatological studies of the influences of El Niño Southern Oscillation event in the precipitation pattern over South America during Austral Summer. *6th International Conference on Southern Hemisphere*, Santiago, Chile, 1, 149-150.

Douglas, M. W.; Peña, M.; Villarpando, R., 2000: Special observations of the low level flow over eastern Bolivia during the 1999 atmospheric mesoscale campaign. In Extended Abstracts of the 6th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. 3-7 April 2000. Santiago, Chile, pp. 157-158.

____, M. W.; Valdez-Manzanilla, A.; Cueto, R. G., 1998: Diurnal Variation and Horizontal Extent of the Low-Level Jet over the Northern Gulf of California. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 2017–2025.

Drumond, A. R. M., 2001: Simulações numéricas de períodos extremos da Oscilação Sul e seu impacto sobre o clima das Américas. Dissertação de Mestrado. Instituto Astronômico e Geofísico. USP. São Paulo, Brasil. 116pp.

_____, Ambrizzi, T., 2003: Estudo observacional e numérico da variação da circulação atmosférica nas Américas em episódios extremos da Oscilação Sul. *Rev.Bras.Meteo.*, 18, n.1.

Fernandes, A.S., 2003: Influência da Temperatura da Superfície do Mar na Precipitação, em Simulações de Longo Período sobre o Nordeste Brasileiro. Dissertação de Mestrado. Instituto Astronômico e Geofísico. USP. São Paulo, Brasil.

Ferraz, S. E. T., 2004: Variabilidade Intrasazonal no Brasil e Sul da América do Sul. Dissertação de Doutorado. Instituto Astronômico e Geofísico. USP. São Paulo, Brasil. 126pp.

Figueiroa, N.F., Satyamurty P.; Silva, P.L.D., 1995: Simulations of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model. *J. Atmos. Sci.*, 52,1573-1584

Grimm, A. M.; Barros, V. R.; Doyle, M. E., 2000: Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate.*, 13, 35-58

_____, Ferraz, S. E. T.; Gomes, J., 1998: Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate.*, 11, 2863-2880.

James, J. N. e Anderson, D. L. T., 1984: The seasonal mean flow and distribution of large-scale weather systems in southern hemisphere: the effects of moisture transports. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 110, 943-996.

Lau, W. e Zhou, J., 2000: Rainfall regimes and interannual variability of South American summer monsoon. In *Extended Abstracts of the 6th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography*. 3-7 April 2000. Santiago, Chile, pp. 153-154.

Liebmann, B., e Smith, C. A., 1996: Description of a complete (interpolated) outgoing longwave radiation dataset. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 1275-1277.

Liebmann, B., Kiladis, G.N., Vera, C.S., Saulo, A.C.; Carvalho, L.M.V., 2004: Subseasonal variations of rainfall in South America in the vicinity of the low-level jet east of the Andes and comparison to those in the South Atlantic convergence zone, 3829-3842, *J. Climate*.

Harrison, D.E. e Larkin, N.K., 1998. El Niño-Southern Oscillation sea surface temperature and wind anomalies, 1946-1993. *Rev. Geophysics*, 36(3): 353-399.

Hoskins, B.J. e Simmons, A.J., 1975: A multi-layer spectral model and the semi-implicit method. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 101, 637-655.

Kalnay, E., Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gandin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Janowiak, J.; Mo, K.C.; Ropelewski, C.; Wang, J.; Leetmaa, A.; Reynolds, R.; Roy Jenne; Joseph, D., 1996: The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 77, No.3, 437-471.

Kiladis, G. N. e Diaz, H. F., 1989: Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. *J.Climate*, 2, 1069-1090.

Kousky V. E.; Kagano, M. T.; Cavalcanti, I.F.A., 1984: A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, 36A, 490-504.

Marengo, J. e Hastenrath, S.: 1993, 'Case studies of extreme climatic events in the Amazon basin', *J. Climate*, 6, 617-617 .

Marengo, J. A e Soares, W. R., 2002: Episódios de Jatos de Baixos Níveis ao Leste dos Andes durante 13 -19 de abril de 1999. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.17, n. 1, 35- 52.

_____, Soares; W. R., Saulo, C.; Nicolini, M., 2004: Climatology of the Low-Level Jet east of the Andes as derived from the NCEP reanalyses. *J. Climate*, 17, 2261-2280

Misra, V.; Dirmeyer, P.; Kirtman, B.; Huang H.; Kanamitsu, M., 2000: Regional simulation of Interannual Variability over South America.. COLA Technical Report 85, 42 pp.

Moura, A. D. e Shukla, J.: 1981. On the dynamics of the droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmospheric Science*, 38 (12): 2653-2673.

Paegle, J. 1987: Interactions between convective and large-scale motions over Amazonia. In: *The geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions*. R. Dickerson ed., Wiley Intersciences, 347-390.

_____, 1998: A comparative review of South American low level jets. *Meteorologica*, 3:73-82.

Pezzi, L. P. e Cavalcanti, I. F. A., 2001: The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. *Clim. Dyn*, 17, 205-212.

Rao, V. B. e Hada, K. 1990: Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with Southern Oscillation. *Theor. App. Clim.*, 42,81-91.

Reynolds, R. W. e Smith, M.S., 1994: Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation. *J. Climate*, 7, 929-948.

Ropelewski, C. F., e Halpert, M. S., 1986: North American precipitation and temperature associated with the El Niño Southern Oscillation (ENSO). *Mon. Wea. Rev.*, 114, 2352-2362.

_____, e _____, 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1606-1626.

_____, e _____, 1989: Precipitation patterns associated with high index phase of Southern Oscillation. *J. Climate*, 2, 268-284.

Salio, P; Nicolini M.; Saulo, C., 2002: Chaco Low-Level Jet Events characterization During the Austral Warm Season by ERA Reanalysis, VAMOS/CLIVAR/WCRP Conference on South American low-level jet. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, 5-7 February 2002.

Saulo, C.; Nicolini M.; Chou, S. C., 2000: Model characterization of the South American low-level flow during the 1997-98 spring-summer season. *Climate Dynamics*. 16:867-881.

Sugahara, S.; Rocha, R.P.; Rodrigues, M. L, 1994: Condições atmosféricas de grande escala associadas a jato de baixos níveis na América do Sul. VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET, Anais, 2, 573-577.

Trenberth, K. E.; Branstator, G. W.; Karoly, D.; Kumar, A.; Lau, N.-C.; Ropelewski, C., 1998: Progress during TOGA in understanding and modeling global teleconnections associated with tropical sea surface temperatures. *J. Geophys .Res.*, 103, C7, 14291-14324.

Xie, P. e Arkin, P., 1998: Global monthly precipitation estimates from satellite-observed outgoing long wave radiation. *J. Climate*, 11, 137-164.

Woodruff, S. D.; Slutz, R. J.; Jenne, R. L.; Steurer, P. M. , 1987: A comprehensive ocean-atmosphere data set. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 68, 1239-1250.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)