



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE – 6347 – TDI / 598

DISTÚRBIOS NOS VENTOS DE LESTE NO ATLÂNTICO TROPICAL

Elizabeth Silvestre Espinoza

Dissertação de Mestrado em Meteorologia, orientada pela Dra. Mary Toshie, aprovada em março de 1996.

INPE
São José dos Campos
1996

551.55(261.5)

SILVESTRE ESPINOZA, E.

Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico Tropical / E. Silvestre Espinoza. - São José José dos Campos: INPE, 1996.

149p. - (INPE-6347-TDI/598)

1. Ondas de leste. 2. Atlântico Sul. 3. Meteorologia tropical. 4. Climatologia. I. Título.

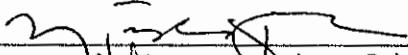
Aprovada pela Banca Examinadora em
cumprimento a requisito exigido para a
obtenção do Título de Mestre em
Meteorologia

Dr. Vadlamudi Brahmananda Rao



Presidente

Dra. Mary Toshie Kayano



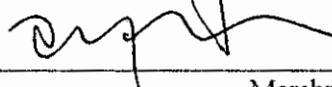
Orientadora

Dr. Nelson Jesus Ferreira



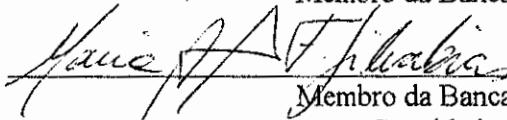
Membro da Banca

Dr. Prakki Satyamurty



Membro da Banca

Dra. Maria Assunção Faus da Silva Dias



Membro da Banca
- Convidada -

Candidata: Elizabeth Silvestre Espinoza

São José dos Campos, 06 de março de 1996

com
todo o meu
carinho
dedico este trabalho a
Sebastiana e Pedro, meus pais.
Necelia, Carlos, Juan, Gina,
César, Maria, Julio
e Selenita,
meus irmãos.

Ademais
Isely Doris, Luis Miguel,
Jorge Luis, Ricardo Pavel, Jim Marco,
Hugo, Chana e Carlos Juan Félix, meus sobrinhos.
por todo o que significam

AGRADECIMENTOS

Depois de uma larga jornada chegou-se ao fim deste trabalho, que não poderia ser realizado sem a ajuda direta e indireta de muitas pessoas, por isso agradeço:

à Dra. Mary T. Kayano, pela sugestões e ajuda insubstituível no desenvolvimento deste trabalho.

ao pessoal de apoio em computação pelos eficientes serviços prestados para a culminação deste trabalho.

a Ximena Torres, uma grande amiga quem brindou a ajuda mais valiosa...AMIZADE, no início, no desenvolvimento e no final deste trabalho.

a Ligia A. Pizarro pelo ânimo constante durante a realização do presente trabalho.

a todos os amigos que de alguma maneira ajudaram durante o desenvolvimento do trabalho.

Em adição agradeço à CAPES que viabilizou a execução da pesquisa através do suporte financeiro proporcionado.

RESUMO

As técnicas das Funções Ortogonais Empíricas (EOF) e das Funções Ortogonais Empíricas Estendidas (EEOF) foram aplicadas na componente meridional do vento para investigar as características dos distúrbios ondulatórios de leste no Atlântico Tropical, para o período de 1 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 1989 nos níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa. Os padrões mostram a existência de distúrbios deslocando-se para oeste durante todo o ano mas com características sazonais diferentes. Durante DJF os distúrbios são mais intensos no Hemisfério Sul, sendo o comprimento de onda de 6000 Km a 7000 Km e velocidade de fase de 10 m/s a 14 m/s. Durante JJA os distúrbios são mais intensos no Hemisfério Norte, sendo o comprimento de onda de 3500 Km a 4000 Km e velocidade de fase de 10 m/s a 13 m/s. Nas estações de transição (SON e MAM) estes distúrbios apresentam sinais tanto no Hemisfério Sul como no Hemisfério Norte. Dentre algumas características destes distúrbios, a inclinação horizontal é de sudeste para noroeste durante SON e DJF, e é de sudoeste para nordeste durante MAM e JJA. Na vertical a inclinação é ligeiramente para leste durante SON e DJF, e é para leste de 1000 hPa até 700 hPa e para oeste de 700 hPa até 500 hPa durante MAM e JJA. Os distúrbios de leste apresentam suas máximas intensidades no nível de 850 hPa. Foram encontrados indicações que estes distúrbios poderiam estar relacionados com os furacões do Hemisfério Norte durante JJA e SON. Nestes períodos a trajetória dos distúrbios é próxima daquela dos furacões.

EASTERLY DISTURBANCES IN THE TROPICAL ATLANTIC

The empirical orthogonal function and extended empirical orthogonal function techniques have been applied to the meridional wind component to investigate the features of the wavelike easterly disturbances in the Tropical Atlantic for the period January 1, 1980 to December 31, 1989 at 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa. The patterns show the existence of westward traveling disturbances during all the year with different seasonal features. During DJF the disturbances are more intense in the Southern Hemisphere, being the wavelenght of 6000 Km to 7000 Km and phase velocity of 10 m/s to 14 m/s. During JJA the disturbances are more intense in the Northern Hemisphere, being the wavelenght of 3500 Km to 4000 Km and phase velocity of 10 m/s to 13 m/s. During transition seasons (SON and MAM) these disturbances show signals in the Southern Hemisphere and in the Northern Hemisphere. Among some features of these disturbances, the horizontal inclination is from southeast to northwest during SON and DJF and it is from southwest to northeast during MAM and JJA. The vertical inclination is slightly to east during SON and DJF and it is to east from 1000 hPa to 700 hPa and to west from 700 hPa to 500 hPa during MAM and JJA. The easterly disturbances show their maximum intensity at 850 hPa. Indications that these disturbances can be related to the hurricanes of Northern Hemisphere during JJA and SON, have been found. The trajetory of the traveling disturbances is close to the hurricane trajetory.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE TABELAS.....	xxi
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
CAPÍTULO 3 - DADOS E METODOLOGIA.....	15
3.1 - Dados.	15
3.2 - Metodologia.....	15
3.2.1 - Funções Ortogonais Empíricas (EOF).....	18
3.2.2 - Funções Ortogonais Empíricas Estendidas (EEOF)	23
3.2.3.- Estimativa das características das ondas.....	25
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS.....	27
4.1 - Campo médio da componente meridional do vento...	28
4.2 - Campo da razão entre a variância retida pelo filtro e a variância da série original.....	34
4.3 - Análise das Funções Ortogonais Empíricas.....	40
4.3.1 - Primavera (SON).....	41
4.3.2 - Verão (DJF).....	47
4.3.3 - Outono (MAM).....	52
4.3.4 - Inverno (JJA).....	57
4.4 - Análise das Funções Ortogonais Empíricas Estendidas	
4.4.1 - Primavera (SON).....	64
4.4.2 - Verão (DJF).....	70
4.4.3 - Outono (MAM).....	76
4.4.4 - Inverno (JJA).....	82

4.5 - Análise dos Diagramas Hovmoller.....	89
4.5.1 - SON.....	89
4.5.2 - DJF.....	92
4.5.3 - MAM.....	98
4.5.4 - JJA.....	101
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
Apêndice A - CAMPOS MÉDIOS DA COMPONENTE MERIDIONAL DO VENTO PARA ALGUNS ANOS.....	117
Apêndice B - DIAGRAMAS HOVMOLLER.....	123

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - Resposta do filtro de Lanczos para alta frequência.....	17
4.1 - Campo médio da componente meridional do vento para os níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa para: (a) primavera (SON), (b) verão (DJF), (c) outono (MAM) e (d) inverno (JJA).....	30
4.2 - Razão entre a variância retida pelo filtro e variância da série original da componente meridional do vento para os níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa para: (a) primavera (SON), (b) verão (DJF), (c) outono (MAM) e (d) inverno (JJA).....	35
4.3 - Configurações dos modos 1 para a componente meridional do vento da primavera (SON) para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa	42
4.4 - Amplitudes dos modos 1 ilustrados na Fig. 4.3 para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e 500 hPa.....	43

4.5 - Configurações do modo 1 combinado para a componente meridional do vento para os níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa das primaveras dos anos normais (1980, 1983, 1984, 1985, 1987 e 1988).....	45
4.6 - Configurações dos modos 1 para a componente meridional do vento do verão (DJF) para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa.....	48
4.7 - Amplitudes dos modos 1 ilustrados na Fig. 4.6 para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e 500 hPa.....	49
4.8 - Configurações do modo 1 combinado para a componente meridional do vento para os níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa, e 500 hPa dos verões dos anos normais (1981/82, 1983/84, 1984/85, 1985/86, 1987/88 e 1988/89).....	51
4.9 - Configurações dos modos 1 para a componente meridional do vento do outono (MAM) para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa.....	53
4.10 - Amplitudes dos modos 1 ilustrados na Fig. 4.9 para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa.....	54

4.11 - Configurações do modo 1 combinado para a componente meridional do vento para os níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa, e 500 hPa dos outonos dos anos normais (1980, 1982, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988 e 1989).....	56
4.12 - Configurações dos modos 1 para a componente meridional do vento do inverno (JJA) para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa.....	58
4.13 - Amplitudes dos modos 1 ilustrados na Fig. 4.12 para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e 500 hPa.....	59
4.14 - Configurações do modo 1 combinado para a componente meridional do vento para os níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa, e 500 hPa dos invernos dos anos normais (1980, 1982, 1983, 1984, 1985, 1987 e 1988)	61
4.15 - Configurações do modo 1 estendido para a componente meridional do vento das primaveras de 1980, 1983, 1984, 1985, 1987 e 1988 para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa.....	66

4.16 - Configurações do modo 1 estendido para a componente meridional do vento dos verões de 1981/82, 1983/84, 1984/85, 1985/86, 1987/88 e 1988/89 para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa.....	72
4.17 - Configurações do modo 1 estendido para a componente meridional do vento dos outonos de 1980, 1982, 1984, 1985, 1986, 1987 1988 e 1989 para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa.....	78
4.18 - Configurações do modo 1 estendido para a componente meridional do vento dos invernos de 1980, 1982, 1983, 1984, 1985, 1987 e 1988 para: (a) 1000 hPa (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa.....	84
4.19 - Diagramas Hovmoller da anomalia da componente meridional do vento em 850 hPa: (a) em 15°N para SON de 1987 e (b) em 15°S para SON de 1988.....	90
4.20 - Diagramas Hovmoller da anomalia da componente meridional do vento em 850 hPa: (a) em 15°N para DJF de 1985/86 e (b) em 15°S para DJF de 1984/85.....	93
4.21 - Diagramas Hovmoller da anomalia da componente meridional do vento em 15°S para DJF de 1988/89: (a) 850 hPa, (b) 700 hPa e (c) 500 hPa.....	95

4.22 - Diagramas Hovmoller da anomalia da componente meridional do vento em 850 hPa: (a) em 15°N para MAM de 1988 e (b) em 15°S para MAM de 1986.....	99
4.23 - Diagramas Hovmoller da anomalia da componente meridional do vento em 850 hPa: (a) em 15°N para JJA de 1987 e (b) em 15°S para JJA de 1980.....	102
A.1 - Campo médio da componente meridional do vento para: (a) primaveras de 1982, 1986 e 1989, (b) verões de 1980/81, 1982/83 e 1986/87, (c) outonos de 1981 e 1983 e (d) invernos de 1981, 1986 e 1989.....	118
B.1 - Diagramas Hovmoller da anomalia da componente meridional do vento em 850 hPa em 15°S para: (a) SON de 1986, (b) DJF de 1982/83, (c) MAM de 1983 e (d) JJA de 1986	124

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Características dos distúrbios de leste na região tropical.....	14
4.1 - Comprimento de onda e inclinação horizontal dos distúrbios para primavera (SON).....	46
4.2 - Comprimento de onda e inclinação horizontal dos distúrbios para verão (DFJ).....	50
4.3 - Comprimento de onda e inclinação horizontal dos distúrbios para outono (MAM).....	57
4.4 - Comprimento de onda e inclinação horizontal dos distúrbios para inverno (JJA).....	62
4.5 - Características dos distúrbios ondulatórios para primavera (SON).....	65
4.6 - Características dos distúrbios ondulatórios para verão (DJF).....	71
4.7 - Características dos distúrbios ondulatórios para outono (MAM).....	77
4.8 - Características dos distúrbios ondulatórios para inverno (JJA).....	83

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O estudo da dinâmica dos fenômenos meteorológicos nos trópicos se reveste de grande importância em particular para o aprimoramento dos modelos de previsão de tempo. Na atmosfera tropical, caracterizada por muita umidade e intensa atividade convectiva, são observados fenômenos meteorológicos em várias escalas de espaço e de tempo, desde a convecção cúmulos até a oscilação quase-bienal. Os estudos destes fenômenos têm sido no passado bastante limitados pela escassez e baixa frequência das observações meteorológicas nos trópicos. Felizmente os centros de previsão de tempo têm ao longo dos últimos 10 a 15 anos gerado as análises para todo o globo, o que tem possibilitado melhorar o entendimento de vários aspectos da atmosfera tropical.

Em várias regiões da faixa tropical tem sido observada a presença de um fenômeno de tempo caracterizado por distúrbios nos ventos de leste, que vem sendo estudado há mais de quarenta anos. Estes distúrbios foram chamados de ondas de leste e foram encontrados no Pacífico leste e oeste, no Atlântico Norte e na faixa tropical perto da África.

As ondas de leste desde que foram descobertas por Dunn (1940) e descritas no modelo idealizado de Riehl (1945), foram relacionadas a nebulosidade convectiva, e por

consequente com a precipitação tropical, o que mostra a relevância do estudo destes distúrbios.

Os estudos de tais distúrbios foram restritos a curtos períodos de tempo. Por exemplo, Chan (1990) utilizou dados para um ano o que não permitiu uma análise das características climatológicas destes distúrbios. O estudo de Liebmann e Hendon (1990), que focaliza em uma extensa área da região tropical, utilizou somente a informação para um nível de pressão. Além disso, estes distúrbios não foram investigados em detalhes na região do Atlântico Sul. Assim, o presente estudo pretende ampliar o conhecimento sobre os distúrbios que ocorrem no Atlântico Tropical, abordando aspectos de sua variabilidade sazonal e interanual.

Especificamente pretende-se:

1. determinar objetivamente os padrões atmosféricos dominantes associados aos distúrbios nos ventos de leste no Atlântico Tropical.
2. determinar a evolução temporal de tais padrões.
3. investigar algumas características da variabilidade sazonal e interanual da atmosfera no Atlântico Tropical relacionados a estes distúrbios.

Para este fim, o presente trabalho utilizará a técnica das Funções Ortogonais Empíricas (EOF) para determinar os padrões dominantes e a técnica das Funções Ortogonais Empíricas Estendidas (EEOF) para investigar a evolução destes padrões. Neste trabalho serão utilizados dados do período de 1980 a 1989, o que permitirá investigar alguns aspectos da variabilidade interanual relacionados aos distúrbios nos ventos de leste.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um dos primeiros autores a detectar os distúrbios de leste foi Dunn (1940) que notou um deslocamento das isalobaras de 24 horas na região do Caribe, de leste para oeste. Posteriormente, com um modelo idealizado, Riehl (1945) mostrou que na região do Caribe os campos de pressão deslocam-se para oeste, dentro da corrente de leste do estado básico. Estes distúrbios foram chamados de ondas de leste. Riehl (1945) encontrou que tais ondas no Caribe têm velocidade de fase de 6° longitude por dia, período de 3 a 4 dias e comprimento horizontal de onda de 2000 a 3000 Km. Ele encontrou também que as condições de tempo relacionadas a estas ondas são: bom tempo a oeste do cavado e mau tempo a leste do cavado, devido à subsidência a oeste do cavado e movimento ascendente a leste do cavado, conforme a equação de vorticidade absoluta. Ele também mostrou que na baixa troposfera, a onda se move mais lentamente que a corrente básica, e possui um núcleo de ar mais frio que a vizinhança; a intensidade máxima da onda se dá em torno de 700 hPa a 500 hPa, e a inclinação é para leste com a altura.

Vários estudos foram realizados para classificar e determinar as características gerais destes distúrbios ondulatórios. Com base no modelo idealizado por Riehl (1945), Merrit (1964) utilizou imagens do satélite TIROS-N para o Atlântico Norte, nos períodos de julho a setembro de

1961 e julho a outubro de 1962 e encontrou distúrbios deslocando-se para oeste. Ele classificou e discutiu 5 tipos diferentes de distúrbios na região tropical e os chamou de perturbações de leste:

1. distúrbios fracos lineares;
2. distúrbios moderados com a nebulosidade distribuindo-se como um semi-vórtice;
3. distúrbios moderadamente intensos com a nebulosidade distribuída de forma vortical e circulação fechada na média troposfera;
4. distúrbios intensos com nebulosidade do tipo vórtice e forte circulação ciclônica na média troposfera
5. distúrbios na alta troposfera.

Simpson et al. (1968) utilizando imagens do satélite TIROS-N no Atlântico Norte, detectaram distúrbios ondulatórios deslocando-se para oeste, durante o verão do Hemisfério Norte. Eles mostraram que estes distúrbios deslocavam-se com um padrão de nuvens do tipo V-invertido cruzando o Atlântico que geralmente desaparecia antes de alcançar as Antilhas e com o período de permanência de pelo menos uma semana. Eles encontraram também que os padrões são melhor definidos na parte central e leste do Atlântico Norte. A velocidade média de propagação destes distúrbios foi de 16 nós, podendo variar de 12 a 19 nós, que é aproximadamente a velocidade dos ventos dos baixos níveis.

Yamazaki (1975) estudou a dinâmica das perturbações da região tropical do Atlântico Sul e costa brasileira. Ele comparou os seus resultados teóricos com os

inferidos através de análises das seções longitude-tempo das imagens de satélite para o inverno de 1967 construídas por Wallace e Chang (1972). Na faixa entre 5° e 10° S ele notou linhas de nuvens bem definidas cujos distúrbios associados apresentaram períodos de 4 dias, velocidade média de propagação de 10m/s e comprimento de onda de aproximadamente 4000 Km. Ele concluiu ademais que a elevada pluviosidade nos meses de inverno ao longo da costa nordeste está associada aos distúrbios de leste. Condensando estes resultados Yamazaki e Rao (1977) ressaltaram que os aglomerados de nebulosidade propagam-se de leste para oeste desde a longitude 10° E até aproximadamente 40° W.

Neiva (1975) aplicou as análises espectral e espectral cruzada nas componentes zonal e meridional do vento obtidas das análises do National Meteorological Center (NMC), para a região do Atlântico equatorial sul, para 1971. Ele notou distúrbios propagando-se para oeste com períodos entre 4 a 6 dias, comprimento de onda em torno de 6000 km e velocidade de fase de 11° longitude por dia. Estas características são similares às encontradas por Yamazaki (1975). Ainda mais, os distúrbios apresentaram inclinação noroeste-sudeste na horizontal, e para leste na vertical.

Kayano (1979) utilizando dados de radiosondagem de 1968 a 1976 das estações de Manaus e Belém situadas na parte tropical do Brasil, observou variações quase periódicas nos campos de vento e de umidade, com período de 3 a 5 dias, concordante com o período das ondas de leste do modelo de Riehl (1945).

Hall (1989) investigou a relação entre a passagem de ondas de leste e a ocorrência de chuvas fortes na Ilha de Ascensão, localizada na região Equatorial do Atlântico Sul nos meses iniciais de 1986. Ele utilizou imagens de satélite e perfis verticais de vento e encontrou indicações da relação da passagem de distúrbios de leste e chuvas fortes na Ilha. Ele ilustrou casos de distúrbios intensos em março e abril e sugeriu que a origem deles seria na África equatorial central.

Mais recentemente, Chan (1990) aplicou a técnica espectral nos dados de vento, para o período de dezembro de 1978 a novembro de 1979, para estudar os distúrbios na região tropical do Atlântico Sul. Ela observou distúrbios ondulatórios com características de ondas de leste, e ressaltou que há sinais destes distúrbios durante todo o ano. Para o inverno do Hemisfério Sul ela encontrou comprimento de onda de 6200 Km e velocidade de fase de 12 m/s, e para o outono comprimento de onda de 4800 km e velocidade de fase de 11 m/s, e o período variando de 5 a 6 dias.

Outra região onde foram detectados distúrbios ondulatórios de leste é o Oceano Pacífico. Nesta região os distúrbios apresentam características diferentes daquelas do Atlântico, principalmente quanto ao comprimento de onda e período.

Yanai et al. (1968) aplicaram análise espectral na componente meridional do vento em vários níveis para estações do Pacífico Tropical, para o período de abril a julho de 1962. Seus resultados indicaram distúrbios com

periodicidade de 4 dias correspondentes às ondas equatoriais de leste que predominam na baixa troposfera. Utilizando a análise espectral cruzada encontraram o comprimento de onda de 6000 km, maior que o determinado por Riehl (1945) para a região do Caribe. Ainda mais, notaram que a inclinação com a altura das linhas de fase dos distúrbios na baixa troposfera é para leste, na alta troposfera é para oeste e na baixa estratosfera é para leste. Assim, eles sugeriram que os distúrbios da baixa troposfera não estão relacionados com os de altos níveis.

Posteriormente, Wallace e Chang (1969) estenderam o trabalho de Yanai et al. (1968) a outras variáveis (temperatura, umidade relativa, pressão à superfície) medidas em diferentes estações meteorológicas do Pacífico Tropical, para o período de julho a dezembro de 1963. A análise espectral da componente meridional do vento apresentou picos para oscilações com períodos entre 4 e 5 dias, coincidindo com o período encontrado por Yanai et al. (1968). O comprimento de onda destas oscilações foi de 3000 km. Eles mostraram também que distúrbios com períodos maiores de 3 dias estão intimamente relacionados a variação da umidade relativa. Desta forma, sugeriram que distúrbios de escala sinótica influenciam o campo de umidade da baixa troposfera.

Chang (1970), utilizando uma composição temporal de faixas latitudinais de imagens de satélite para os meses de verão do Hemisfério Norte do ano 1967, detectou características ondulatórias nos aglomerados convectivos sobre o Pacífico Tropical, que se deslocavam para oeste com uma velocidade de fase de aproximadamente 9 m/s.

Reed et al. (1977) utilizaram a técnica de composição para obter uma estrutura média de 18 distúrbios observados no Pacífico oeste, para o período de julho a setembro de 1967. Eles encontraram distúrbios de escala sinótica deslocando-se para oeste com comprimento de onda médio de 3500 a 4000 km e velocidade de fase de 7° de longitude por dia na região do cavado equatorial. Observaram ainda, que a estrutura horizontal da onda variava com a localização, e que a componente meridional do vento tem fases opostas entre a baixa e a alta troposfera. Também notaram desvios negativos de temperatura na vizinhança do cavado da onda em baixos e altos níveis e desvios positivos nos níveis intermediários. Encontraram também que alta umidade relativa ocorre na região do cavado da onda.

Tai e Ogura (1987) empregaram análise espectral para a componente meridional do vento no nível de 850 hPa, para o período entre maio e agosto de 1979 sobre a região do Pacífico. Eles detectaram oscilações com períodos de 4 a 6 dias deslocando-se para oeste, sendo as mais intensas entre 100°W a 130°W no Pacífico leste e de 130°E a 160°E no Pacífico Oeste, na faixa de 5°N a 15°N . O comprimento de onda encontrado foi de 3000 a 3500 Km e a velocidade de fase de 5 a 7 m/s.

A África é outra região onde foram observadas perturbações ondulatórias propagando-se para oeste e foram chamadas de ondas africanas. Estas ondas apresentaram algumas diferenças em relação às ondas do Pacífico e da região do Caribe (Oceano Atlântico).

Burpee (1972) investigou a origem e a estrutura das ondas de leste na baixa troposfera do norte da África através do método do espectro de potência. Ele usou os dados de vento, temperatura, umidade específica e altura geopotencial, para os meses de maio a novembro dos anos de 1960 a 1964. Ele mostrou que existem distúrbios de leste com período de 3 a 5 dias e amplitude máxima no nível de 700 hPa, que se propagam através do Atlântico e ocasionalmente alcançam o Pacífico leste. Ele sugeriu que o fluxo de ar sobre as montanhas não é a causa das ondas de leste e que as ondas africanas estão diretamente relacionadas com o jato de leste da média troposfera o qual foi encontrado dentro de uma zona baroclínica ao sul de Saara. Com relação à energética da onda encontrou que o cisalhamento horizontal e vertical do fluxo médio são importantes fontes de energia para as ondas de leste, e que o papel da convecção neste distúrbios ainda não é bem definido.

Albignat e Reed (1980) através da análise espectral da velocidade do vento em 850 hPa e 700 hPa na região tropical da África (entre 5°S e 25°N) para o período de 23 de agosto a 19 de setembro de 1974, mostraram que os picos de 3 a 4 dias são mais pronunciados a oeste de 10° E. Eles observaram a maior amplificação das ondas entre 10 °E e 0°. Concluíram que a região de maior crescimento da onda está localizada entre 0° - 10°E, onde a corrente de jato de leste da média troposfera alcança sua máxima instabilidade.

Reed et al. (1988) estudaram a estrutura das ondas africanas aplicando análise espectral para os dados de temperatura, geopotencial, componentes zonal e meridional do vento, velocidade vertical e umidade

específica, para os meses de agosto e setembro de 1985 na faixa entre 15°S a 25°N e entre 110°W a 45°E. Eles encontraram distúrbios com períodos entre 3 a 5 dias principalmente no nível de 850 hPa com comprimento de onda de 2500 km e velocidade de fase de 8 m/s. Investigaram a energética da onda e sugeriram que as ondas são formadas como resultado da instabilidade barotrópica e baroclínica juntas no jato africano de leste.

Rennick (1976) simulou a resposta do jato de leste em baixos níveis sobre o norte da África a perturbações na escala das ondas africanas. Ela mostrou que a onda mais instável associada ao jato tem comprimento de onda de 3000 Km e período de 2,0 a 2,5 dias e alcança a máxima intensidade em 700 hPa perto de 14°N. Também mostrou que a fonte de energia da onda é a energia cinética do fluxo zonal. Ela sugeriu que o papel do transporte vertical de momentum na geração das ondas africanas não é devido a um simples efeito barotrópico ou baroclínico, mas pela combinação entre estes dois mecanismos.

Norquist et al. (1977) estudaram a energética das ondas africanas durante o período de 23 de agosto a 19 de setembro de 1974. Encontraram que tais ondas se originam na África central em consequência da ação conjunta de processos barotrópicos e baroclínicos. Sugeriram que no estágio inicial a liberação de calor latente é um fator de menor importância no desenvolvimento das ondas, mas que a medida que as ondas se deslocam para oeste a convecção se torna um fator dominante no crescimento e manutenção das ondas.

Um estudo que deve ser ressaltado pelo enfoque e pela área de estudo é o de Liebmann e Hendon (1990). Eles fizeram um estudo dos distúrbios sinóticos para uma área mais extensa, entre 120°W a 120°E e de 30°N a 30°S, para os anos de 1980 a 1987, aplicando a técnica da análise espectral na componente meridional do vento em 850 hPa. Encontraram picos no espectro de potência para períodos de aproximadamente 4 dias. As ondas associadas apresentaram velocidade de fase para oeste e velocidade de grupo para leste, relativas ao vento médio. Os maiores comprimento de onda foram encontrados sobre o Oceano Pacífico e os menores sobre regiões de alta convectividade (tais como Indonésia, América do Sul e África).

Na Tabela 2.1 são sumarizadas os resultados anteriores sobre os distúrbios de leste observados nas regiões do Pacífico Tropical, Atlântico tropical e na região africana.

**TABELA 2.1-CARACTERÍSTICAS DOS DISTÚRBIOS DE LESTE NA
REGIÃO TROPICAL**

AUTOR	PERÍODO DE ESTUDO	COMPR. DE ONDA (Km)	PERÍODO DA ONDA (DIAS)	VELOCIDADE (m/s)	NÍVEIS (hPa)
ATLÂNTICO					
RIEHL (1945)	VERÃO	2000-3000	3 -4	6-7	700-500
MERRIT (1964)	JUL-SET-1962				
SIMPSON ET AL. (1968)	VERÃO			8	
YAMAZAKI (1975)		4000		10	
NEIVA (1975)	ANO 1971	6000	4 -6	10-12	
KAYANO (1979)	1968-1976		3 -5	12	
CHAN (1990)	DEZ/78-NOV/79	6200	6 -6	12	850
PACÍFICO					
YANAI ET AL. (1968)	ABR-JULH (1962)	6000	4		
WALLACE E CHANG (1969)	JUL-DEZ -1963	3000	4 -5		
CHANG (1970)	1967			9	
REED ET AL. (1977)	JUL-SET -1967	3500-4000		8	
TAI E OGURA (1987)	MAIO-AGO 1979	3000-3500	4 -6	5-7	850
ÁFRICA					
BURPEE (1972)	MAIO-NOV 1960-64		3 -5		700
RENNICK (1976)		3000	2-2,5		700
NORQUIST ET AL. (1977)	AGO-SET -1974				
ALBIGNAT E REED (1980)	AGO-SET -1974		3 -4		850,700
REED ET AL. (1977)	AGO-SET -1985	2500	3-5	8	850
LIEBMAN E HENDON (1990)			4		850

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

3.1 - DADOS

Neste trabalho são utilizados dados diários (12 UTC) da componente meridional do vento obtidos das análises do modelo de circulação global do European Centre for Medium Range Weather Forecastings (ECMWF) obtidos do Centro de Previsão do Tempo e Clima (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Estes dados cobrem o período de 01 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 1989. As variáveis estão em pontos grade com espaçamento de $2,5^\circ$ de longitude e $2,5^\circ$ de latitude. A região de estudo localiza-se entre 20°N a 20°S e de 30°E a 70°W , abrangendo assim um setor tropical no qual as ondas de leste foram detectadas em estudos anteriores. Os níveis analisados são: 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa.

3.2 - METODOLOGIA

Em virtude das limitações computacionais no presente estudo a resolução da grade foi reduzida tomando os dados a cada 5° de latitude e longitude.

Para focalizar nas diferenças sazonais dos distúrbios, são feitas análises separadas para as quatro estações do ano: verão (dezembro, janeiro e fevereiro -

DJF), outono (março abril e maio - MAM), inverno (junho, julho e agosto - JJA) e primavera (setembro, outubro e novembro -SON)

Inicialmente calculou-se a anomalia da componente meridional do vento em relação à média climatológica de 10 anos para cada estação do ano e cada ponto de grade. Como as séries das anomalias (diárias) incluem diversas oscilações é conveniente filtrá-las temporalmente de forma que nas séries filtradas sejam retidas as oscilações de interesse. No presente estudo utiliza-se um filtro de Lanczos (Duchon 1979) para reter as oscilações com períodos menores do que 10 dias. Os pesos do filtro são calculados através da equação:

$$\omega_{(k)} = \left(\frac{\sin 2\pi f_{c1} k}{\pi k} - \frac{\sin 2\pi f_{c2} k}{\pi k} \right) \frac{\sin \pi k/n}{\pi k/n} \quad (3.1)$$

onde n é metade do número de pesos, k varia de $-n$ a n , e f_{c1} e f_{c2} são as frequências de corte. Para o filtro usado, f_{c1} é de 0 dia^{-1} e f_{c2} é de $0,1 \text{ dia}^{-1}$, e o número de pesos escolhido é de 31, isto é $n=15$. Este número foi determinado analisando-se a função resposta do filtro que é dada por:

$$R(f) = 1 - \left(\omega_0 + 2 \sum_{k=1}^n \omega_k \cos 2\pi f k \right) \quad (3.2)$$

onde ω_0 é calculado pela seguinte equação:

$$\omega_0 = 2 * (f_{c1} - f_{c2}) \quad (3.3)$$

A resposta do filtro usado é ilustrada na Figura 3.1.

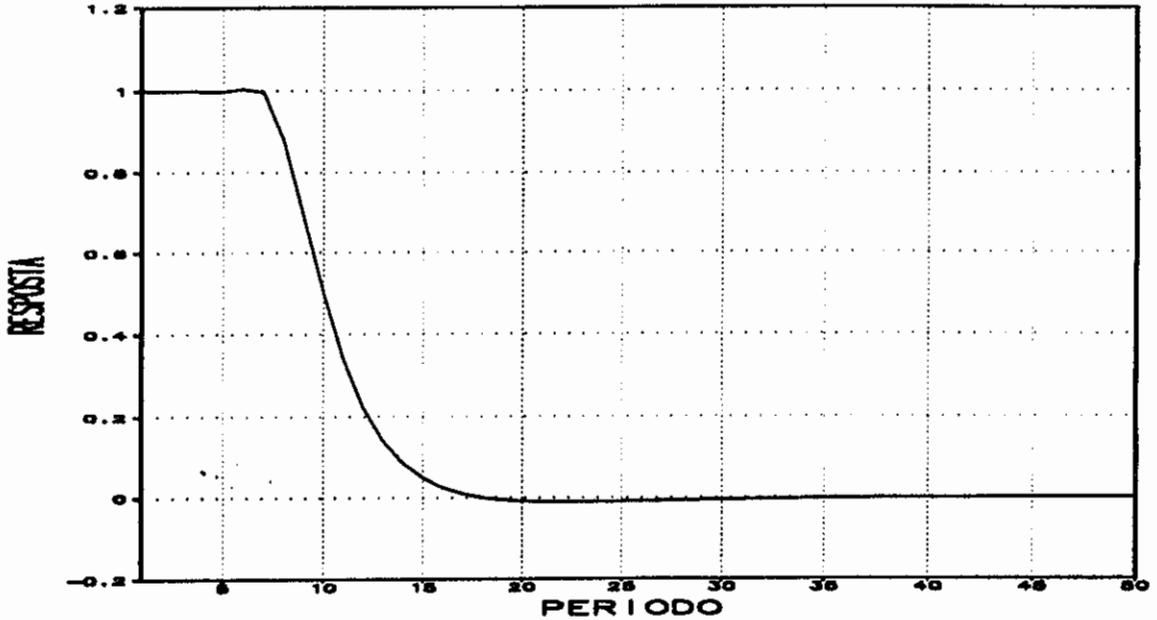


Fig. 3.1-Resposta do filtro de Lanczos para alta frequência.

Tendo em vista que será aplicada a técnica das Funções Ortogonais Empíricas (EOF) e das Funções Ortogonais Empíricas Estendidas (EEOF), nas quais se maximizam a variância, e também por ser usado um filtro será feita uma análise preliminar da climatologia da componente meridional do vento, da razão entre a variância retida pelo filtro e a variância da série original, considerando separadamente cada estação do ano e cada nível de pressão (1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa).

A técnica das EOF é aplicada aos dados filtrados, considerando inicialmente cada nível de pressão (1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa) e cada estação do ano.

Posteriormente para cada estação do ano serão calculadas as EOF combinando os quatro níveis excluindo-se alguns anos. A técnica das EEOF é aplicada aos dados filtrados separadamente para cada nível e estação do ano, devido às limitações computacionais.

Com a finalidade de comprovar que as oscilações estudadas através da análises de EOF e EEOF não são simplesmente efeito do filtro aplicado, serão construídos diagramas Hovmoller (longitude versus tempo) das anomalias não filtradas da componente meridional do vento em 850 hPa para cada ano separadamente e para todas as estações do ano.

3.2.1 - FUNÇÕES ORTOGONAIS EMPÍRICAS

A análise de dados utilizando EOF tornou-se um procedimento amplamente usado em Meteorologia e Oceanografia, desde os anos 50. A formulação matemática desta técnica pode ser encontrada detalhadamente em Kutzbach (1967), ou Hardy e Walton (1978), ou Sneyers e Goossens (1988).

Quando se tem um conjunto de dados, dois casos devem ser considerados: se as observações são do mesmo tipo e evidenciam a existência de um fenômeno comum a elas; ou se as observações são de diferentes tipos, embora estejam sob a efeito de um mesmo fenômeno. Em ambos os casos a existência de uma causa comum para tal variação é a fonte

de uma correlação diferente de zero entre as variáveis. O que se procura então é obter combinações lineares de variáveis estatisticamente independentes que expressam as oscilações comuns das variáveis originais. É derivada uma série de funções temporais independentes, as quais são combinações lineares dos dados originais.

Seja um campo geofísico qualquer definido como uma matriz \mathbf{F} ($N \times M$) com M variáveis e N observações. Seja o vetor \mathbf{f}_m correspondente à m -ésima coluna de \mathbf{F} com N elementos, assim, f_{nm} é a n -ésima observação da m -ésima variável.

$$\mathbf{f}_m = \begin{pmatrix} f_{1m} \\ f_{2m} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ f_{Nm} \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

Tendo em vista que o interesse são problemas de variância e covariância, são usadas anomalias normalizadas, ou seja a matriz \mathbf{F} é tal que os elementos de cada coluna têm média nula e variância um.

O que se quer é determinar um vetor \mathbf{e} que tenha a mais alta semelhança com todos os vetores (coluna) observação \mathbf{f} simultaneamente, onde a semelhança é dada pelo produto interno ao quadrado e normalizado entre o vetor \mathbf{e} e o vetor \mathbf{f} . Assim fazendo-se a média para todos os vetores \mathbf{f} , equivale a aplicar uma transformação linear a \mathbf{F} , digamos \mathbf{E} , de modo que seja retido a variância máxima, ou seja:

$$\text{Var}(\mathbf{FE}) = \max$$

Para que essa condição seja satisfeita, define-se outro sistema de variáveis tal como:

$$\mathbf{V} = \mathbf{F}_{N \times M} \mathbf{E}_{M \times M}$$

e calcula-se a variância de \mathbf{V} impondo a condição de que tal variância seja máxima.

$$\text{Var}(\mathbf{V}) = \frac{\sum(\mathbf{V})^2}{N} = \frac{(\mathbf{F}\mathbf{E})'(\mathbf{F}\mathbf{E})}{N}$$

$$\text{Var}(\mathbf{V}) = \frac{\mathbf{E}'\mathbf{F}'\mathbf{F}\mathbf{E}}{N}$$

$$\text{Var}(\mathbf{V}) = \mathbf{E}'\mathbf{R}\mathbf{E} \quad (3.5)$$

Onde \mathbf{R} é a matriz de correlação, simétrica de ordem M , na qual um elemento r_{ij} é dado por:

$$r_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N f_{ik} f_{kj}$$

ou

$$\mathbf{R} = \frac{1}{N} \mathbf{F}'\mathbf{F} \quad (3.6)$$

onde a linha (') denota a transposta.

De (3.5) tem-se que a matriz de variância de \mathbf{V} é uma matriz diagonal \mathbf{L} . Ou seja:

$$\text{Var}(\mathbf{V}) = (\mathbf{V}'\mathbf{V}) = \mathbf{E}'\mathbf{R}\mathbf{E} = \mathbf{L} \quad (3.7)$$

A variância total dos elementos de \mathbf{F} é dada pelo traço de \mathbf{R} , que será preservada pela transformação \mathbf{E} . É assumido que $\mathbf{E}'\mathbf{E} = \mathbf{I}$, ou seja:

$$(e_i e_j) = e_i' \cdot e_j = \begin{cases} 1 & \text{se } i=j \\ 0 & \text{se } i \neq j \end{cases} \quad (3.8)$$

A maximização da quantidade dada em (3.5) com as condições (3.8) é um problema de valor característico, ou seja multiplicando-se (3.7) por \mathbf{E} tem-se:

$$\mathbf{E}\mathbf{E}'\mathbf{R}\mathbf{E} = \mathbf{R}\mathbf{E} = \mathbf{L}\mathbf{E}$$

Ou

$$\mathbf{R}\mathbf{E} = \mathbf{L}\mathbf{E} \quad (3.9)$$

ou ainda:

$$(\mathbf{R} - \mathbf{L}\mathbf{I})\mathbf{E} = \mathbf{0} \quad (3.10)$$

Para satisfazer (3.10) tem-se que:

$$|\mathbf{R} - \mathbf{L}\mathbf{I}| = 0$$

A matriz \mathbf{E} é de grau M e ortogonal e suas colunas são autovetores $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_m$, e \mathbf{L} é uma matriz diagonal ($M \times M$) cujo i -ésimo elemento da diagonal, λ_i , é o autovalor associado a \mathbf{e}_i , que é a i -ésima coluna de \mathbf{E} . Os valores das matrizes \mathbf{E} e \mathbf{L} podem ser calculados por técnicas conhecidas para problema de autovalores e autovetores. Os \mathbf{e}_i são ortogonais e os λ_i são reais e positivos, por \mathbf{R} ser uma matriz real e simétrica.

Agora, supõe-se que os elementos de \mathbf{L} e as colunas de \mathbf{E} tenham sido arranjadas de tal forma que \mathbf{e}_1 é associado a λ_1 , o maior autovalor de \mathbf{R} , \mathbf{e}_2 é associado a λ_2 , o seguinte maior autovalor de \mathbf{R} e assim sucessivamente. Sabendo que para matrizes ortogonais a transposta é igual à inversa e combinando as Equações(3.6) e (3.9) temos:

$$\mathbf{E}'\mathbf{F}'\mathbf{F}\mathbf{E} = \mathbf{L}\mathbf{N} \quad (3.11)$$

fazendo

$$\mathbf{C} = \mathbf{E}\mathbf{F}' \quad (3.12)$$

onde \mathbf{C} é uma matriz $M \times N$.

De (3.12) pode mostrar-se que cada linha de \mathbf{C} , por exemplo C_{in} , com $n=1\dots N$ representa a projeção do n -ésimo vetor observação sobre o i -ésimo autovetor. Estes são conhecidos como as M componentes principais.

Finalmente substituindo a Equação 3.12 na Equação 3.11.

$$\mathbf{C}\mathbf{C}' = \mathbf{L}\mathbf{N} \quad (3.13)$$

isto é, os autovetores linha de \mathbf{C} são ortogonais, então não somente os autovetores mas também os coeficientes associados a eles são ortogonais, isto é:

$$C_i C'_j = \begin{cases} 0 & \text{se } i \neq j \\ 1 & \text{se } i = j \end{cases} \quad (3.14)$$

Assim, a variância máxima se explica escolhendo em ordem os vetores associados com os autovalores mais altos de \mathbf{R} . Desde que \mathbf{R} é simétrica o traço de \mathbf{R} é igual ao traço de \mathbf{L} . ($\text{tr}\mathbf{R} = \text{tr}\mathbf{L}$), onde cada autovalor λ_i retém uma fração da variância total explicada.

$$\frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^M \lambda_i} \quad (3.15)$$

Da análise por EOF resultam: as componentes principais, que são as séries temporais que descrevem a evolução temporal da variabilidade analisada; os autovalores que dão as porções de variância explicada para cada componente principal e os autovetores que são padrões espaciais associados com cada componente principal e que fornece a configuração espacial associada a cada modo. Normalmente, em vez de representar os resultados em termos de autovetores expressa-os em termos de correlação. A correlação entre as componentes principais e a série original que entra no cálculo das EOF em cada ponto grade é conhecido como 'loadings', que têm configuração exatamente igual a dos autovetores correspondentes.

3.2.2 - FUNÇÕES ORTOGONAIS EMPÍRICAS ESTENDIDAS

Para estudar a evolução temporal dos padrões associados aos distúrbios ondulatórios de leste, o método escolhido é o das Funções Ortogonais Empíricas Estendidas (EEOF), que é uma extensão das Funções Ortogonais Empíricas (EOF). Este método é apropriado para investigar aspectos

cíclicos da evolução dos padrões anômalos. As EEOF leva em consideração que os campos além de serem altamente correlacionados no espaço como no caso de EOF, tem autocorrelação e correlação cruzada significativas no tempo.

As Funções Ortogonais Empíricas Estendidas (EEOF) são obtidas procedendo-se ao cálculo das EOF's explicadas anteriormente, combinadas para séries temporais defasadas em tempo (Weare e Nasstrom, 1982).

Seja uma matriz \mathbf{F} ($N \times M$) com M variáveis e N observações. As EEOF são calculadas rearranjando a matriz \mathbf{F} de tal forma que k séries temporais sejam associados à matriz \mathbf{F} . Estas séries temporais são obtidas deslocando-se a série original por um número t de incrementos no tempo.

Em outras palavras a matriz rearranjada terá ($M \times k$) variáveis, e cada uma dessas variáveis terá $(N - (k - t)t)$ elementos na sua série temporal.

Por exemplo para $k=3$ e $t=1$ tem-se:

$$F_{(N-2, M \times 3)} = \left\{ \left[F_{N_1, M} \right], \left[F_{N_2, M} \right], \left[F_{N_3, M} \right] \right\} \quad (3.16)$$

onde

$$N_1 = 1, \dots, N-2, \quad N_2 = 2, \dots, N-1, \quad N_3 = 3, \dots, N$$

Posteriormente é encontrada a matriz de correlação \mathbf{R} da matriz \mathbf{F} rearranjada, e os autovalores e

autovetores são calculados através do mesmo procedimento descrito para as EOF. Na análise das EEOF um padrão oscilatório é representado por um par de modos que descrevem evoluções similares, e os correspondentes autovetores são ortogonais entre si. Na análise de EOF, a cada modo corresponde um padrão, enquanto na análise de EEOF um modo é representado por uma seqüência temporal de k padrões correspondentes aos k passos em tempo.

3.2.3 ESTIMATIVA DE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DAS ONDAS

Algumas características dos distúrbios ondulatórios serão mostradas nas discussões dos resultados das análises das EOF e das EEOF, que serão inferidas a partir dos padrões espaciais.

O comprimento de onda será inferido dos padrões espaciais de EOF e EEOF, como a distância entre dois núcleos consecutivos de máximos (ou mínimos). O período do distúrbio será deduzido dos padrões do modo 1 de EEOF, buscando na seqüência de padrões deste modo, dois padrões com configurações similares mas defasadas em tempo. Esta defasagem é o período do distúrbio.

A velocidade de fase dos distúrbios pode ser facilmente calculada uma vez que se dispõe do comprimento de onda e do período, e a direção de propagação do distúrbio será deduzida das análises de EEOF.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Para subsídio às análises das EOF e das EEOF primeiramente serão apresentadas e discutidas as características sazonais da componente meridional do vento para os níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa e dos campos da razão entre a variância retida pelo filtro e a variância da série original da componente meridional do vento destes níveis de pressão. Em seguida serão discutidos os resultados das análises das EOF para a componente meridional do vento dos quatro níveis, separadamente para cada estação do ano e os correspondentes às análises das EEOF para a componente meridional do vento para cada nível e estação do ano separadamente. Finalmente serão analisados os diagramas Hovmoller das anomalias da componente meridional do vento em 850 hPa para os anos em que os distúrbios estiveram melhor definidos para latitudes dos Hemisférios Norte e Sul e os diagramas Hovmoller destas anomalias para os anos considerados anômalos conforme identificados nas análises de EOF.

4.1 - CAMPO MÉDIO DA COMPONENTE MERIDIONAL DO VENTO

As Figuras. 4.1 (a) à (d) ilustram os campos médios da componente meridional do vento para cada estação do ano em cada nível de pressão obtidos da média dos dados diários das 12 UTC para 10 anos. Nas quatro estações do ano

o vento meridional mostra uma diminuição das magnitudes com a altura, em geral com as menores magnitudes em 500 hPa e as magnitudes máximas localizadas especialmente nas áreas oceânicas. Isso concorda com os resultados de Riehl (1979) que mostra redução da magnitude do vento com a altura e nos oceanos esta redução é lentamente do que sobre os continentes.

No Atlântico Sul e no setor africano adjacente predominam os ventos de sul na maioria dos níveis. No setor da América do Sul em todas as estações do ano especialmente em 850 hPa e 700 hPa os ventos são de norte no seu flanco sudoeste e central e de sul no restante deste setor, os quais em 850 hPa confinam-se no nordeste deste setor.

No setor africano os ventos de sul em 850 hPa permanecem em áreas de extensões comparáveis às de 1000 hPa em todas as estações do ano, e em 700 hPa durante MAM e JJA ocorre uma expansão da área com ventos de norte sobre a África Ocidental ao norte de 5°S mas com magnitudes relativamente menores do que às dos níveis inferiores.

Na faixa equatorial, em 1000 hPa durante JJA os ventos de sul estendem-se sobre áreas ao norte do equador, e durante DJF estas retraem-se para sul, quando os ventos de norte expandem-se na direção equatorial. Considerando que para analisar a intensidade dos alísios a longo prazo o melhor indicador é a componente meridional do vento (Reiter 1978), os resultados indicam alísios de sudeste mais intensos durante JJA e alísios de nordeste mais intensos

durante DJF. Isto corrobora os resultados de Lamb (1978) que encontrou ventos de sudeste fracos de janeiro a março e fortes de julho a setembro e os ventos de nordeste fortes de janeiro a junho e fracos de outubro a dezembro.

Ademais a linha de separação dos ventos de sul e de norte, que corresponde à posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), apresenta uma inclinação aproximada de sudoeste para nordeste nas quatro estações do ano, em concordância com as médias climáticas mensais do vento horizontal construídas com base em um período de 60 anos mostradas por Hastenrath e Lamb (1977). Nas proximidades do continente sul-americano a posição mais ao sul da ZCIT ocorre no outono o que corrobora os resultados de Lobo (1982) que encontrou a ZCIT durante MAM situada mais próxima do continente e mais ao sul e com intensidade reduzida, comparada a ZCIT durante DJF, quando é mais intensa. A posição mais ao norte ocorre durante JJA, quando os ventos de sul são mais intensos. A modulação norte/sul da ZCIT ressalta a variação sazonal da circulação de baixos níveis.

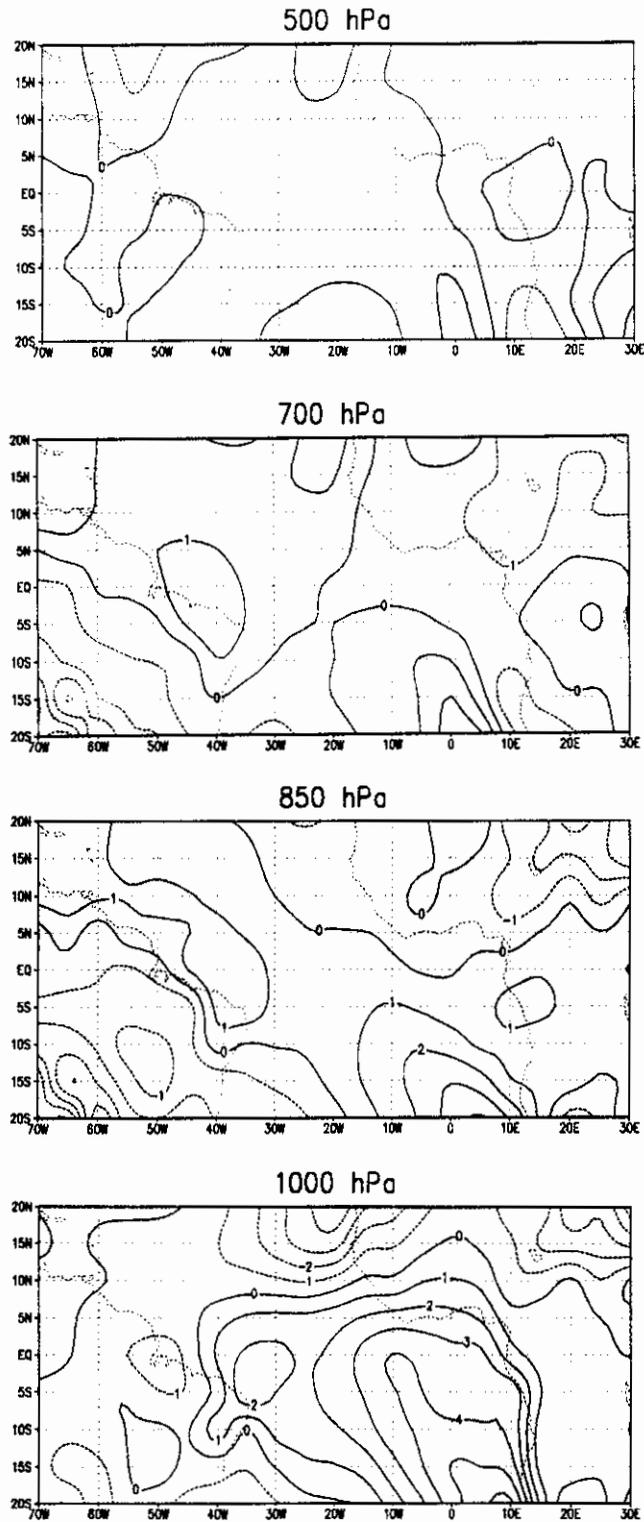
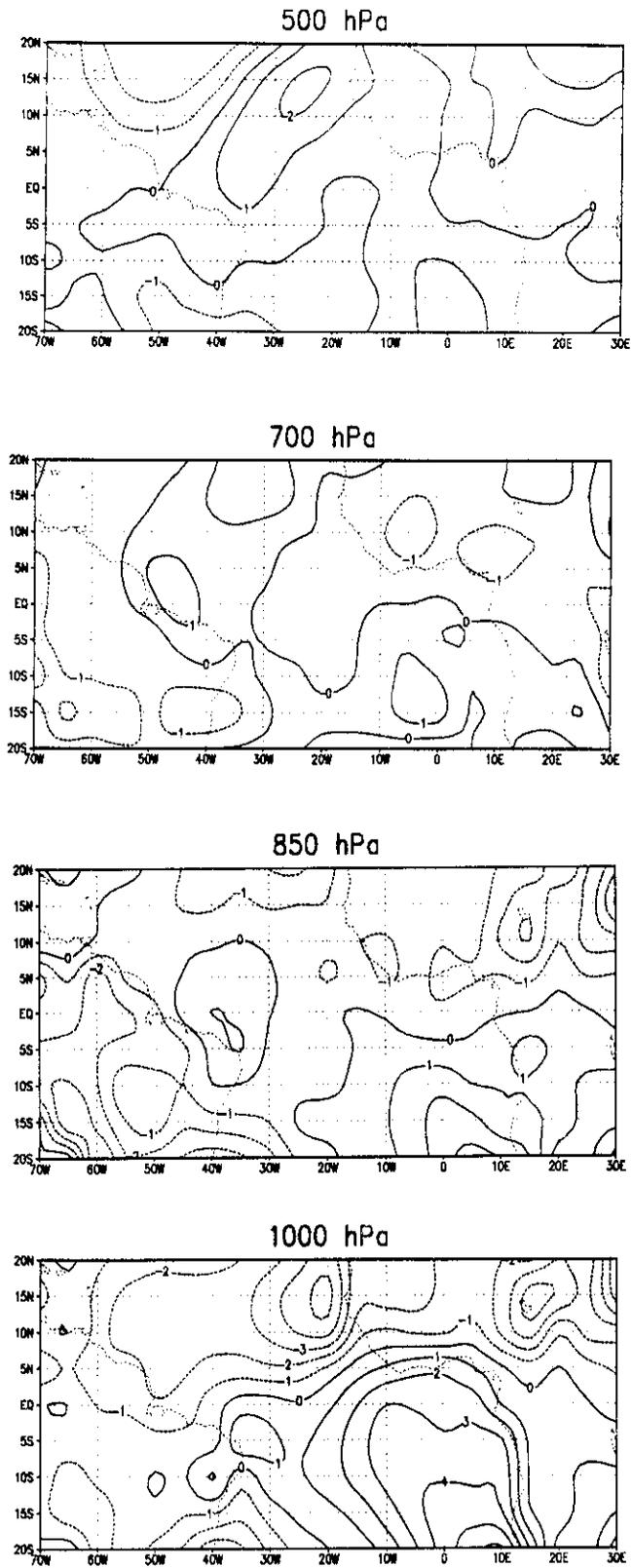


Fig. 4.1-Campo médio da componente meridional do vento para os níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa para: (a) primavera (SON), (b) verão (DJF), (c) outono (MAM) e (d) inverno (JJA).

Fig. 4.1a (continua)

**Fig. 4.1b** (continua)

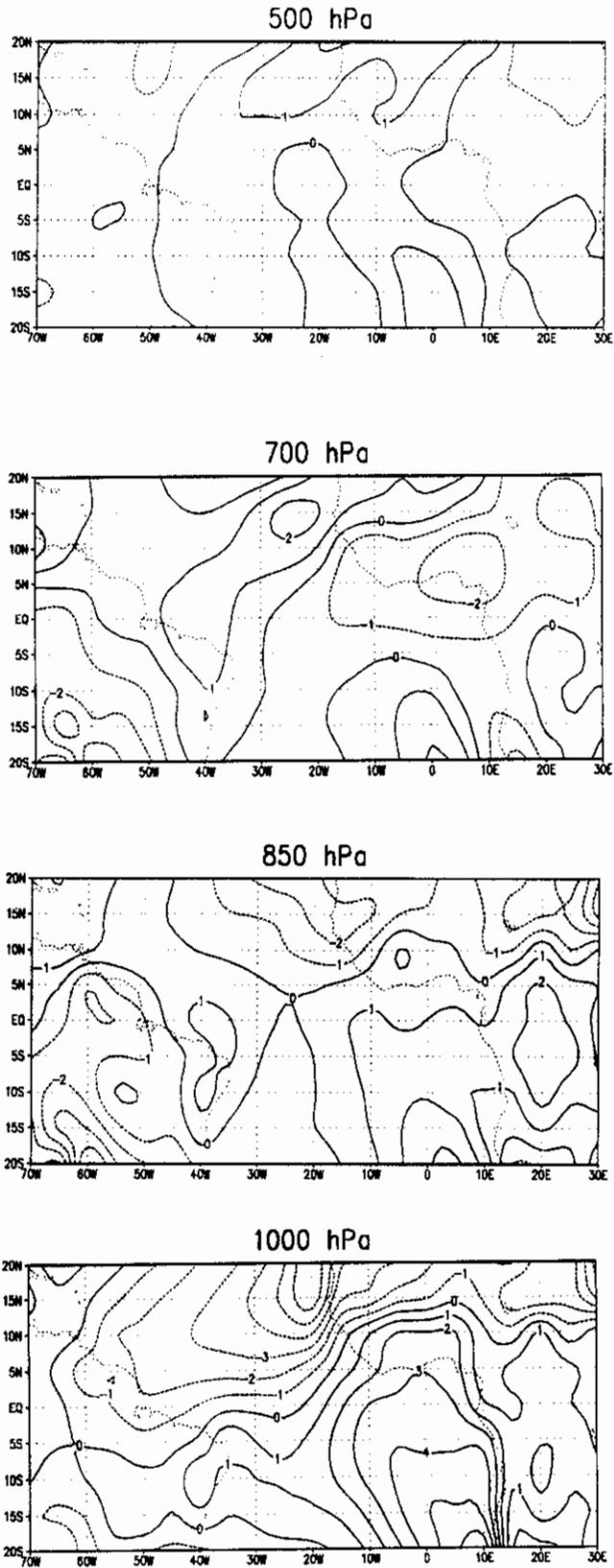


Fig. 4.1c (continua)

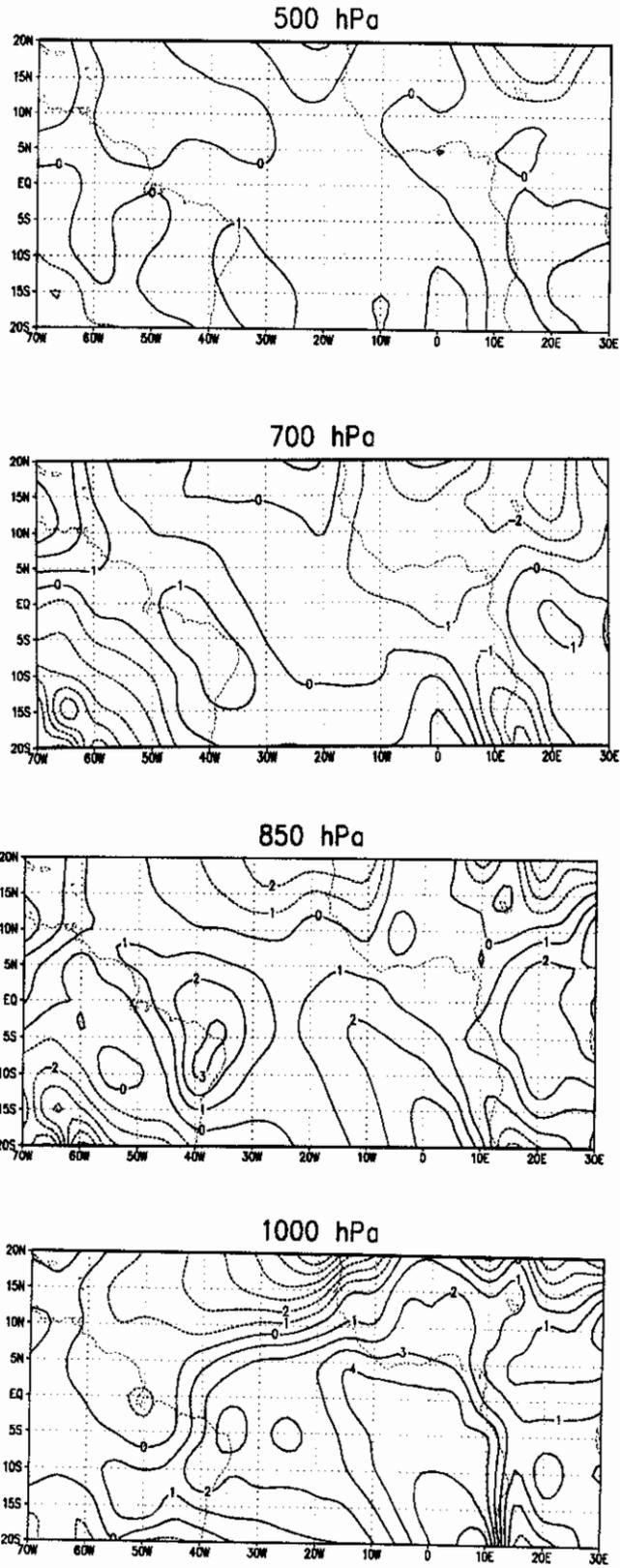


Fig. 4.1d (conclusão)

No setor da América do Sul durante MAM e JJA os ventos em 1000 hPa de sul sobre a região centro e sul e de norte no centro norte deste setor formam uma região de convergência em torno de $5^{\circ}\text{S} - 10^{\circ}\text{S}$. Nestas épocas do ano o predomínio dos ventos meridionais de sul e norte são fortes devido à entrada das frentes polares. Durante SON e DJF quando os ventos de sul estão mais fracos é aparente que a convergência é relativamente mais fraca. Em todas as estações do ano em 850 hPa e 700 hPa predominam os ventos de norte mais intensos no sul e centro de América de Sul e ao norte os ventos de sul o que produz claramente uma área de divergência. Isto concorda com o resultado de Chan (1990), que mostrou a mudança da direção do vento em 850 hPa de sudeste para nordeste a medida que se adentra o continente de leste para oeste, e a ocorrência de uma região de divergência dos ventos. Ela justificou tais características de circulação em 850 hPa pela presença dos Andes.

4.2 - RAZÃO ENTRE A VARIÂNCIA RETIDA PELO FILTRO E A VARIÂNCIA DA SÉRIE ORIGINAL.

Apresentam-se nas Figuras 4.2 (a) à (d) os campos da razão entre a variância retida pelo filtro e a variância da série original da componente meridional do vento, em cada nível de pressão, calculadas considerando-se os 10 anos de estudo.

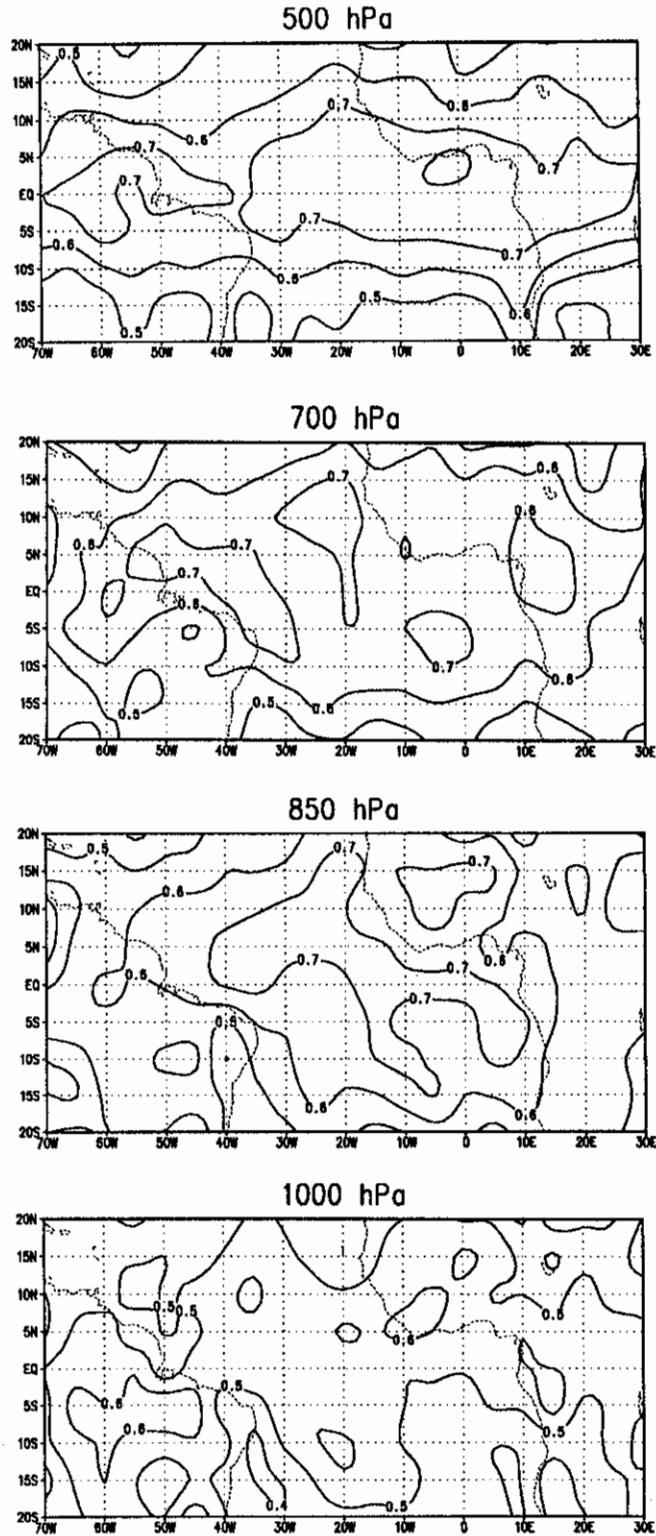


Fig. 4.2-Razão entre a variância retida pelo filtro e a variância da série original da componente meridional do vento para os níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa para: (a) primavera (SON), (b) verão (DJF), (c) outono (MAM) e (d) inverno (JJA).

Fig. 4.2a (continua)

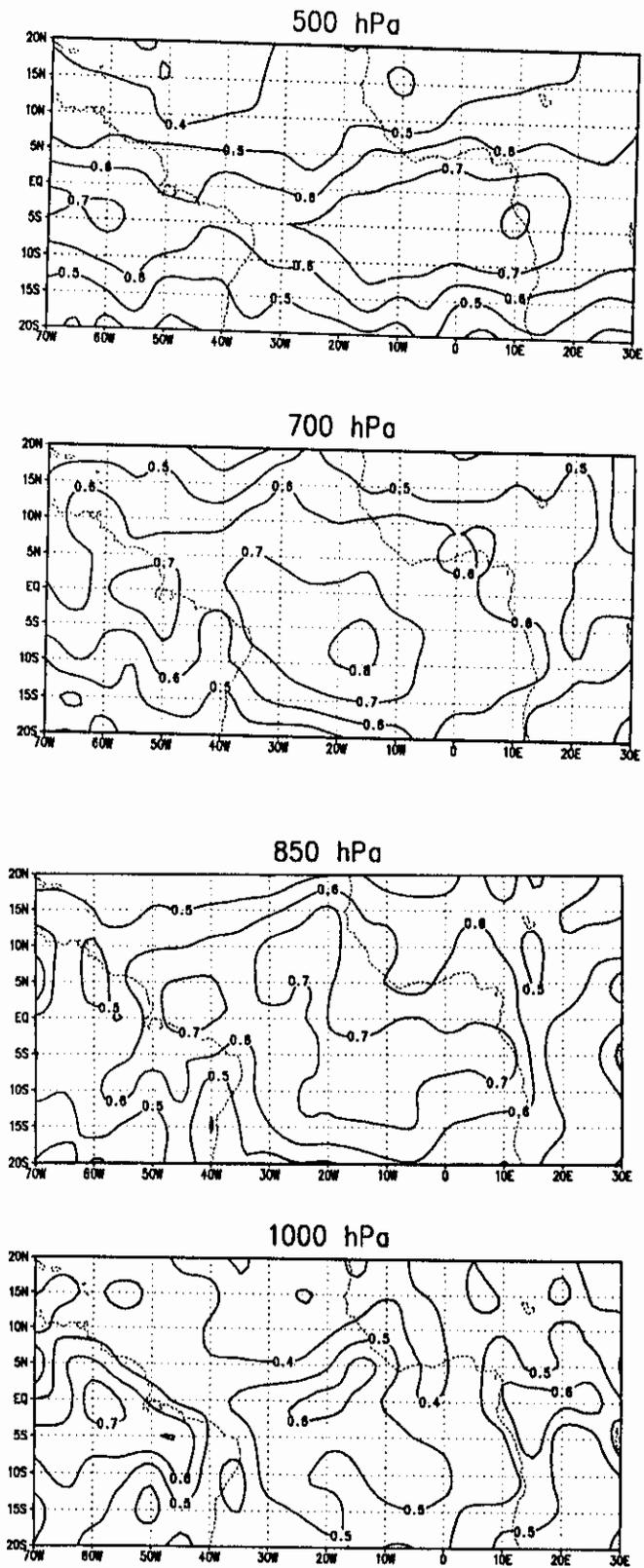


Fig. 4.2b (continua)

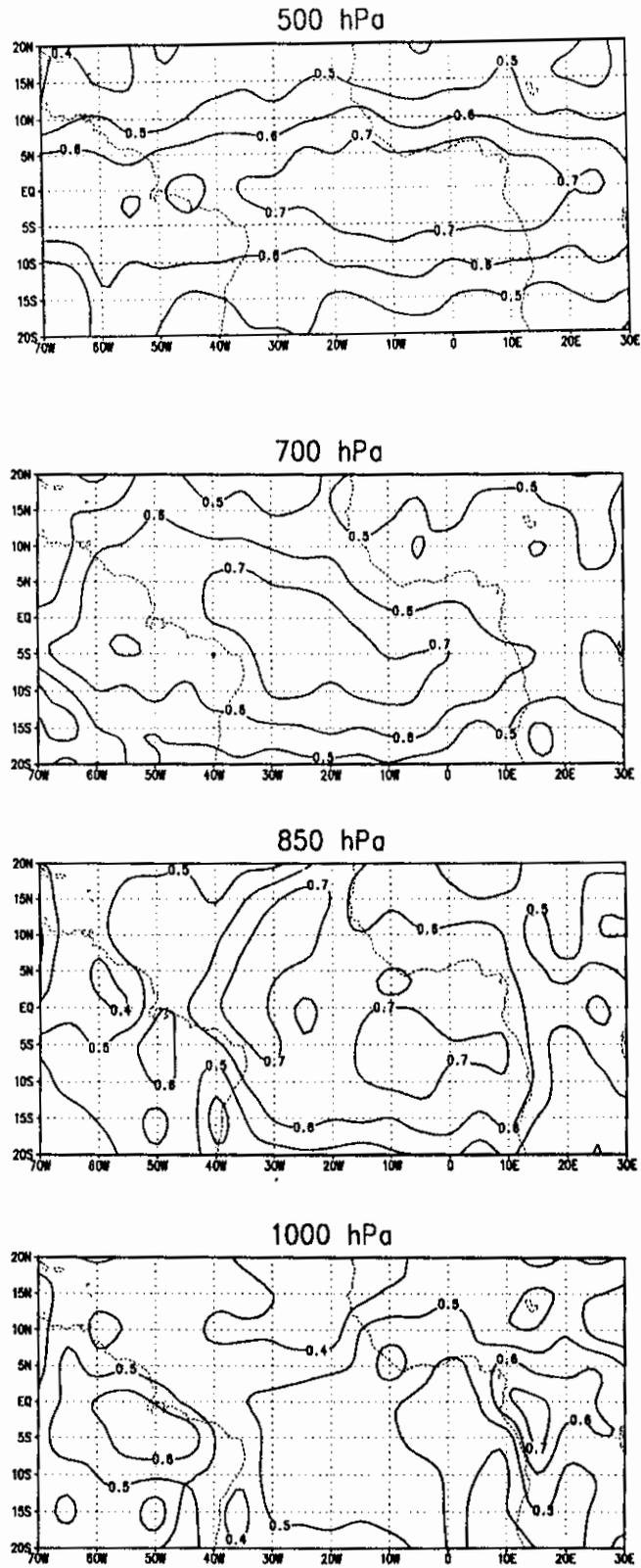


Fig. 4.2c (continua)

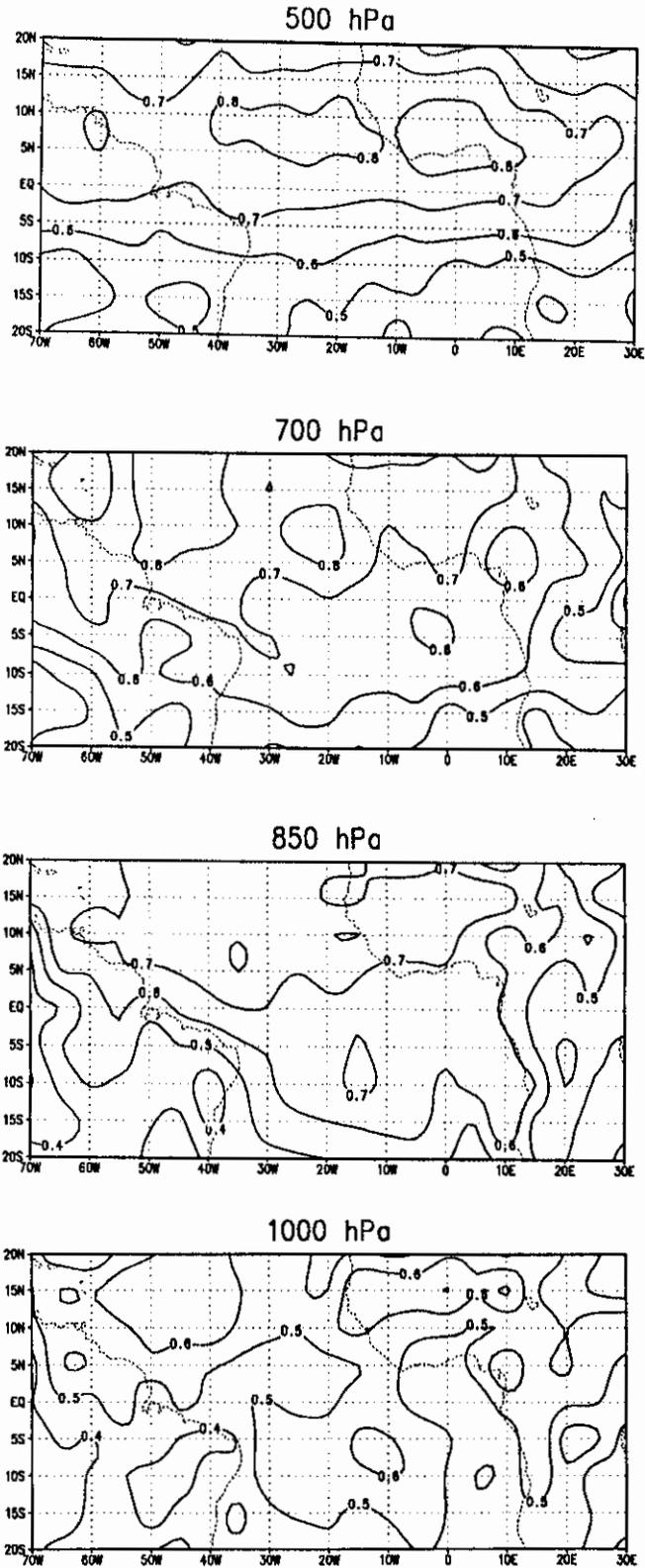


Fig. 4.2d (conclusão)

Comparando-se os campos desta razão é notável que em 1000 hPa a configuração tem mais estrutura e os valores são menores do que nos demais níveis em todas as estações do ano. Os valores máximos da razão encontrados nos níveis superiores estão localizados principalmente no setor do Oceano Atlântico, o que significa que esta é a região preferencial para ocorrer oscilações com períodos menores do que 10 dias.

Para DJF e MAM a configuração em 700 hPa e 500 hPa é tipicamente zonal, enquanto que para SON e JJA tal configuração é observada apenas em 500 hPa. O eixo central leste-oeste da configuração zonal varia sua posição de uma estação a outra. Focalizando em 500 hPa, durante SON o eixo está em torno do equador, passando para 5°S durante DJF, retornando para o equador durante MAM e deslocando-se para 5°N durante JJA. Em JJA as razões são maiores especialmente em 700 hPa e 500 hPa, com os máximos localizados ao norte de 5°N, que mostra maior variabilidade na escala de tempo menor do que 10 dias ao norte do equador. Em concordância, Neiva (1975), Chan (1990) e Yamazaki (1975) encontraram distúrbios com períodos menores do que 10 dias principalmente durante JJA. Por outro lado, em DJF a variabilidade nesta escala de tempo atinge regiões ao sul do equador.

Chan (1990) apresentou Tabelas da porcentagem da variância do vento meridional em 850 hPa para oscilações com períodos menores do que 10 dias em relação à variância total, para longitudes selecionadas ao longo do equador para as quatro estações do ano. Embora seja difícil

proceder a uma comparação dos resultados de Chan (1990) com os aqui encontrados, uma boa consistência é aparente. Os resultados do presente estudo são no entanto mais completos, pois ilustram para cada estação do ano, nos quatro níveis de pressão a distribuição espacial da porcentagem de variância total do vento meridional devido a oscilações com períodos menores do que 10 dias.

Nos dois itens seguintes apresentam-se os resultados das análises de EOF e EEOF. Serão mostrados apenas o modo 1 de cada análise, pois o interesse é investigar o padrão dominante de cada análise. Também, devido à grande quantidade de saídas de cada análise seria complicado analisar os modos mais altos. No entanto, deve ser lembrado que as frequências mais altas estão nos modos mais altos e que quanto mais alto o modo maior a probabilidade destes conterem apenas ruídos, sem significação física. Em se desejando analisar modos mais altos deve ser usado um critério para determinar o número de modos a serem analisados, por exemplo o proposto por North et al. (1982).

4.3 ANÁLISE DAS FUNÇÕES ORTOGONAIS EMPÍRICAS

As EOFs da componente meridional do vento foram calculadas sazonalmente e separadamente para cada nível de pressão, considerando os 10 anos. Posteriormente foram calculadas as EOF combinadas da componente meridional do vento dos quatro níveis excluindo os anos em que na análise inicial as amplitudes são extremas, isto com a finalidade de mostrar se os distúrbios se mantêm em fase com a altura.

4.3.1 - PRIMAVERA (SON)

Os padrões dos modos 1 da componente meridional do vento durante SON correspondentes a cada nível de pressão são mostrados na Figura 4.3. Estes modos explicam em 1000 hPa 11,7%, em 850 hPa 9,3%, em 700 hPa 8,1% e em 500 hPa 7,5% das correspondentes variâncias totais. Os modos 1 descrevem as variações do vento meridional nos níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa associadas a oscilações com períodos menores do que 10 dias durante SON de alguns anos específicos (Figuras. 4.3(a) à (d)). Conforme as Figuras. 4.4(a) à (d) as maiores amplitudes ocorrem nos anos de 1982, 1986 e 1989.

Para as amplitudes positivas, em todos os níveis os 'loadings' positivos estão localizados na maior parte do Atlântico Sul, no Atlântico Norte ao sul de 10°N, na costa oeste da África e no sudoeste da América do Sul, e os 'loadings' negativos são encontrados no restante da área de estudo. Os 'loadings' máximos são encontrados no Atlântico Sul próximos à costa da África em todos os níveis. A área com 'loadings' negativos do Atlântico Norte com a altura estende-se para o sul até 7°N. Considerando os 4 níveis a escala horizontal destes distúrbios varia de 8000 Km a 10000 Km.

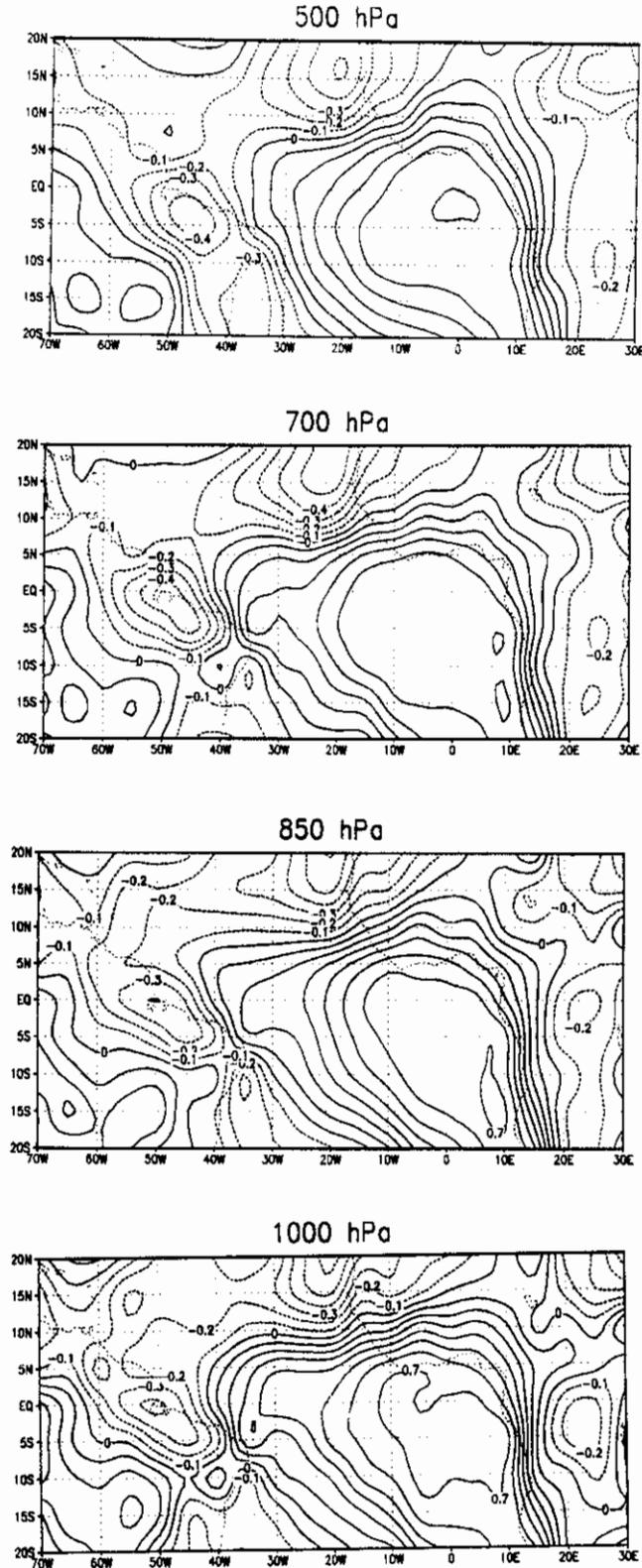


Fig. 4.3-Configurações dos modos 1 para a componente meridional do vento da primavera (SON) para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa.

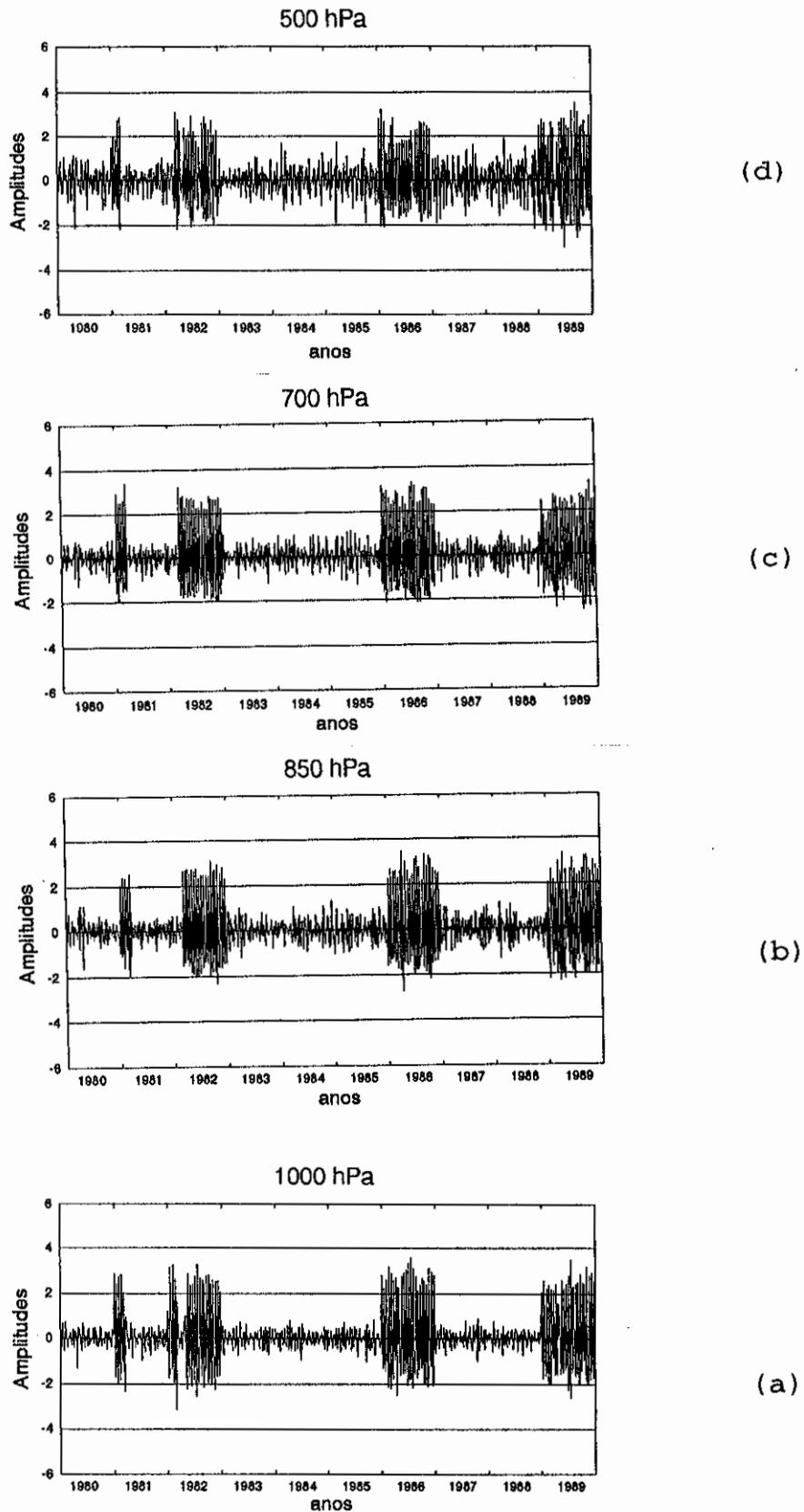


Fig. 4.4-Amplitudes dos modos 1 ilustrados na Fig. 4.3 para (a)1000 hPa, (b)850 hPa, (c)700 hPa e (d)500 hpa.

Como as configurações da Figura 4.3 estão associadas a alguns anos específicos (amplitudes extremas) calculou-se a média da componente meridional do vento (Figura A.1a) para estes anos (1982, 1986 e 1989). Especialmente nos baixos níveis as magnitudes médias da componente meridional do vento destes anos são menores do que as médias climáticas durante SON mostrada na Figura 4.1a. Durante 1982/83, 1986/87 e 1989/90 ocorreu o fenômeno 'El Niño', que se caracteriza entre outras coisas pela predominância de fortes ventos zonais nos baixos níveis nas faixas equatoriais do Pacífico central Atlântico leste (Kidson, 1975; Kousky et al., 1984). Nestas condições é aparente que ocorra uma redução na componente meridional do vento nos baixos níveis o que reflete no padrão quando se incluem todos os anos. Ou seja, os padrões de menor escala são alterados pela ocorrência de 'El Niño'. Para excluir os efeitos de grande escala relacionados com o 'El Niño', as EOF combinadas são calculadas para SON, excluindo os anos de amplitudes extremas, mas incluindo todos os níveis nesta nova análise.

O primeiro modo combinado para a componente meridional do vento em 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa para SON excluindo 1982, 1986 e 1989 explica 3,6% da variância total (Figura 4.5). As amplitudes apresentam flutuações comparáveis durante todos os SONs incluídos na análise. A Figura 4.5 caracteriza-se por faixas quase meridionais com sinais positivos e negativos alternados. De 1000 hPa a 700 hPa estas faixas são observadas desde a região africana até a América do Sul com os maiores 'loadings' em 850 hPa e 700 hPa. Os núcleos de máximos principais estão localizados na parte sul da região em

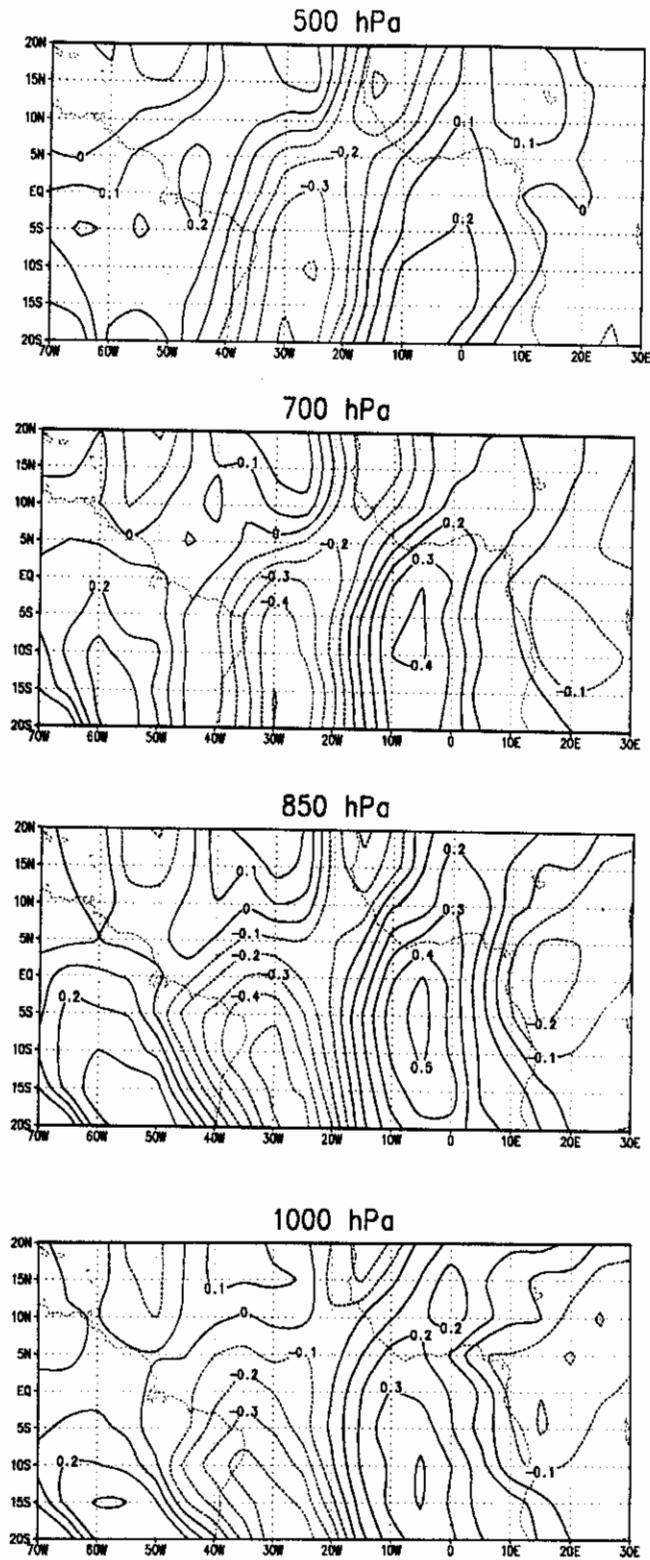


Fig. 4.5-Configurações do modo 1 combinado para a componente meridional do vento para os níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa das primaveras dos anos normais: (1980,1983,1984,1985,1987 e 1988)

estudo. Em 500 hPa a configuração de faixas é menos evidente e ocorrem dois núcleos principais no Atlântico Sul. No setor norte da área de estudo é aparente a existência de núcleos secundários associados a faixas quase meridionais.

TABELA 4.1-COMPRIMENTO DE ONDA E INCLINAÇÃO HORIZONTAL DOS DISTÚRBIOS PARA PRIMAVERA (SON)

NÍVEIS (hPa)	COMPRIMENTO DE ONDA (Km)	INCLINAÇÃO HORIZONTAL
1000	5000	SE - NW
850	5000	SE - NW
700	5000	S - N
500	5500	SW - NE

A escala horizontal das ondulações é menor do que a da Figura 4.3. A Tabela 4.1 mostra o comprimento de onda dos distúrbios ondulatórios sem a inclusão dos anos em que as amplitudes foram extremas, o qual varia de 5000 Km a 5500 Km. A inclinação horizontal dos distúrbios, cujos núcleos principais estão no Hemisfério Sul, de 1000 hPa a 700 hPa é de sudeste para noroeste o que implica em transporte de momentum para sul. Em 500 hPa a inclinação horizontal é de sudoeste para o nordeste, o que significa transporte de momentum para norte. Os distúrbios apresentam pouca inclinação com a altura, sendo que de 700 hPa a 500 hPa existe uma ligeira inclinação para leste, consistente com os resultados encontrados por Riehl (1945) e Neiva (1975).

4.3.2 - VERÃO (DJF)

Os padrões dos modos 1 para os níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa são mostrados na Figura 4.6. Estes modos explicam em 1000 hPa 13,5%, em 850 hPa 12,3%, em 700 hPa 8,9% e em 500 hPa 8,0% das correspondentes variâncias totais. Estes modos descrevem as variações do vento meridional nos níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa associadas a oscilações com períodos menores do que 10 dias durante alguns DJFs específicos (Figuras. 4.6(a) à (d)). Durante os DJF de 1980/81, 1982/83 e 1986/87 as amplitudes são extremas (Figuras. 4.7(a) à (d)).

Em todos os níveis os 'loadings' positivos estendem-se sobre uma área no noroeste do setor Atlântico, na maior parte do Atlântico Sul e costa adjacente da África, e os 'loadings' negativos são encontrados no restante da área em estudo. Com a altura as áreas com 'loadings' positivos no noroeste do Atlântico estendem-se ligeiramente para sul. A escala destes distúrbios varia de 7000 Km a 9000 Km com os menores comprimento de onda em 500 hPa.

Como as configurações da Figura 4.6 estão associadas a alguns DJFs específicos (1980/81, 1982/83 e 1986/87), similar ao cálculo feito para SON calculou-se as médias da componente meridional do vento durante estes DJFs (Figura A.1b). Estas médias (magnitudes) são menores que as médias climáticas da Figura 4.1b, em particular nos níveis inferiores. Dentre estes anos, em 1982/83 e 1986/87 ocorreu o fenômeno 'El Niño'. Como o exposto para SON o 'El Niño' em parte pode explicar as menores magnitudes do vento meridional.

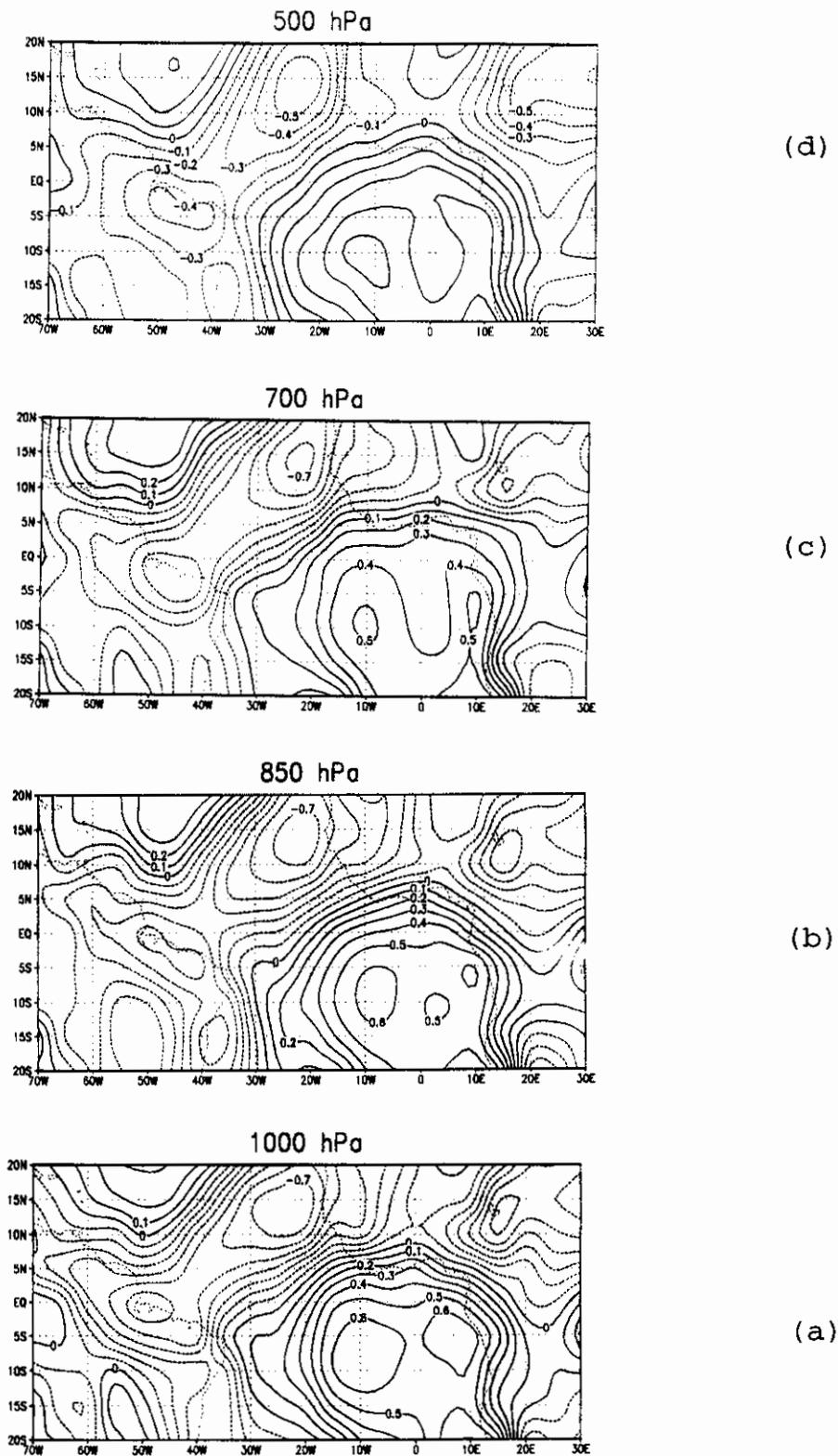


Fig. 4.6-Configurações dos modos 1 para a componente meridional do vento do verão (DJF) para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa.

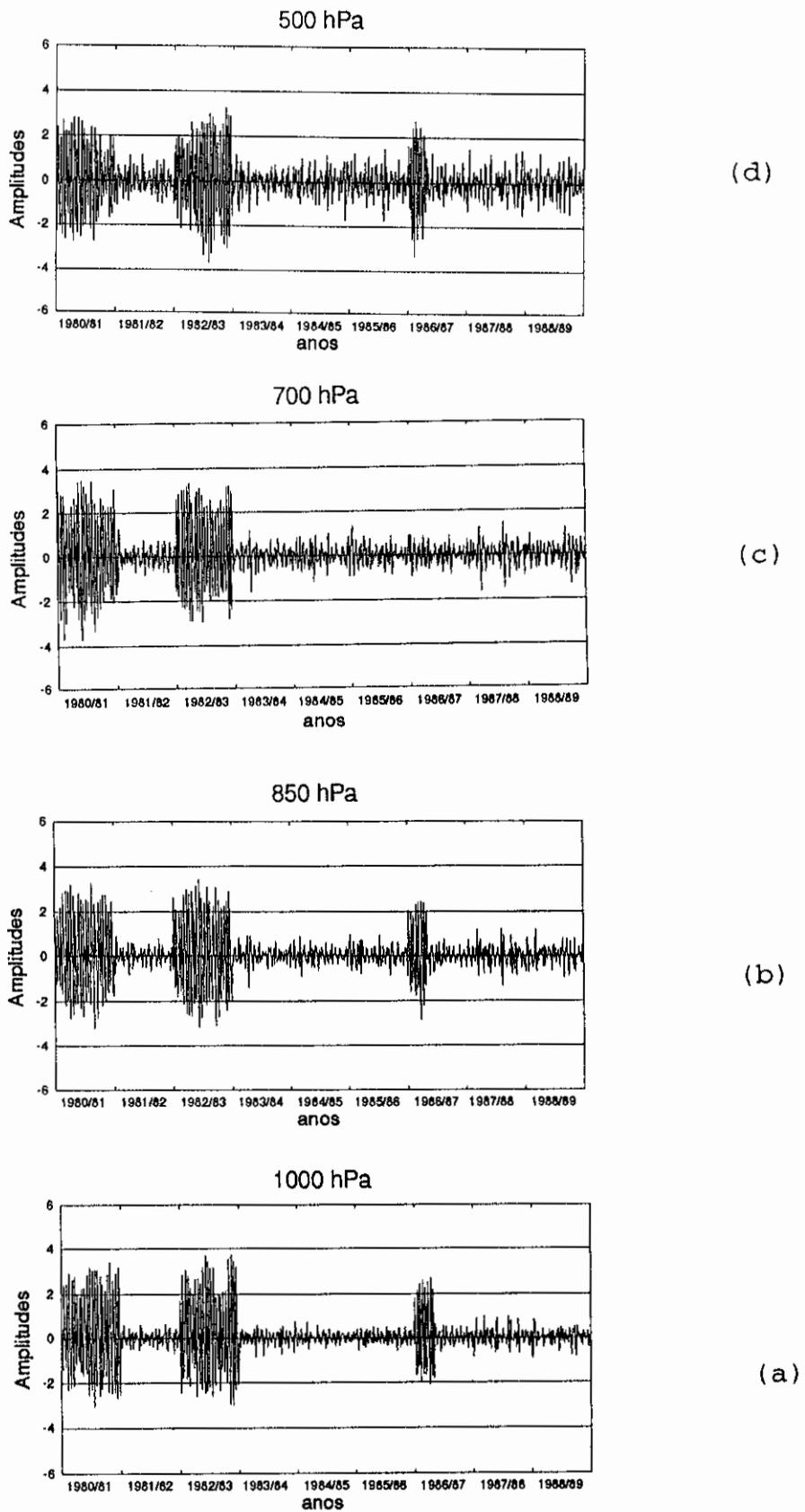


Fig. 4.7-Amplitudes dos modos 1 ilustrados na Fig. 4.6 para (a)1000 hPa, (b)850 hPa, (c)700 hPa e (d)500 hPa.

Similar a SON as EOF combinadas para DJF da componente meridional do vento em 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa foram calculadas excluindo os DJFs de 1980/81, 1982/83 e 1986/87. O primeiro modo desta nova análise explica 3,4% da variância total, e descreve as variações do vento meridional dos quatro níveis associadas a oscilações com períodos menores do que 10 dias.

Os padrões da Figura 4.8, mostram em todos os níveis núcleos na direção leste-oeste com alternância de sinal o que indica oscilações no campo de vento. A escala horizontal destas oscilações é menor do que a da análise para todos os DJFs. Os núcleos de valores máximos (positivos e negativos) alinham-se na direção leste/oeste com magnitudes comparáveis no norte e no sul da área tropical e os menores 'loadings' encontram-se centrados próximos ao equador.

TABELA 4.2-COMPRIMENTO DE ONDA E INCLINAÇÃO HORIZONTAL DOS DISTÚRBIOS PARA VERÃO (DJF)

NÍVEIS (hPa)	COMPRIMENTO DE ONDA (Km)	INCLINAÇÃO HORIZONTAL
1000	6000	SE - NW
850	7000	SE - NW
700	6000	SE - NW
500	6000	SE - NW

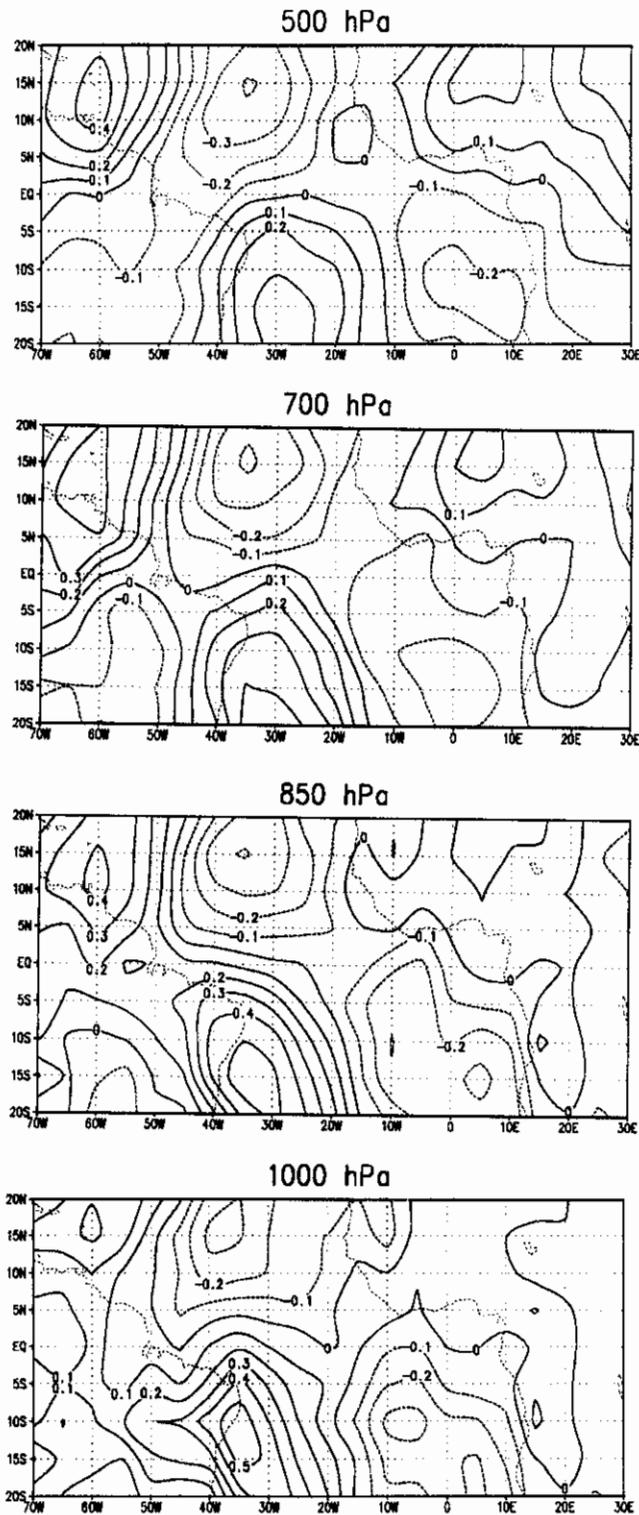
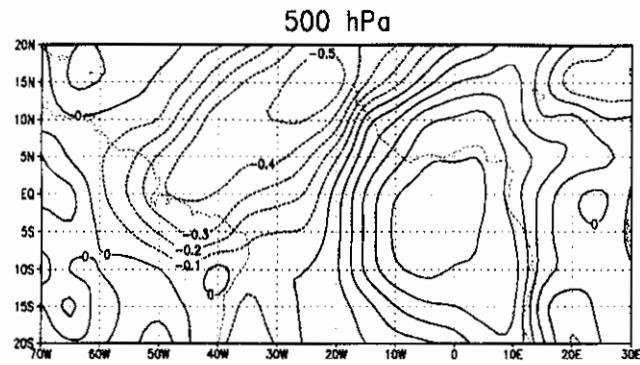


Fig. 4.8-Configurações do modo 1 combinado para a componente meridional do vento para os níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa dos verões dos anos normais: (1980/81, 1983/84, 1984/85, 1985/86, 1987/88 e 1988/89)

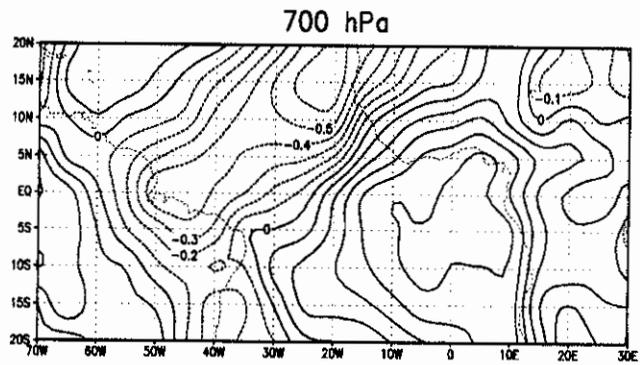
Conforme a Tabela 4.2 o comprimento de onda dos distúrbios ondulatórios no verão sem a influência dos anos em que as amplitudes são extremas está em torno de 6000 a 7000 Km, que é menor que o comprimento de onda da análise anterior. A inclinação horizontal destes distúrbios, é de sudeste para noroeste significando que o transporte de momentum é para o sul. A inclinação destes distúrbios na vertical é ligeiramente para leste o que concorda com os resultados encontrados por Riehl (1945) e Neiva (1975).

4.3.3 - OUTONO (MAM)

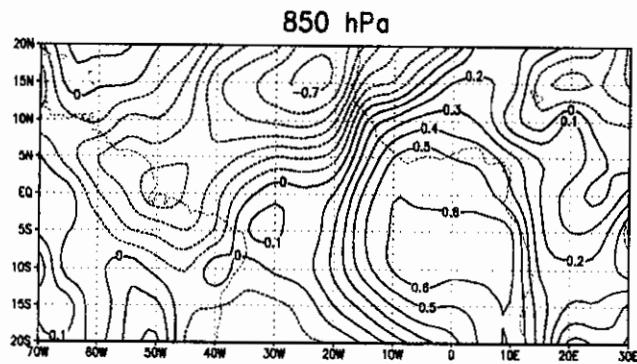
Os padrões dos modos 1 da componente meridional do vento durante MAM obtidos separadamente para cada nível são mostrados na Figura 4.9. Estes modos explicam em 1000 hPa 11,1%, em 850 hPa 9,8%, em 700 hPa 7,9% e em 500 hPa 6,7% das correspondentes variâncias totais. Similar a SON e DJF estes modos 1 descrevem as variações do vento meridional associadas a oscilações com períodos menores do que 10 dias de MAM de alguns anos específicos (1981 e 1983), como pode ser observado nas respectivas amplitudes (Figuras 4.10(a) à (d)).



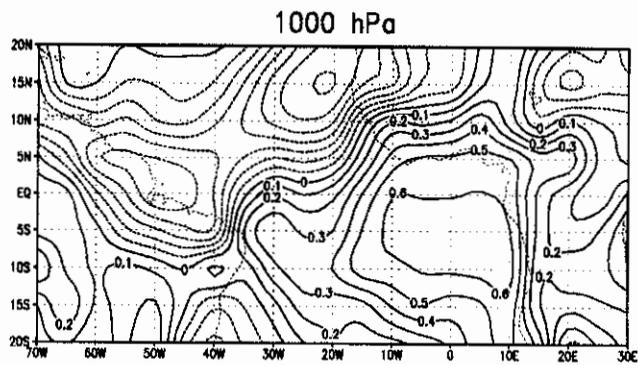
(d)



(c)



(b)



(a)

Fig. 4.9-Configurações dos modos 1 para a componente meridional do vento do outono (MAM) para: (a) 1000 hPa (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa.

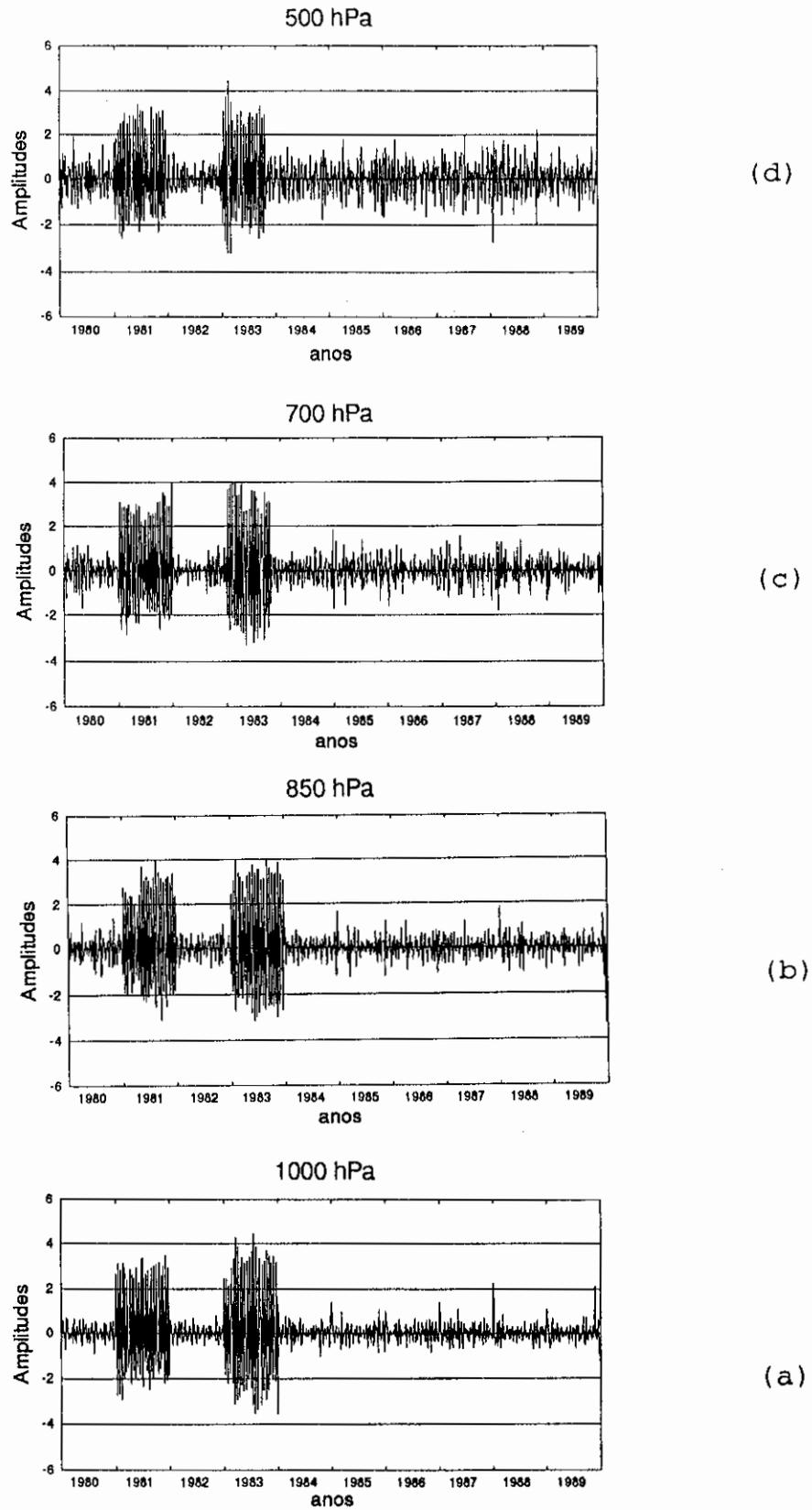


Fig. 4.10-Amplitudes dos modos 1 ilustrados na Fig.4.9 para (a) 1000hPa, (b) 850hPa, (c) 700hPa e (d) 500hPa.

As configurações são similares em todos os níveis, com os 'loadings' negativos localizados no norte do setor do Atlântico, na costa norte e sudeste do setor sul americano e no noroeste e nordeste do setor Africano e 'loadings' positivos no restante da área de estudo. Com a altura há uma retração para leste da área com 'loadings' positivos no Atlântico Sul especialmente próximo à costa leste do setor sul americano. Considerando os quatro níveis a escala horizontal dos distúrbios varia de 5000 Km a 10000 Km, sendo que os menores comprimento de onda são encontrados em 500 hPa.

Similar às análises de SON e DJF calculou-se o vento meridional médio dos anos em que as amplitudes são extremas, isto é, para 1981 e 1983 (Figura A.1c). Novamente as magnitudes da componente meridional do vento destes anos é menor do que as magnitudes médias de 10 anos, especialmente nos níveis inferiores (Figura 4.1c). Similar a SON e DJF uma possível explicação é a ocorrência de 'El Niño', especialmente em 1983.

As EOF combinadas da componente meridional do vento em 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa para MAM foram calculadas excluindo os anos de 1981 e 1983. A Figura 4.11 ilustra as configurações do primeiro modo da nova análise que explica 3,2% da variância total. Os padrões desta figura são caracterizados por faixas quase meridionais com alternância de sinal indicando ondulações no campo de vento. Os núcleos de máximos e mínimos estão localizados principalmente no norte da área em estudo. Os maiores 'loadings' estão localizados no nível de 700 hPa.

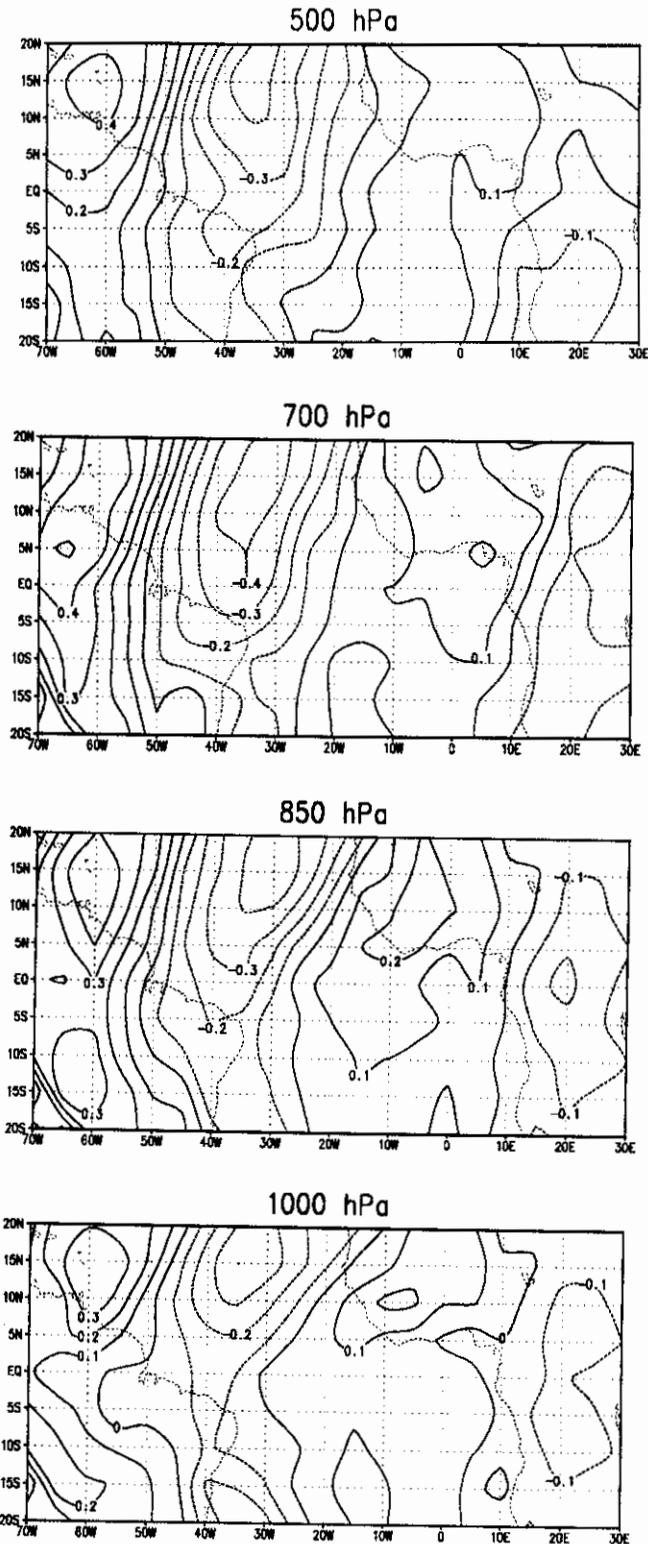


Fig. 4.11-Configurações do modo 1 para a componente meridional do vento para os níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa dos outonos dos anos normais: (1980, 1982, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988 e 1989)

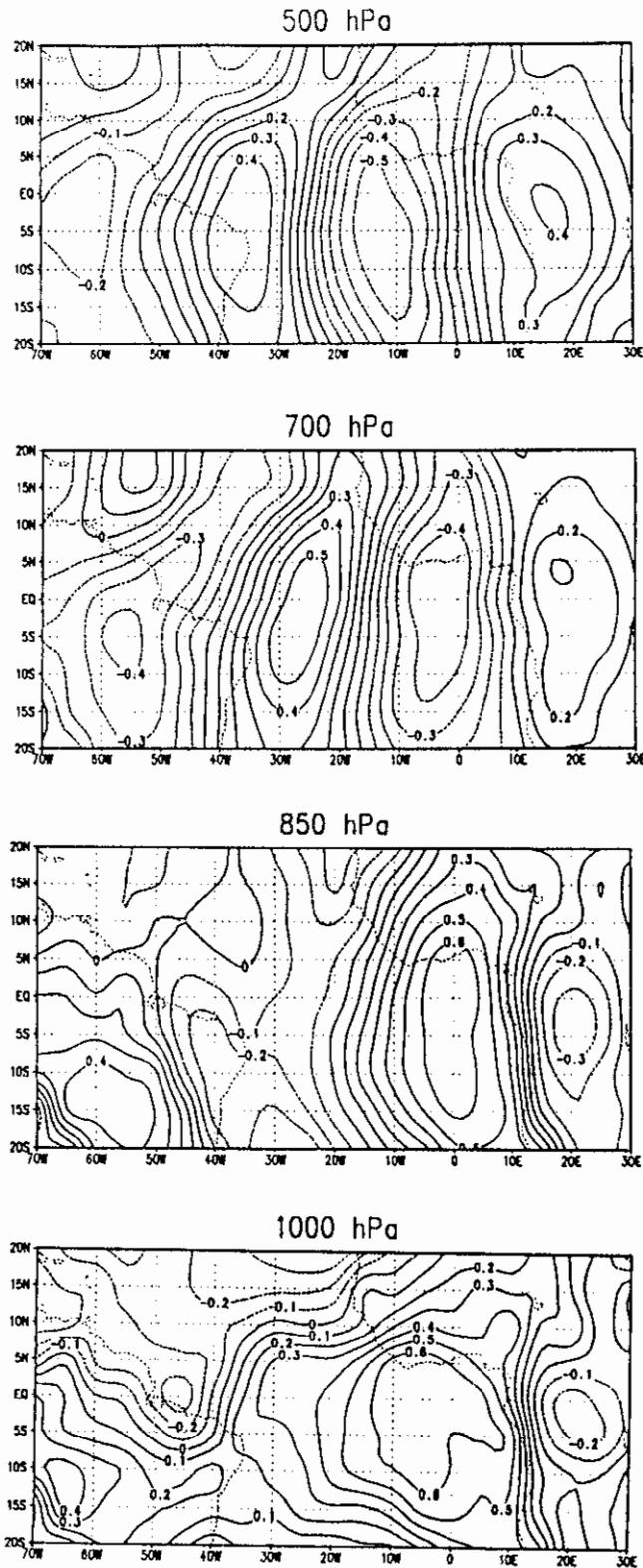
**TABELA 4.3-COMPRIMENTO DE ONDA E INCLINAÇÃO HORIZONTAL DOS
DISTÚRBIOS PARA OUTONO (MAM)**

NÍVEIS (hPa)	COMPRIMENTO DE ONDA (Km)	INCLINAÇÃO HORIZONTAL
1000	5500	SW - NE
850	5000	SW - NE
700	6000	SW - NE
500	5000	SW - NE

Conforme a Tabela 4.3 os comprimentos de onda dos distúrbios, sem a inclusão dos anos em que as amplitudes são extremas, são menores do que os das análises anteriores. A inclinação horizontal dos distúrbios, em todos os níveis é de sudoeste para nordeste, implicando que o transporte de momentum é para o norte. A inclinação vertical dos distúrbios de 1000 hPa a 850 hPa é ligeiramente para leste, concordando com os resultados encontrados por Neiva (1975) e Riehl (1945), e de 850 a 500 hPa é ligeiramente para oeste.

4.3.4 - INVERNO (JJA)

Na Figura 4.12 estão ilustrados os padrões dos modos 1 da componente meridional do vento para JJA, obtidos de análises separadas para cada nível. Estes modos explicam em 1000 hPa 10,1%, em 850 hPa 7,2%, em 700 hPa 5,9% e em 500 hPa 5,7% das correspondentes variâncias totais. Exceto em 1000 hPa as configurações dos demais níveis caracterizam-se por apresentar faixas quase meridionais com alternância de sinais.



(d)

(c)

(b)

(a)

Fig. 4.12-Configurações dos modos 1 para a componente meridional do vento do inverno (JJA) para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa.

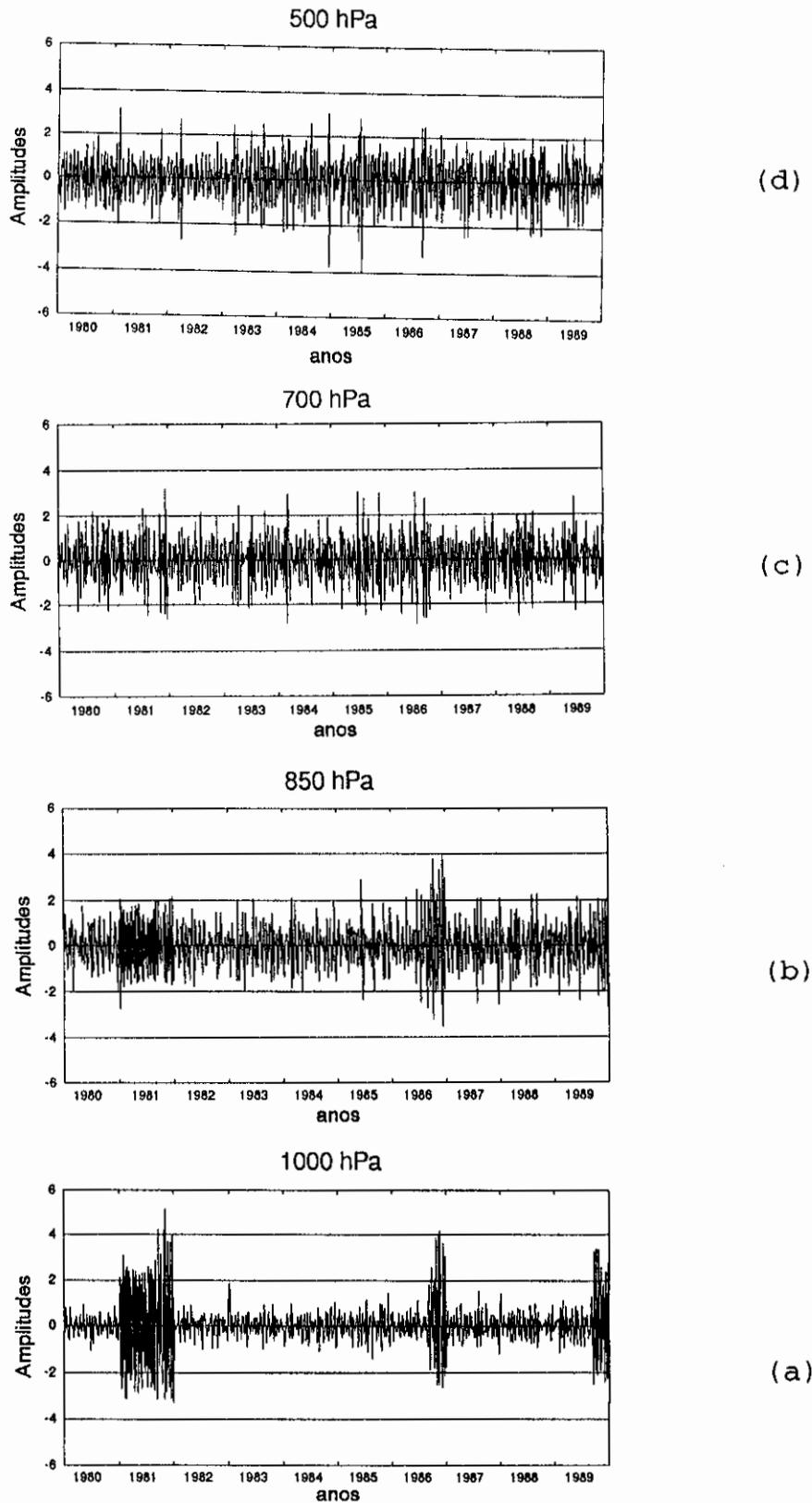


Fig. 4.13-Amplitudes dos modos 1 ilustrados na Fig. 4.12 para:(a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500hPa.

Analisando as amplitudes (Figura 4.13) é notável que os padrões de 1000 hPa e 850 hPa estão associados aos JJAs de alguns anos específicos (1981, 1986 e 1989). Como nas análises das demais estações foram calculados os campos médios da componente meridional do vento para estes anos (Figura A.1d). Somente em 1000 hPa as magnitudes da componente meridional do vento são ligeiramente menores do que a média de 10 anos (Figura 4.1d). Similar as demais estações analisadas, uma possível explicação para este fato esta relacionada à ocorrência de anomalias na circulação tropical associadas ao 'El Niño', especialmente em 1986 e 1989.

Como os padrões dos níveis de 1000 hPa e 850 hPa são relacionados a alguns anos específicos, calculou-se as EOF combinadas para os quatro níveis excluindo esses anos. O primeiro modo desta nova análise explica 4,3% da variância total e as configurações correspondentes estão mostradas na Figura 4.14. Excluindo os anos de amplitudes extremas, a configuração de 1000 hPa também caracteriza-se por faixas quase meridionais, e nos demais níveis tal configuração se mantém.

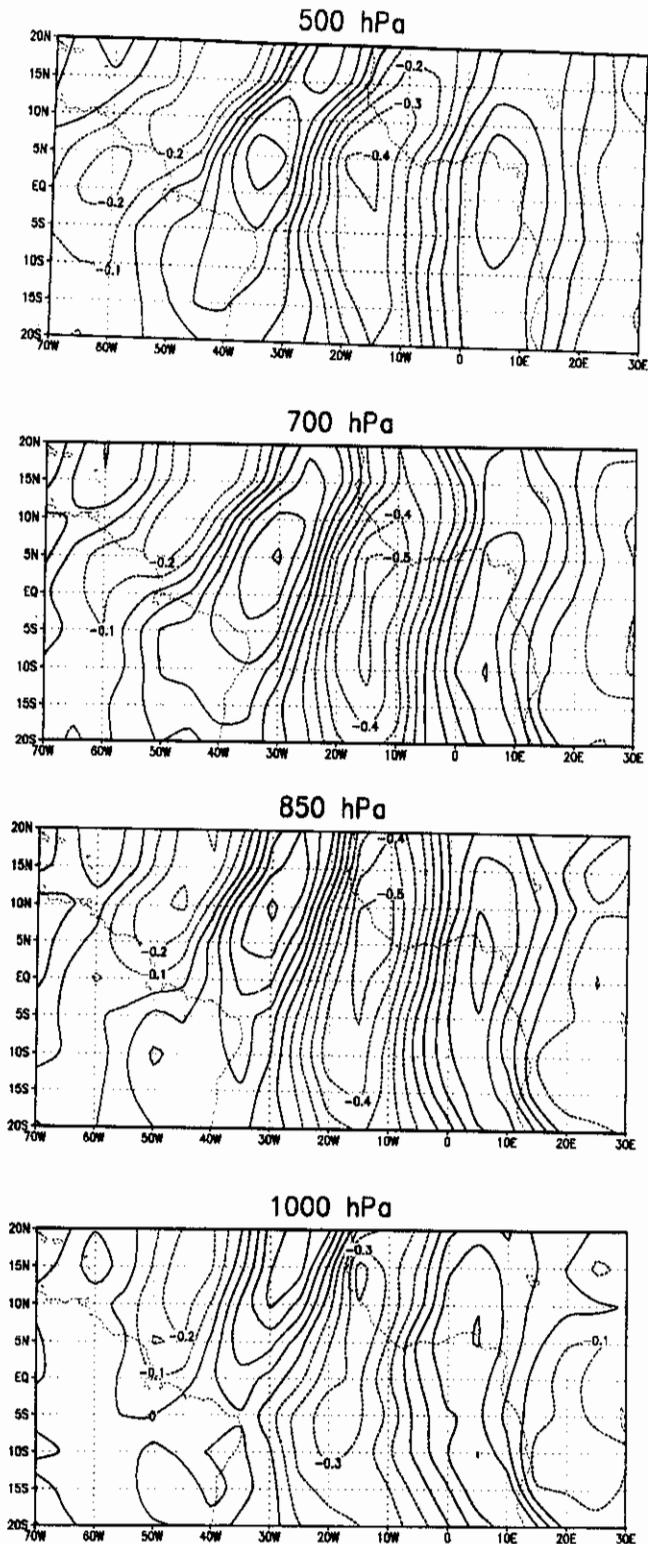


Fig. 4.14-Configurações do modo 1 combinado para a componente meridional do vento para os níveis de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa e 500 hPa dos invernos dos anos normais (1980, 1982, 1983, 1984, 1985, 1987 e 1988)

**TABELA 4.4-COMPRIMENTO DE ONDA E INCLINAÇÃO HORIZONTAL DOS
DISTÚRBIOS PARA INVERNO (JJA)**

NÍVEIS (hPa)	COMPRIMENTO DE ONDA (Km)	INCLINAÇÃO HORIZONTAL
1000	4000	SW - NE
850	3500	SW - NE
700	3500	SW - NE
500	4000	SW - NE

Conforme a Tabela 4.4 o comprimento de onda em 1000 hPa é menor que o obtido na análise anterior, e nos demais níveis este se mantém quase da mesma ordem. A inclinação horizontal em todos os níveis é de sudoeste para nordeste, indicando que o transporte de momentum é para o norte. Neiva (1975) encontrou inclinação horizontal de noroeste para sudeste. A inclinação dos distúrbios na vertical de 1000 hPa a 700 hPa é ligeiramente para leste, concordando com o resultado de Neiva (1975), e de 700 hPa até 500 hPa é para oeste.

A variância explicada para o primeiro modo é baixa comparada com estudos que enfocam escalas espaciais e temporais maiores, por exemplo, dos fenômenos associados a variabilidade interanual, a oscilação sul é conhecida ser dominante. Enquanto nas escalas espacial e temporal tratadas neste trabalho ocorrem um grande número de fenômenos o que explica a distribuição de variâncias para os modos mais altos.

Na análise conjunta dos quatro níveis, a variância explicada do primeiro modo é menor do que a variância explicada correspondente às análises para cada nível separadamente. Isso se deve ao fato de que o número de pontos em espaço ter sido multiplicado por 4 (uma vez que 4 níveis foram incluídos na análise). No entanto, esta nova análise garante a consistência física dos parâmetros na vertical.

Os comprimentos de onda obtidos das análises de EOF calculadas separadamente, isto é, incluindo todos os anos são maiores que os comprimentos de onda encontrados nas análises de EOF excluindo os anos nos quais a amplitude foi extrema na análise anterior. Esta diferença de comprimentos de onda está possivelmente relacionada à ocorrência de 'El Niño', quando são observados alterações globais na circulação atmosférica afetando o comportamento das oscilações com períodos menores do que 10 dias. De fato as amplitudes extremas foram observadas durante períodos coincidentes com a ocorrência de 'El Niño'. Amplitudes extremas ocorreram em todos os níveis durante SON, DJF e MAM, enquanto durante JJA somente nos baixos níveis. Isso sugere que nos períodos de 'El Niño' durante JJA o efeito pode ser mais fraco atingindo apenas os baixos níveis.

Os comprimentos de onda apresentam variações sazonais, sendo os maiores comprimentos de onda encontrados durante SON e DJF e os menores MAM. Conforme as características dos distúrbios, particularmente os de DJF assemelham-se a uma onda mista Rossby-gravidade, embora a velocidade de fase observada seja maior do que a velocidade de fase teórica.

4.4. ANÁLISE DAS FUNÇÕES ORTOGONAIS EMPÍRICAS ESTENDIDAS

As EEOF da componente meridional do vento foram calculadas para cada nível e estação do ano separadamente devido às limitações computacionais. Nestas análises as EEOF foram calculadas excluindo-se os anos de amplitudes extremas conforme identificados nas correspondentes análises de EOF para todos os anos. Nas análises das EEOF o número de passos em tempo usado foi 6 e a defasagem de 1 dia.

4.4.1 PRIMAVERA (SON)

Os modos 1 estendidos da componente meridional do vento durante SON explicam em 1000 hPa 2,5%, em 850 hPa 3,6%, em 700 hPa 3,0% e em 500 hPa 3,2% das correspondentes variâncias totais. O modo de 1000 hPa apresenta configurações quase meridionais com os núcleos principais localizados no Atlântico e África, que se intensificam do passo 1 a 4 (Figura 4.15a).

O modo de 850 hPa também apresenta configurações quase meridionais com núcleos principais intensos no Atlântico e África que se deslocam para oeste nestas regiões aproximadamente paralelos à linha equatorial e enfraquecem na região da América do Sul (Figura 4.15b).

O modo de 700 hPa tem configurações quase meridionais nos dois primeiros passos com os núcleos principais no Atlântico, mas nos passos seguintes formam-se dois ramos de núcleos um no sul e outro no norte da área de estudo que se intensificam nos passos 3 e 4, em particular chegam até América do Sul.

O modo de 500 hPa caracteriza-se por faixas quase meridionais na área de estudo, cujos núcleos associados, com o tempo intensificam-se e localizam-se ao sul de 10°N. Os núcleos deslocam-se paralelos à linha equatorial e atingem o norte-nordeste do Brasil. A intensificação dos núcleos ocorre do passo 1 a 4 e uma ligeira desintensificação é observada nos dois últimos passos.

Conforme a Tabela 4.5 o comprimento de onda e a velocidade de fase dos distúrbio são maiores em 500 hPa, e menores em 700 hPa.

TABELA 4.5-CARACTERÍSTICAS DOS DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS PARA PRIMAVERA (SON)

NÍVEIS (hPa)	COMPRIMENTO DE ONDA (Km)	PERÍODO (dias)	VELOCIDADE DE FASE (m/s)
1000	4000	4	12
850	3500	4	10
700	3000	4	9
500	5000	4	15

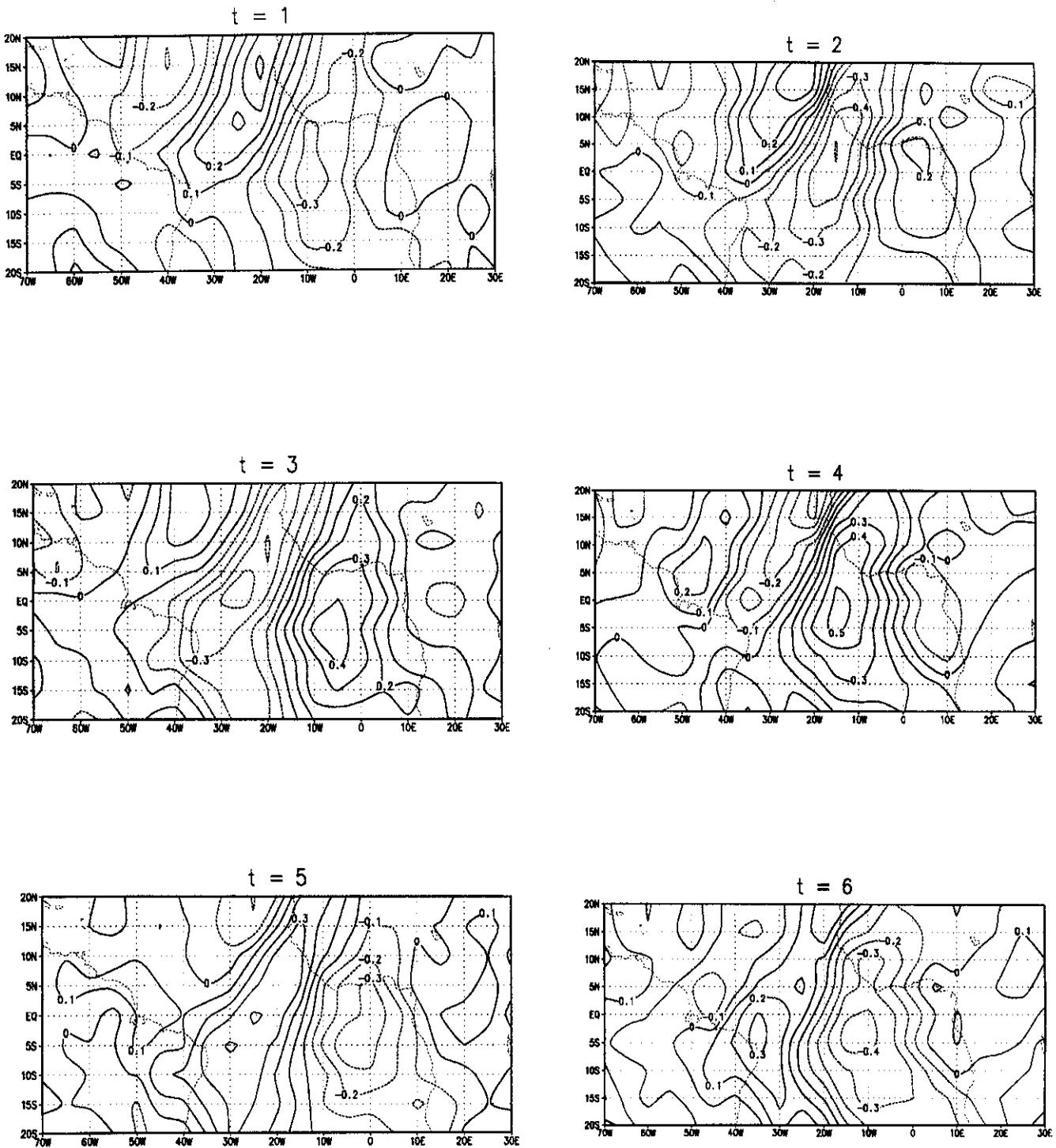


Fig. 4.15-Configurações do modo 1 estendido para a componente meridional do vento das primaveras de 1980, 1983, 1984, 1985, 1987 e 1988 para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa.

Fig. 4.15a (continua)

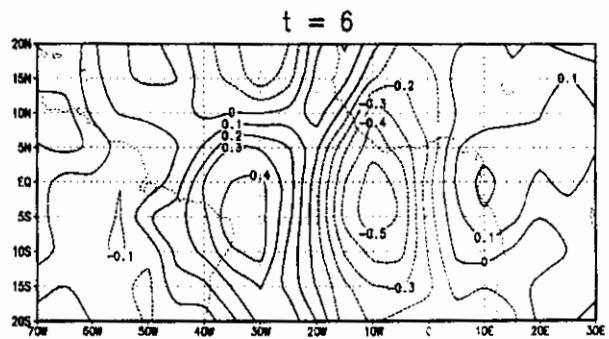
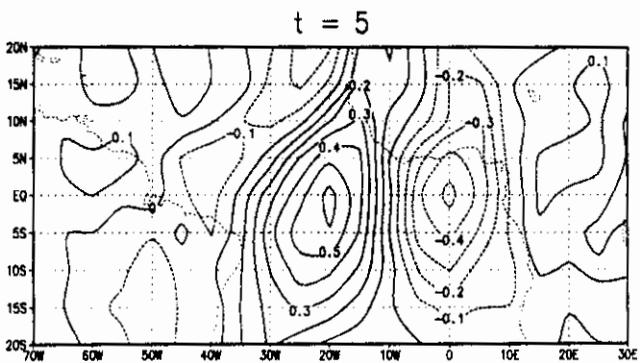
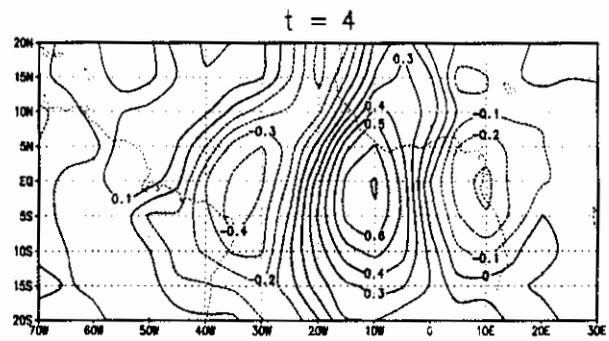
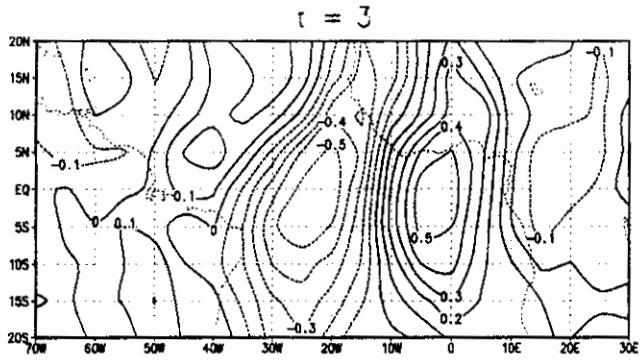
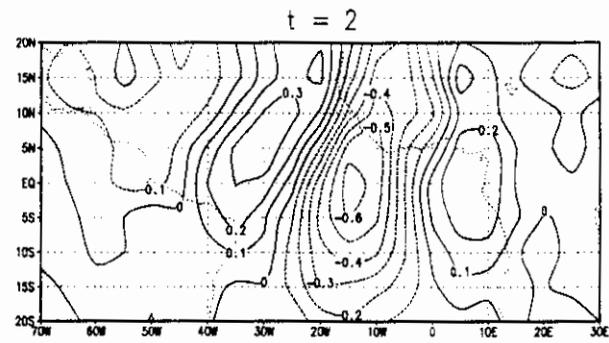
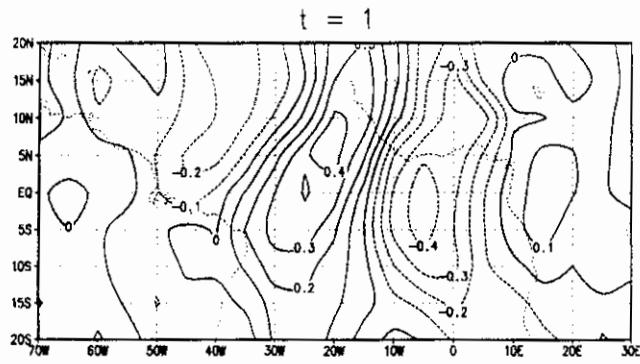


Fig. 4.15b (continua)

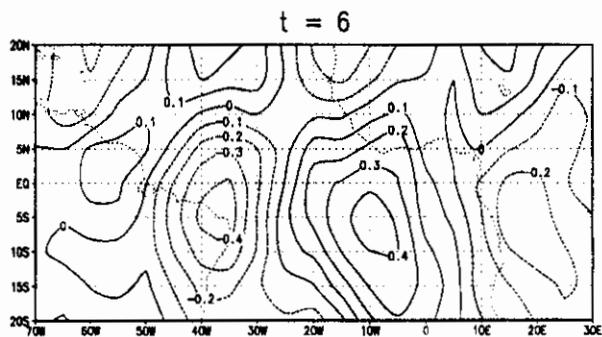
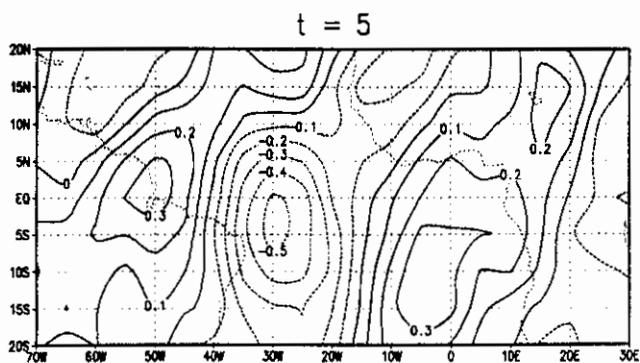
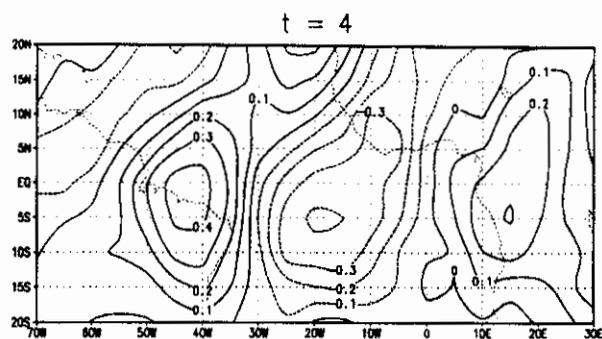
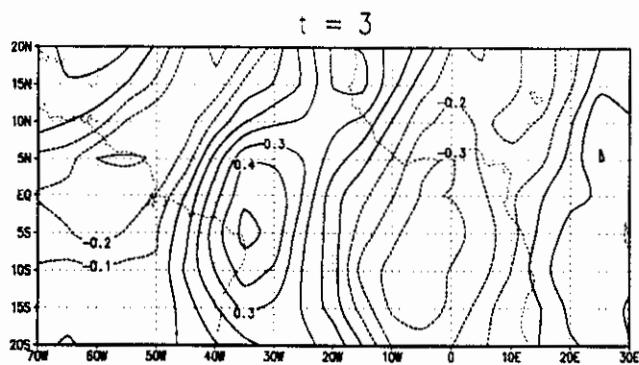
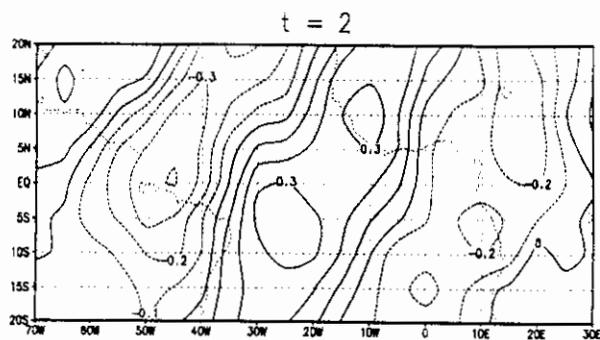
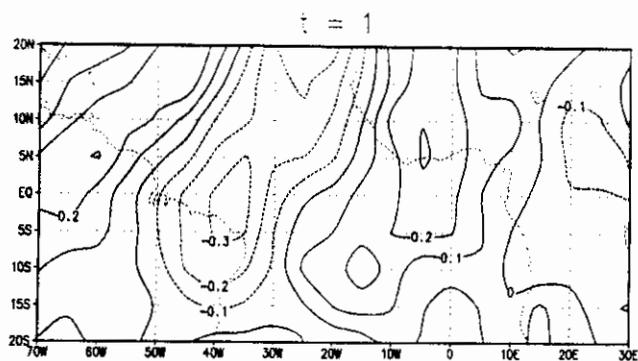


Fig. 4.15d (conclusão)

4.4.2 VERÃO (DJF)

Os padrões dos modos 1 estendidos para a componente meridional do vento para DJF estão mostrados na Figura 4.16 (a) à (d). Estes modos explicam em 1000 hPa 2,2%, em 850 hPa 3,0%, em 700 hPa 3,1% e em 500 hPa 3,1% das correspondentes variâncias totais.

O modo de 1000 hPa (Figura 4.16a) mostra um padrão aproximadamente antissimétrico em relação ao equador com os valores máximos no sul da área em estudo. Os núcleos intensificam-se do passo 1 ao 2 desintensificam-se no passo 3, intensificam-se nos passos 4 e 5 e enfraquecem no último passo. O deslocamento do padrão é notável até a parte central do setor sul americano.

O modo de 850 hPa (Figura 4.16b) caracteriza-se por faixas inclinadas de sudeste para noroeste com os núcleos intensos no sul da área de estudo, e núcleos secundários na parte norte. No sul ocorre intensificação do passo 1 ao 4 e o padrão atinge o leste e nordeste do Brasil. Nos últimos passos os núcleos são menos intensos, mas permanecem ainda na região da América do Sul.

O modo de 700 hPa (Figura 4.16c), apresenta um padrão aproximadamente antissimétrico em relação a 5°N. Os núcleos da parte sul intensificam-se do passo 1 ao 4 e atingem o setor sul americano. Os do norte permanecem com a mesma intensidade em todos os passos.

O modo de 500 hPa (Figura 4.16d) apresenta um padrão de faixas quase meridionais com núcleos principais localizados na África, Atlântico Sul e ao longo da costa norte da América do Sul. Os núcleos deslocam-se para noroeste e se intensificam com o tempo entre os passos 1 e 4 e nos últimos passos se enfraquecem ligeiramente. Na América do Sul em todos os passos de tempo o padrão é bem definido com núcleos intensos.

Conforme a Tabela 4.6 os maiores comprimento de onda e velocidade de fase são encontrados desde 1000 hPa até 700 hPa, mas nos quatro níveis o período é o mesmo.

TABELA 4.6-CARACTERÍSTICAS DOS DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS PARA VERÃO (DJF)

NÍVEIS (hPa)	COMPRIMENTO DE ONDA (Km)	PERÍODO (dias)	VELOCIDADE DE FASE (m/s)
1000	7000	6	14
850	7000	6	14
700	7000	6	14
500	5000	6	10

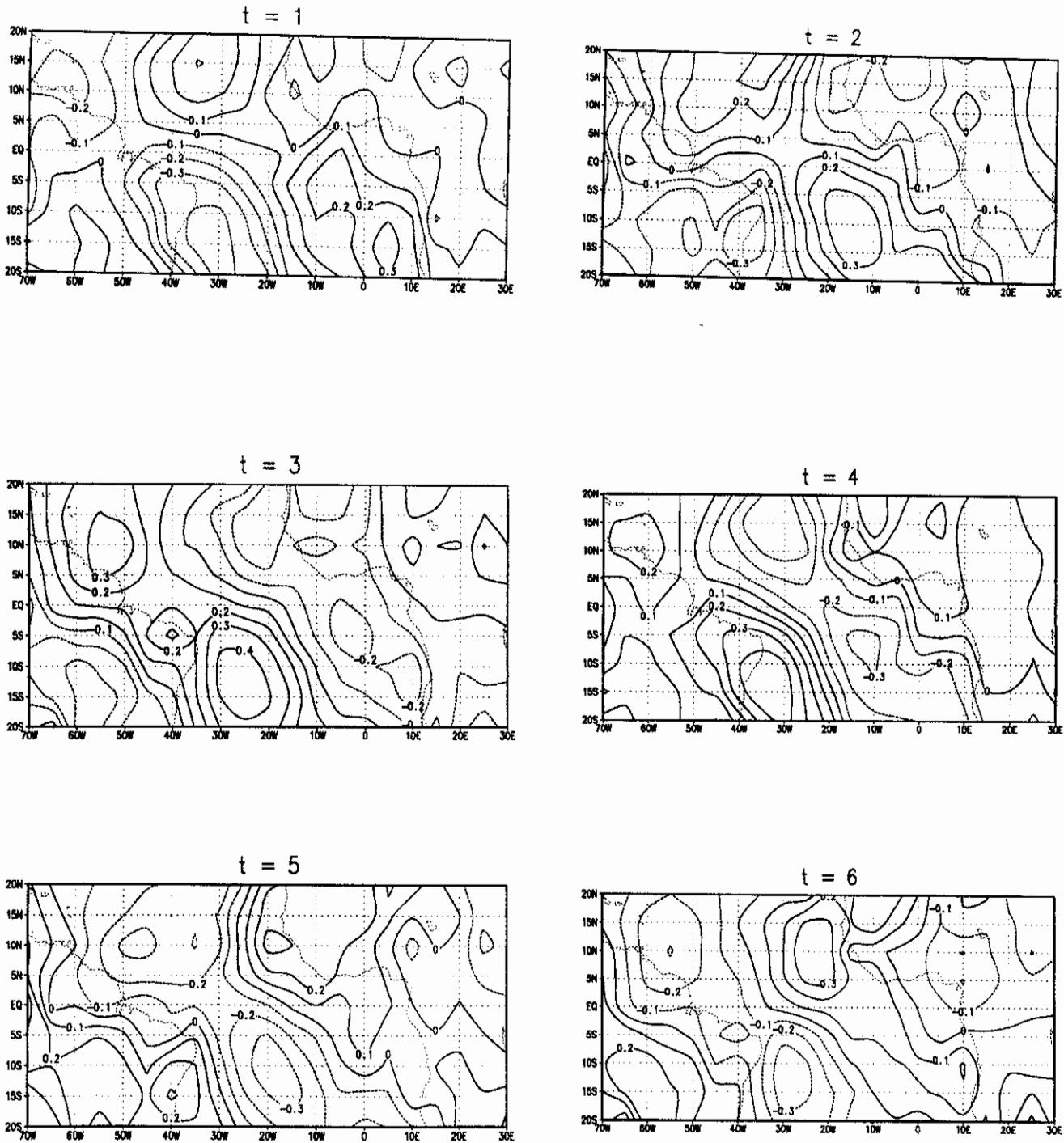


Fig. 4.16-Configurações do modo 1 estendido para a componente meridional do vento dos verões de 1980/81, 1983/84, 1984/85, 1985/86, 1987/88 e 1988/89 para (a)1000 hPa, (b)850 hPa, (c)700 hPa e (d) 500 hPa

Fig. 4.16a (continua)

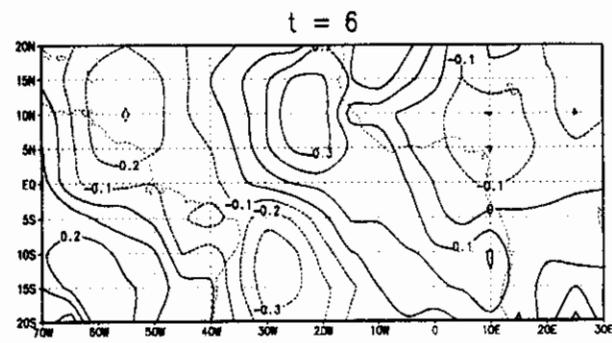
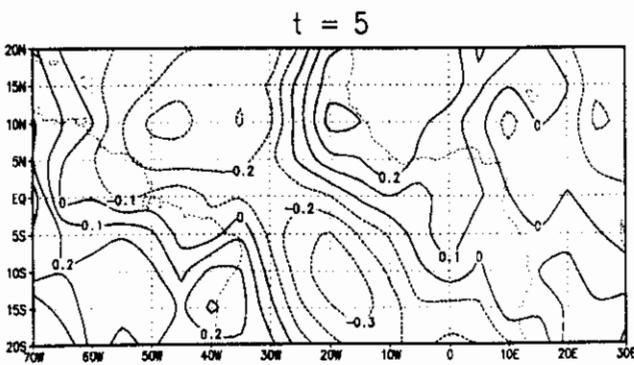
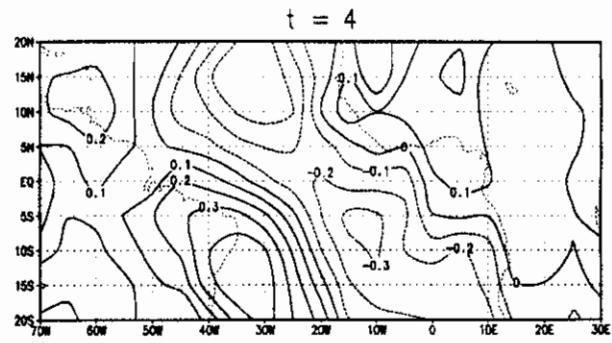
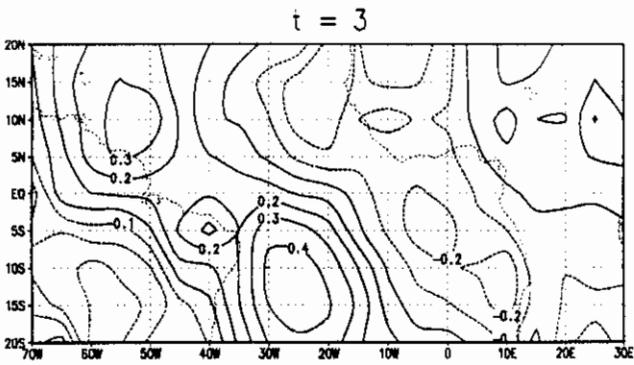
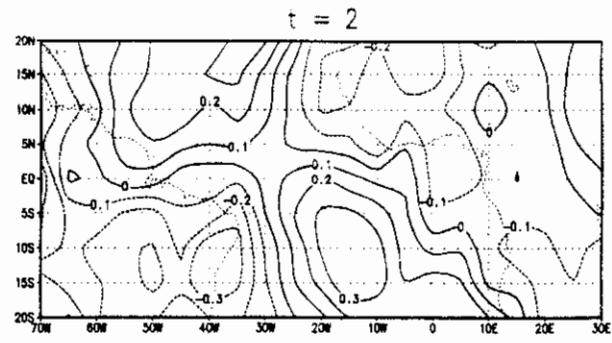
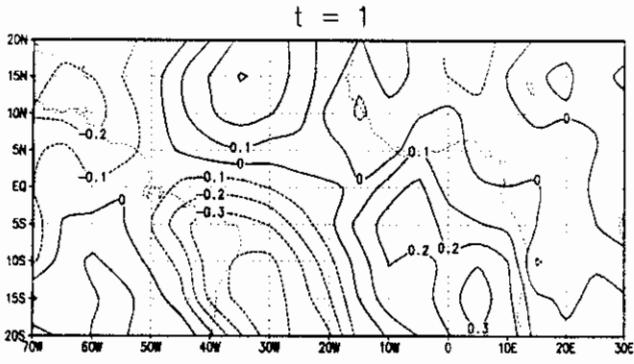


Fig. 4.16b (continua)

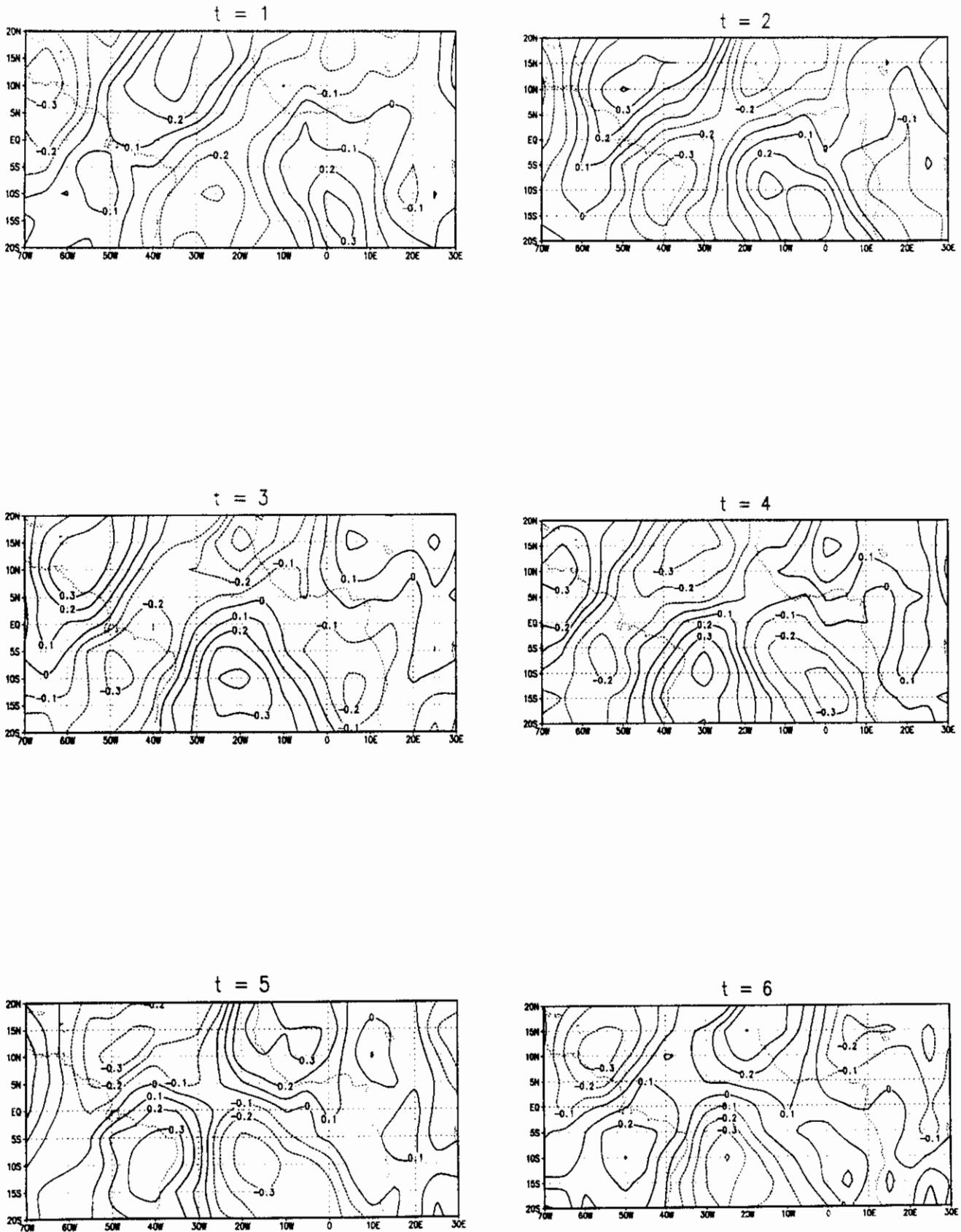


Fig. 4.16c (continua)

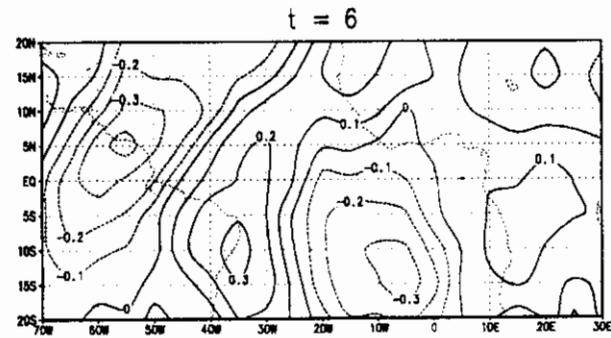
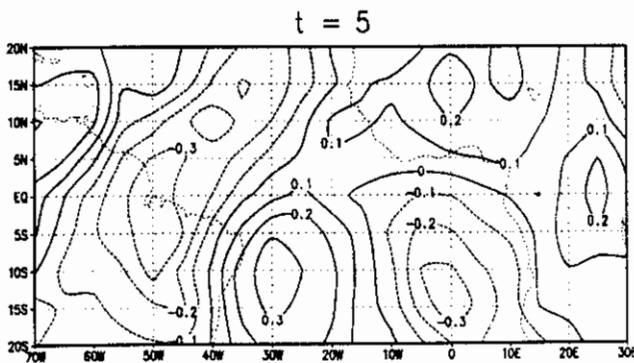
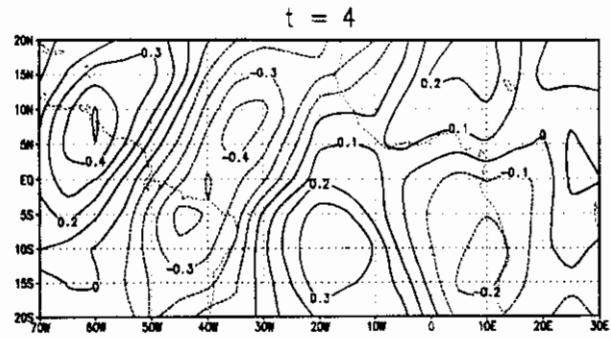
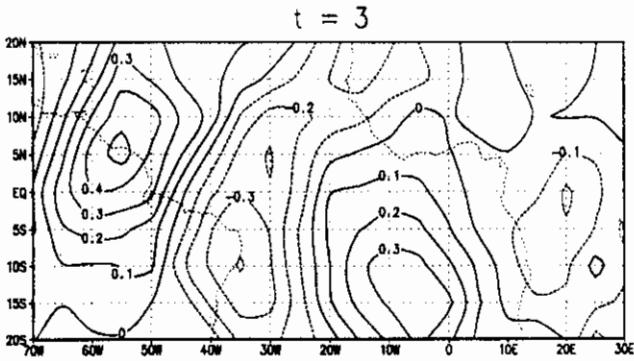
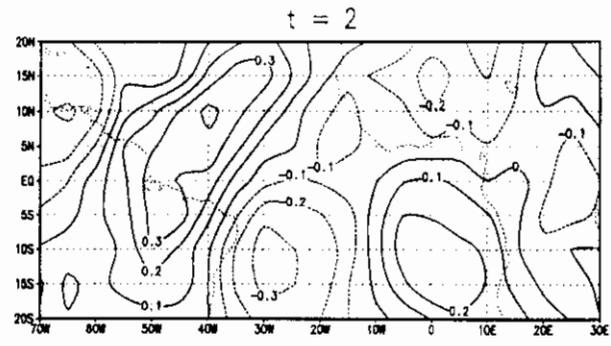
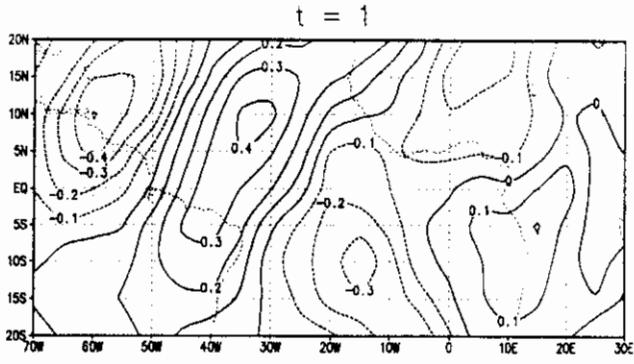


Fig. 4.16d (conclusão)

4.4.3 OUTONO (MAM)

Os padrões dos modos 1 estendidos para a componente meridional do vento para MAM são mostrados na Figuras 4.17 (a) à (d). Estes modos explicam em 1000 hPa 1,9%, em 850 hPa 2,5%, em 700 hPa 2,9% e em 500 hPa 3,0% das correspondentes variâncias totais. O modo de 1000 hPa (Figura 4.17a) mostra configurações quase meridionais com núcleos associados no norte da faixa em estudo, principalmente no oceano. Os núcleos permanecem quase inalterados em intensidade no passo 4, e desintensificam-se nos passos 5 e 6 e deslocam-se paralelos à linha equatorial.

O modo de 850 hPa apresenta também um padrão quase meridional com núcleos principais no norte da área em estudo principalmente no Atlântico. Os núcleos intensificam-se entre os passos 1 e 4, com alguma influência no norte do setor sul americano e desintensificam-se nos dois últimos passos.

O modo de 700 hPa (Figura 4.17c) também se caracteriza por faixas quase meridionais com os núcleos principais inicialmente na parte norte da área em estudo que com o tempo estendem-se para o sul alcançando inclusive a América do Sul. O modo de 500 hPa mostra um padrão melhor definido de bandas quase meridionais com os núcleos principais no Atlântico tropical, América do Sul e parte da África. Os núcleos associados deslocam-se paralelos à linha equatorial.

Segundo a Tabela 4.7 o período dos distúrbios nesta estação é de 6 dias nos níveis de 1000 hPa a 700 hPa e de 5 dias em 500 hPa. Os menores comprimentos de onda e velocidades de fase estão nos níveis baixos. A máxima velocidade de fase ocorre em 500 hPa e o maior comprimento de onda no nível de 700 hPa.

TABELA 4.7-CARACTERÍSTICAS DOS DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS PARA OUTONO (MAM)

NÍVEIS (hPa)	COMPRIMENTO DE ONDA (Km)	PERÍODO (dias)	VELOCIDADE DE FASE (m/s)
1000	5000	6	10
850	5000	6	10
700	6000	6	12
500	5500	5	13

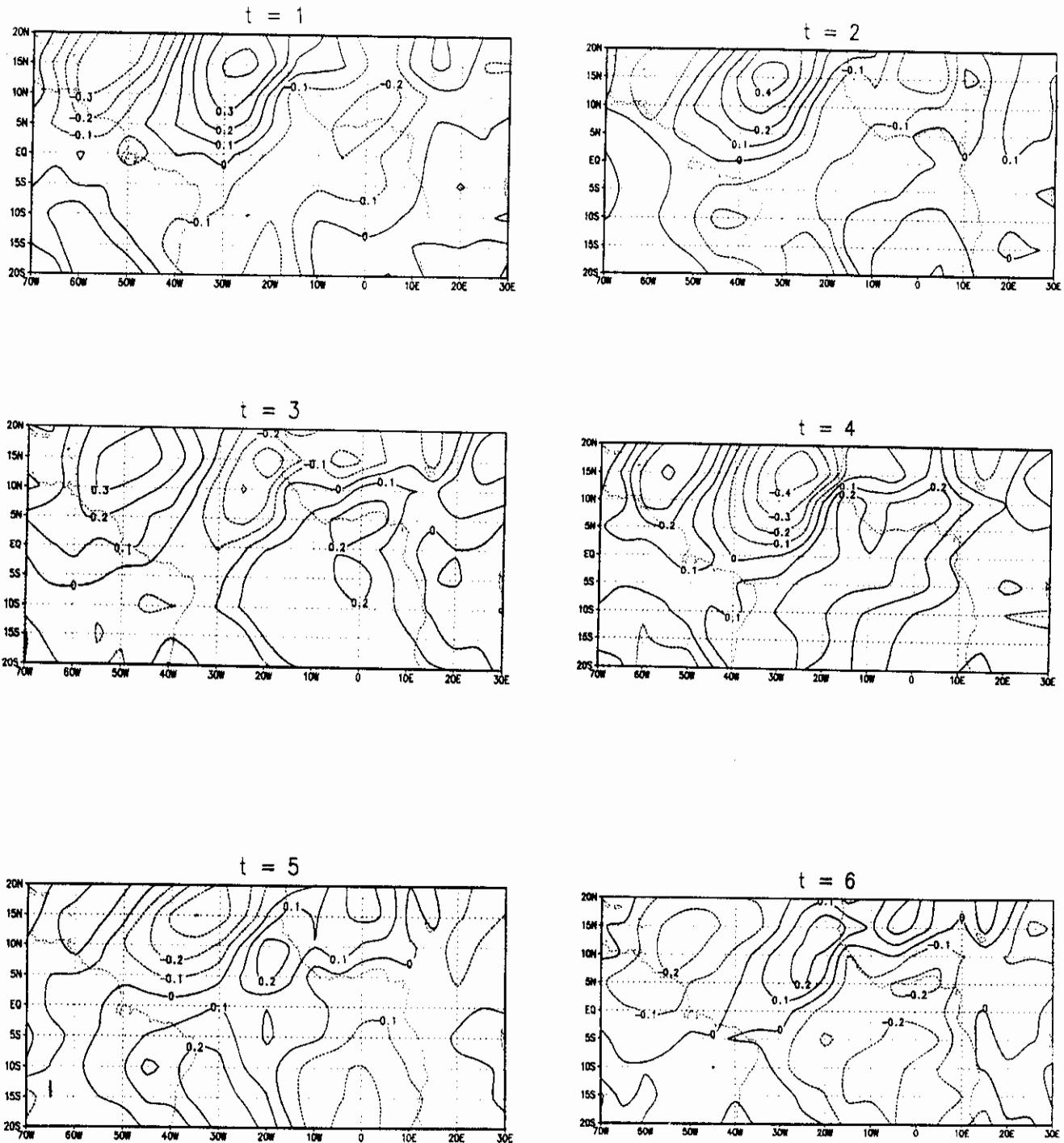


Fig. 4.17-Configurações do modo 1 estendido para a componente meridional do vento dos outonos de 1980, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988 e 1989 para: (a) 1000hPa, (b) 850hPa, (c) 700hPa e (d) 500hPa.

Fig. 4.17a (continua)

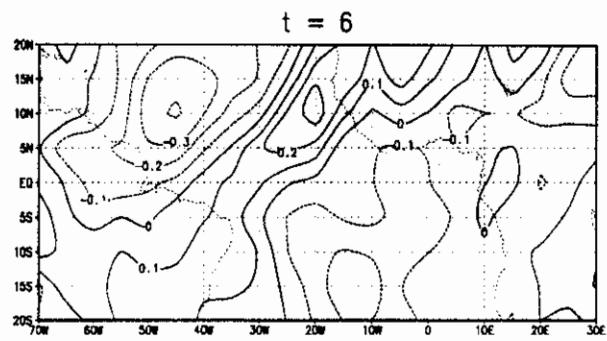
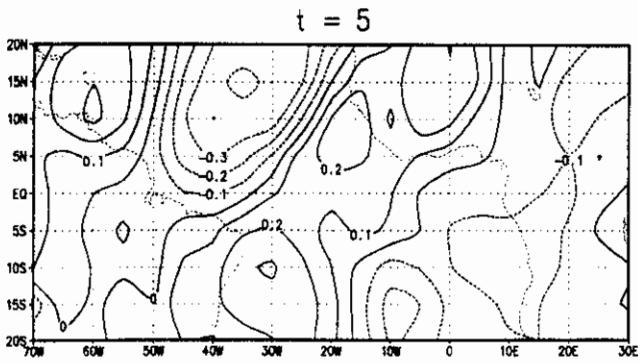
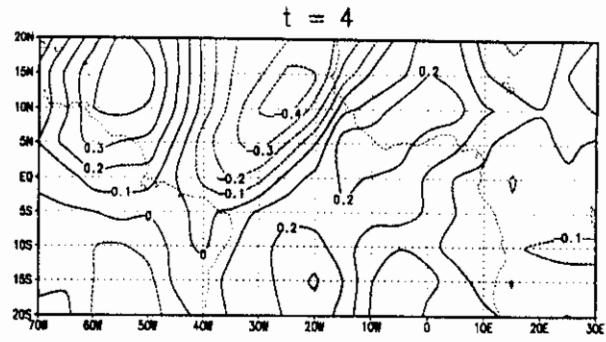
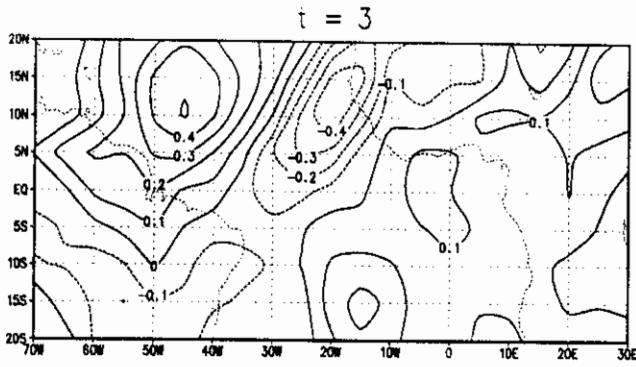
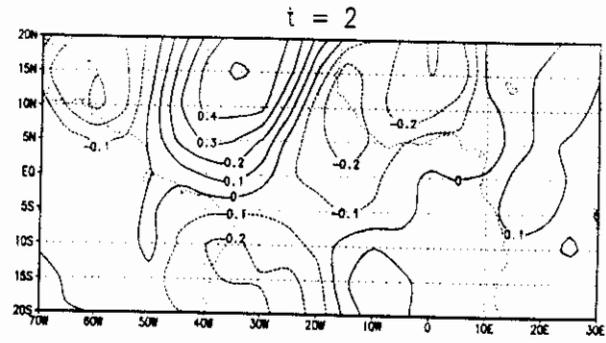
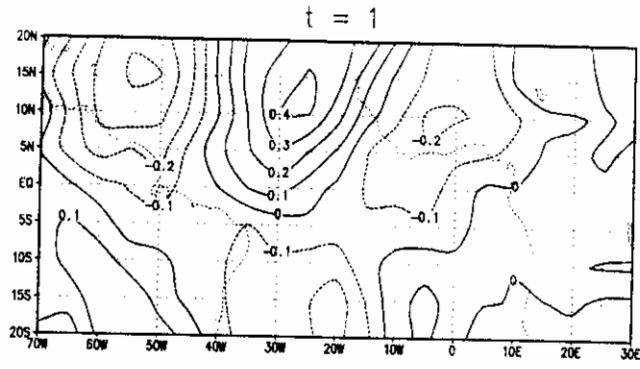


Fig. 4.17b (continua)

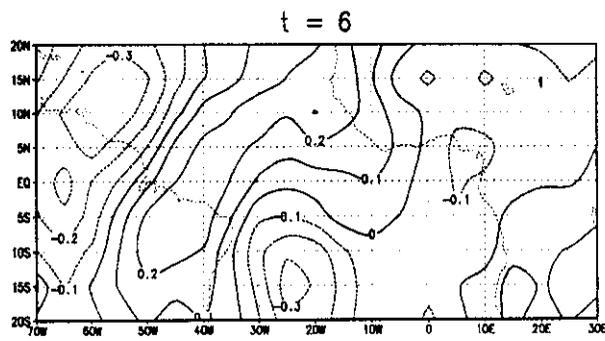
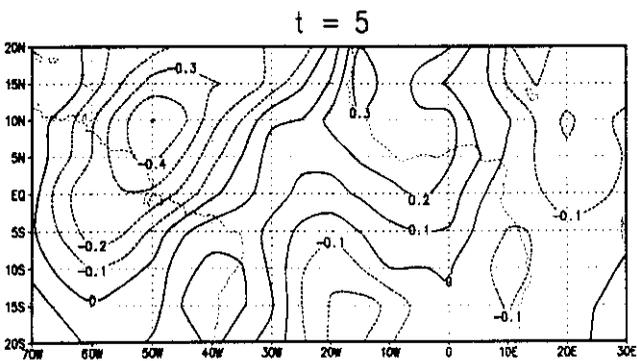
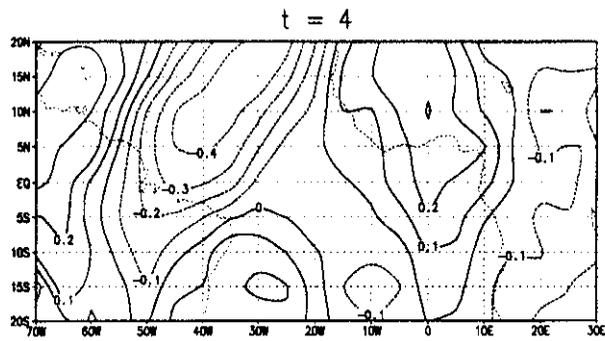
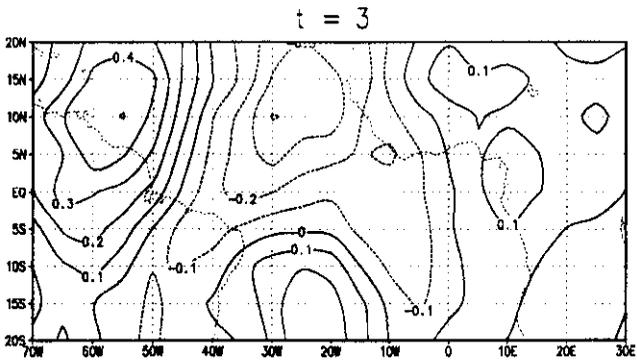
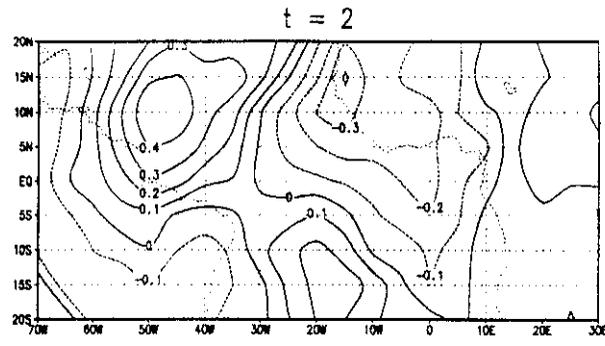
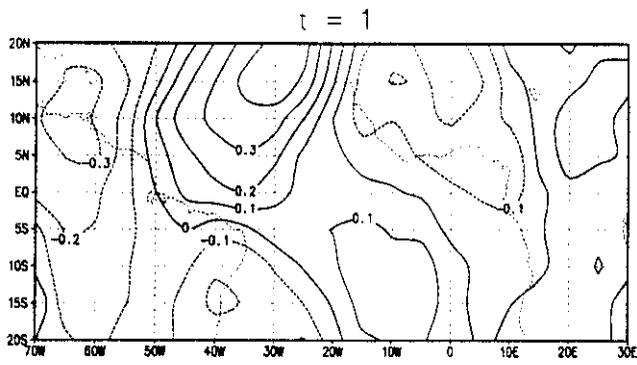


Fig. 4.17c (continua)

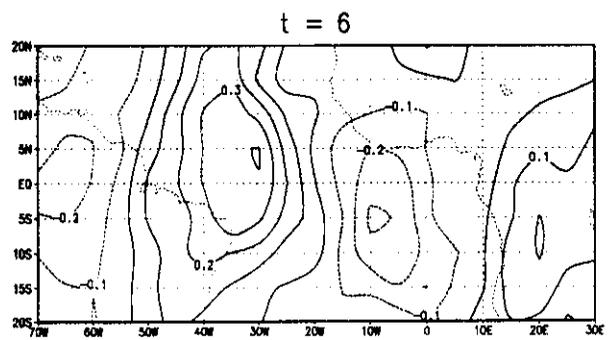
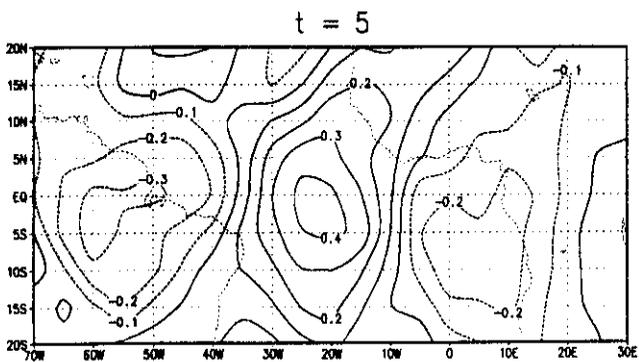
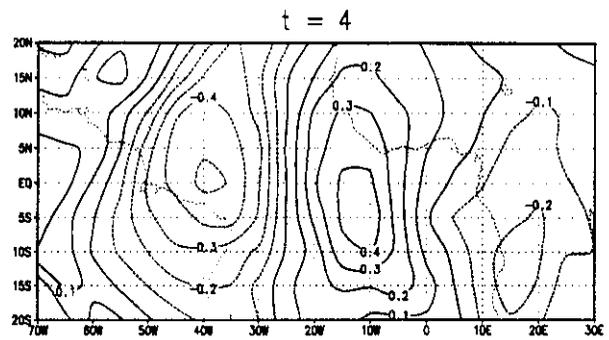
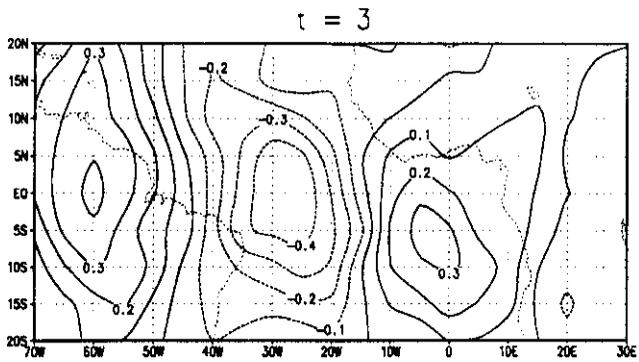
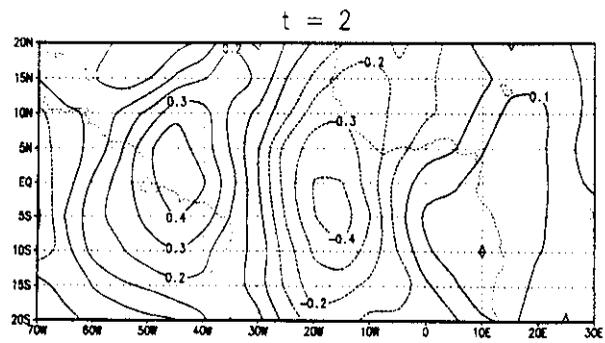
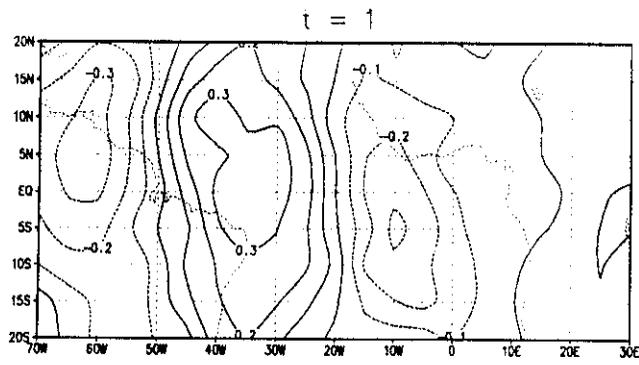


Fig. 4.17d (conclusão)

4.4.4 INVERNO (JJA)

Para JJA, as EEOF para 1000 hPa e 850 hPa foram calculadas excluindo-se os anos nos quais as amplitudes das análises de EOF foram extremas, para os níveis 700 hPa e 500 hPa as EEOF foram calculadas com todos os anos.

Os padrões dos modos 1 estendidos para a componente meridional do vento para JJA estão mostrados nas Figuras 4.18 (a) à (d). Estes modos explicam em 1000 hPa 2,7%, em 850 hPa 4,4%, em 700 hPa 3,5% e em 500 hPa 3,3% das correspondentes variâncias totais. O modo de 1000 hPa (Figura 4.18a) caracteriza-se por faixas quase meridionais com os núcleos principais no norte da área de estudo. Os núcleos com o tempo intensificam-se e deslocam-se para o noroeste que coincide com a trajetória dos furacões que são mais intensos no Hemisfério Norte nesta estação (Pasch, 1994).

O modo de 850 hPa (Figura 4.18b) mostra um padrão similares aos do modo de 1000 hPa com os núcleos principalmente no Atlântico. As faixas quase meridionais cobrem a maior parte da área de estudo, desde a África até as costas do setor sul americano, de onde o deslocamento é para noroeste.

O modo de 700 hPa (Figura 4.18c) tem padrões similares aos do nível de 850 hPa mas com núcleos mais intensos e abrangendo desde a África até o norte do setor sul americano a partir de onde deslocam-se para o noroeste.

O modo de 500 hPa (Figura 4.18d) apresenta valores máximos também em faixas quase meridionais, mas menos intensos do que nos níveis inferiores.

Conforme a Tabela 4.8 os comprimentos de onda são menores que nas outras estações. O maior comprimento de onda está em 500 hPa assim como a máxima velocidade de fase.

TABELA 4.8-CARACTERÍSTICAS DOS DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS PARA INVERNO (JJA)

NÍVEIS (hPa)	COMPRIMENTO DE ONDA (Km)	PERÍODO (dias)	VELOCIDADE DE FASE (m/s)
1000	3500	4	10
850	3500	4	10
700	3500	4	10
500	4500	4	13

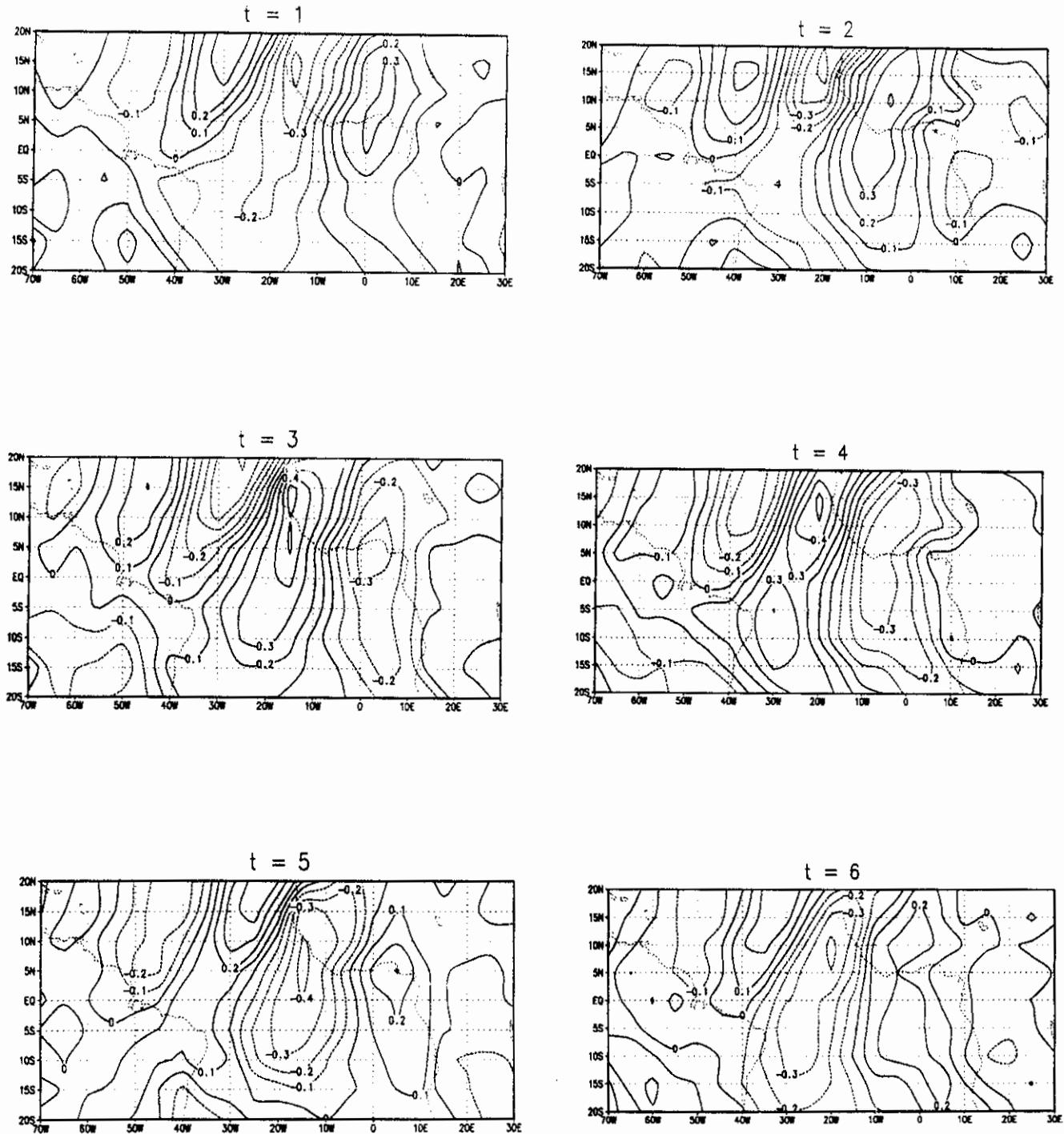


Fig. 4.18-Configurações do modo 1 estendido para a componente meridional do vento dos invernos de 1980, 1983, 1984, 1985, 1987 e 1988 para: (a) 1000 hPa, (b) 850 hPa, (c) 700 hPa e (d) 500 hPa.

Fig. 4.18a (continua)

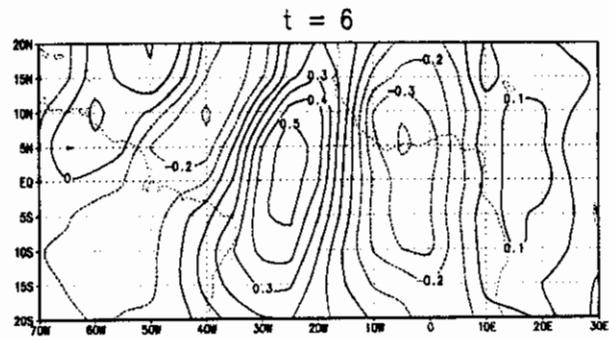
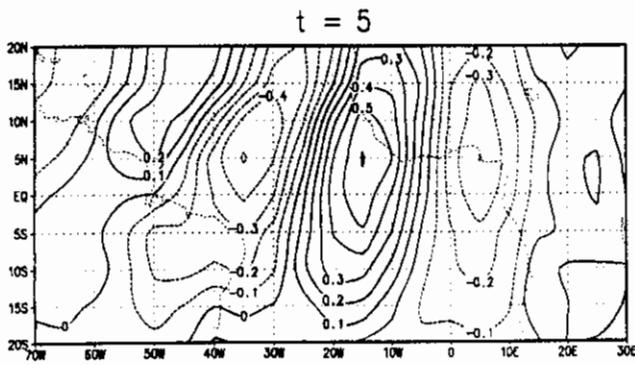
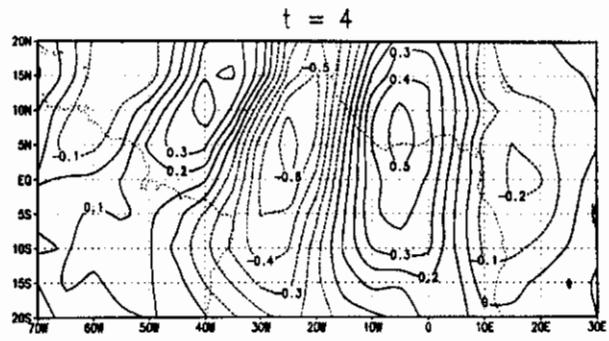
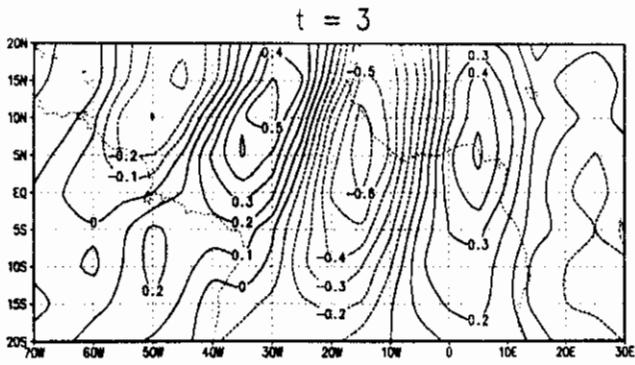
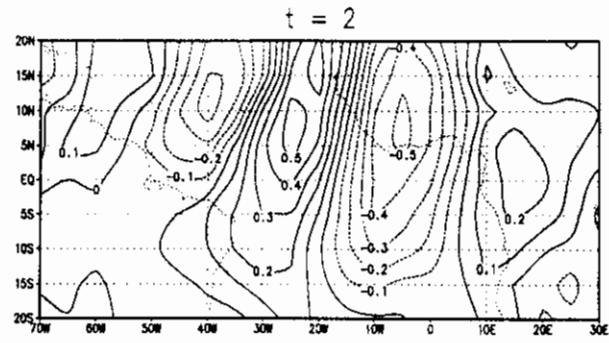
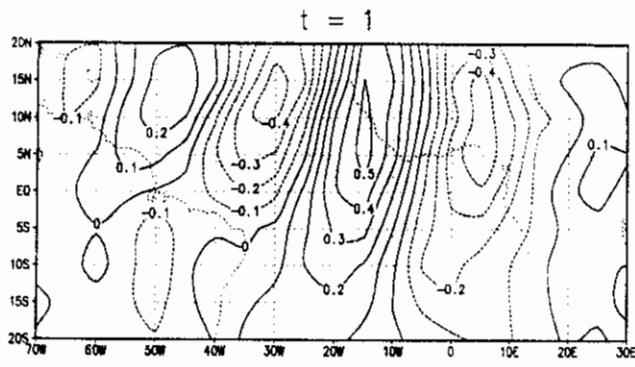


Fig. 4.18b (continua)

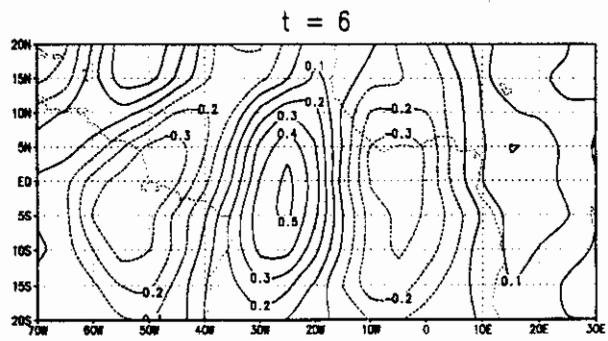
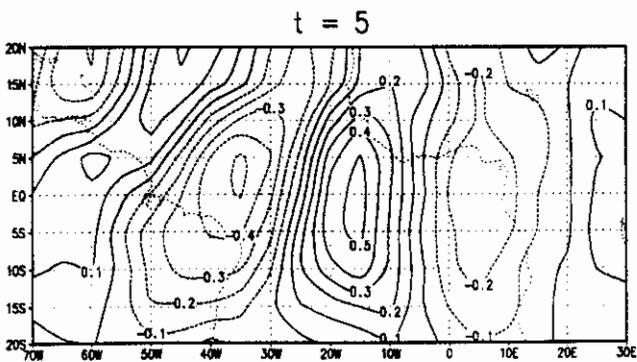
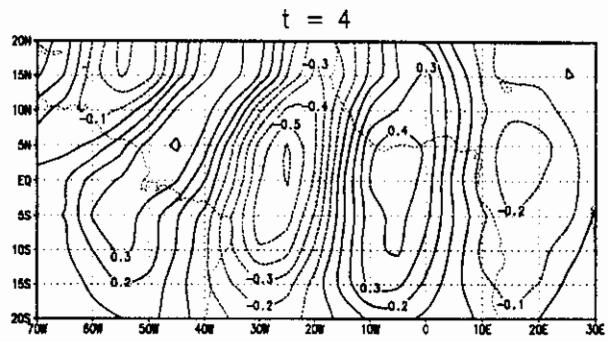
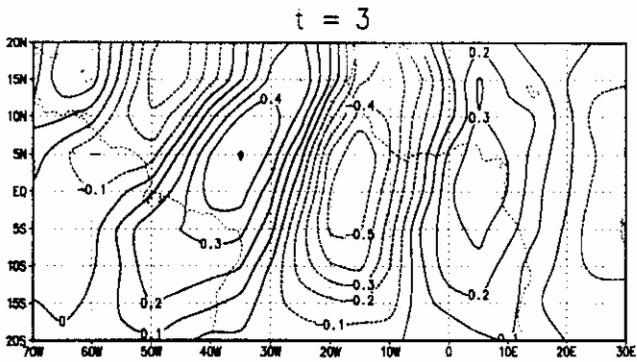
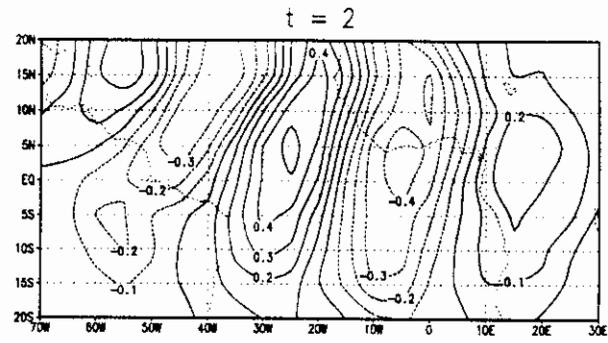
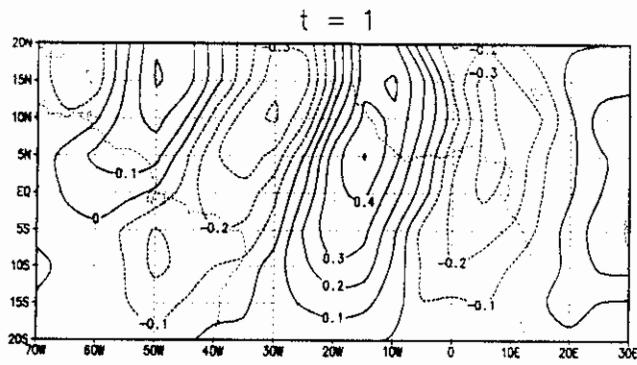


Fig. 4.18c (continua)

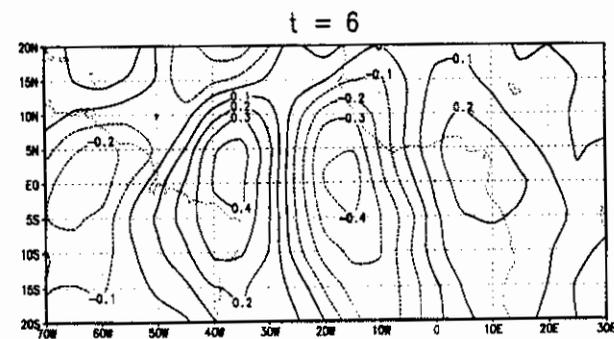
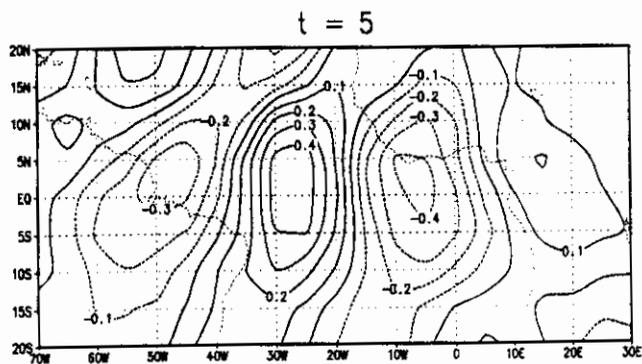
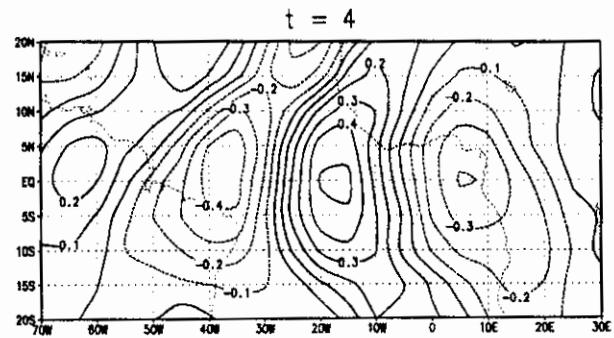
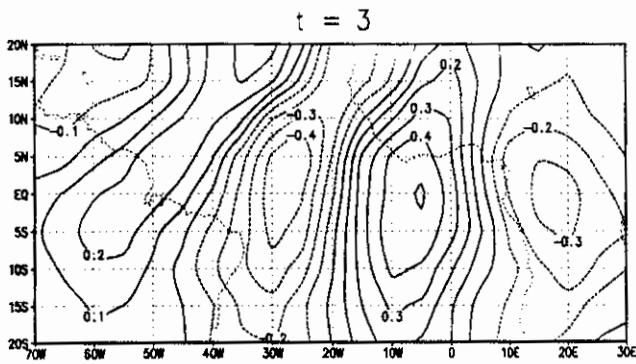
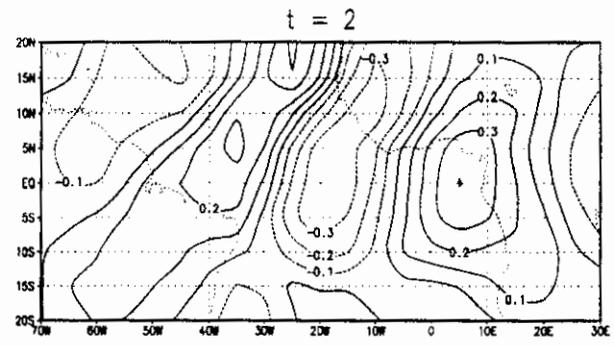
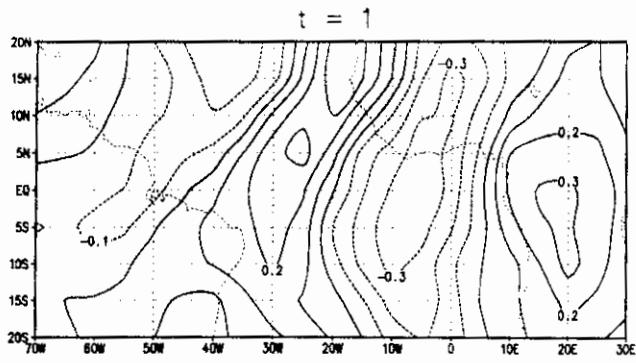


Fig. 4.18d (conclusão)

Em todas as estações do ano e em todos os níveis as configurações estão deslocando-se de leste para oeste. Em todas as estações do ano as configurações mais intensas estão em 850 hPa, sendo que os núcleos alcançam a latitude de 15°N durante MAM e JJA e 15°S durante SON e DJF. Deve-se ter em conta que em 15°S os sistemas podem estar afetados por sistemas das latitudes médias. As frentes polares as vezes atingem 10°S a 15°S, mas deve-se lembrar que estes sistemas são mais frequentes durante JJA do Hemisfério Sul. Portanto, estas análises não são suficientes para discutir o papel dos sistemas de latitudes nos distúrbios tropicais de leste.

Durante SON e DJF as configurações dominantes estendem-se para o sul da área em estudo em particular nos níveis de 850 e 700 hPa. Em MAM e JJA as configurações dominantes localizam-se principalmente no norte de área de estudo. Ao se comparar com o deslocamento dos furacões os resultados aqui encontrados indicam que as oscilações deslocam-se em uma trajetória próxima à dos furacões do Hemisfério Norte. É conhecida a hipótese da relação entre os distúrbios de leste e os furacões (Reed et al., 1988). Em SON quando as configurações dominantes localizam-se no Hemisfério Sul, existe uma estrutura fraca deslocando-se para leste no Hemisfério Norte próxima da trajetória dos furacões. Em MAM e JJA os distúrbios são mais intensos no Hemisfério Norte.

4.5 ANÁLISE DOS DIAGRAMAS HOVMOLLER

Os diagramas Hovmoller das anomalias da componente meridional do vento em 850 hPa foram construídos para a 15°N e 15°S, pois os padrões de EOF e de EEOF durante SON e DJF apresentam núcleos de máximos valores próximos de 15°S e durante MAM e JJA em torno de 15°N. O nível de 850 hPa foi escolhido por apresentar para todas as estações do ano faixas quase meridionais mais intensas. O uso das anomalias não filtradas garante que não há influência do filtro usado.

Alguns diagramas serão apresentados para períodos selecionados nos quais os distúrbios estiveram melhor definidos, e para outros que incluem épocas de ocorrência de 'El Niño', com a finalidade de avaliar a influência destes (aumento da componente zonal do vento) nas oscilações com períodos menores do que 10 dias.

4.5.1 SON

Em 15°N, de 01 de setembro a meados de novembro de 1987 é notável faixas inclinadas de anomalias positivas e negativas indicando a existência de distúrbios deslocando-se para oeste com o tempo (Figura 4.19a). O período destes distúrbios é de 5 dias e a velocidade de fase é de 7 m/s, que é ligeiramente menor do que a obtida pela análise das EEOF.

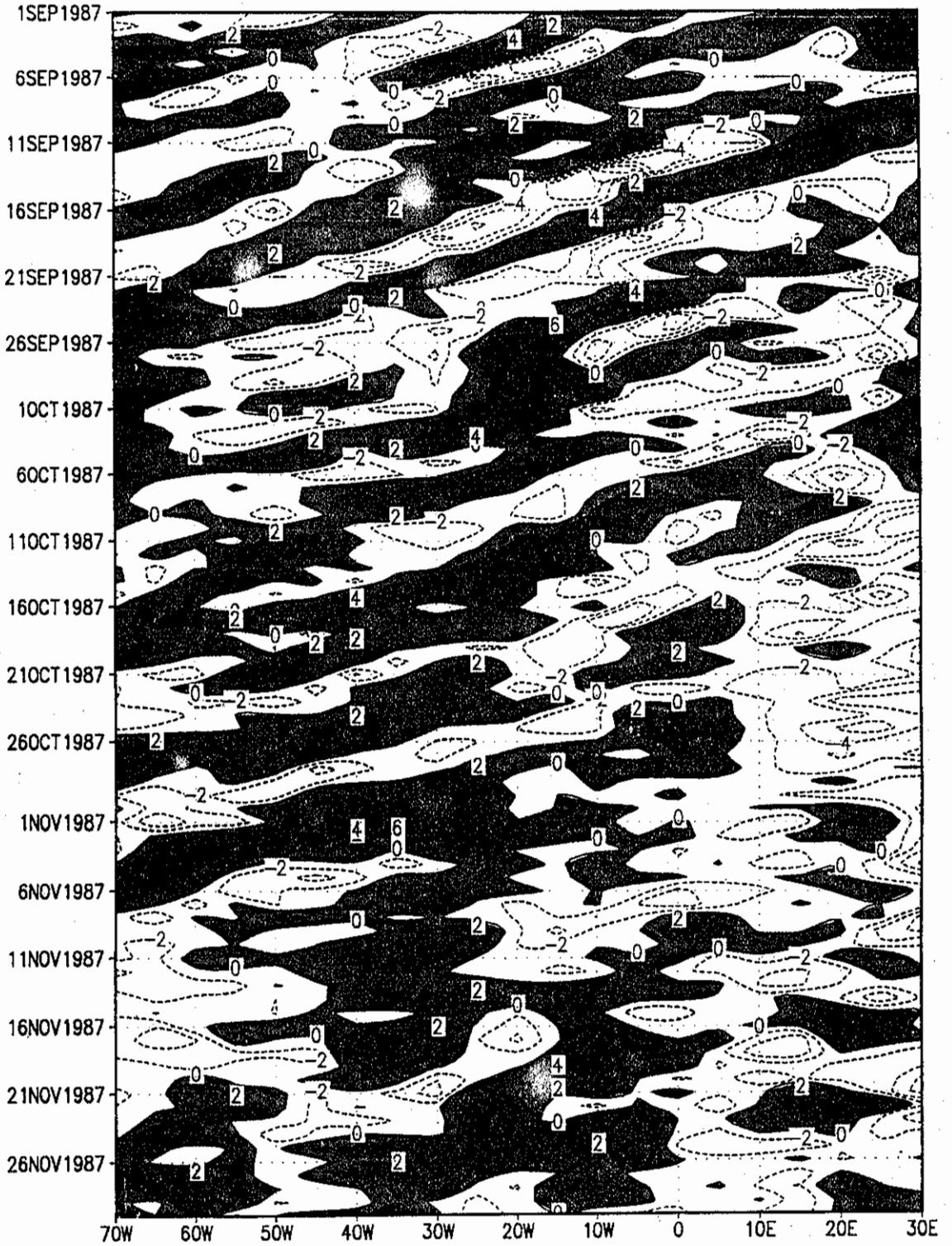


Fig. 4.19-Digramas Hovmoller da anomalia da componente meridional do vento em 850 hPa: (a) em 15°N para SON de 1987 e (b) em 15°S para SON de 1988.

Fig. 4.19a (continua)

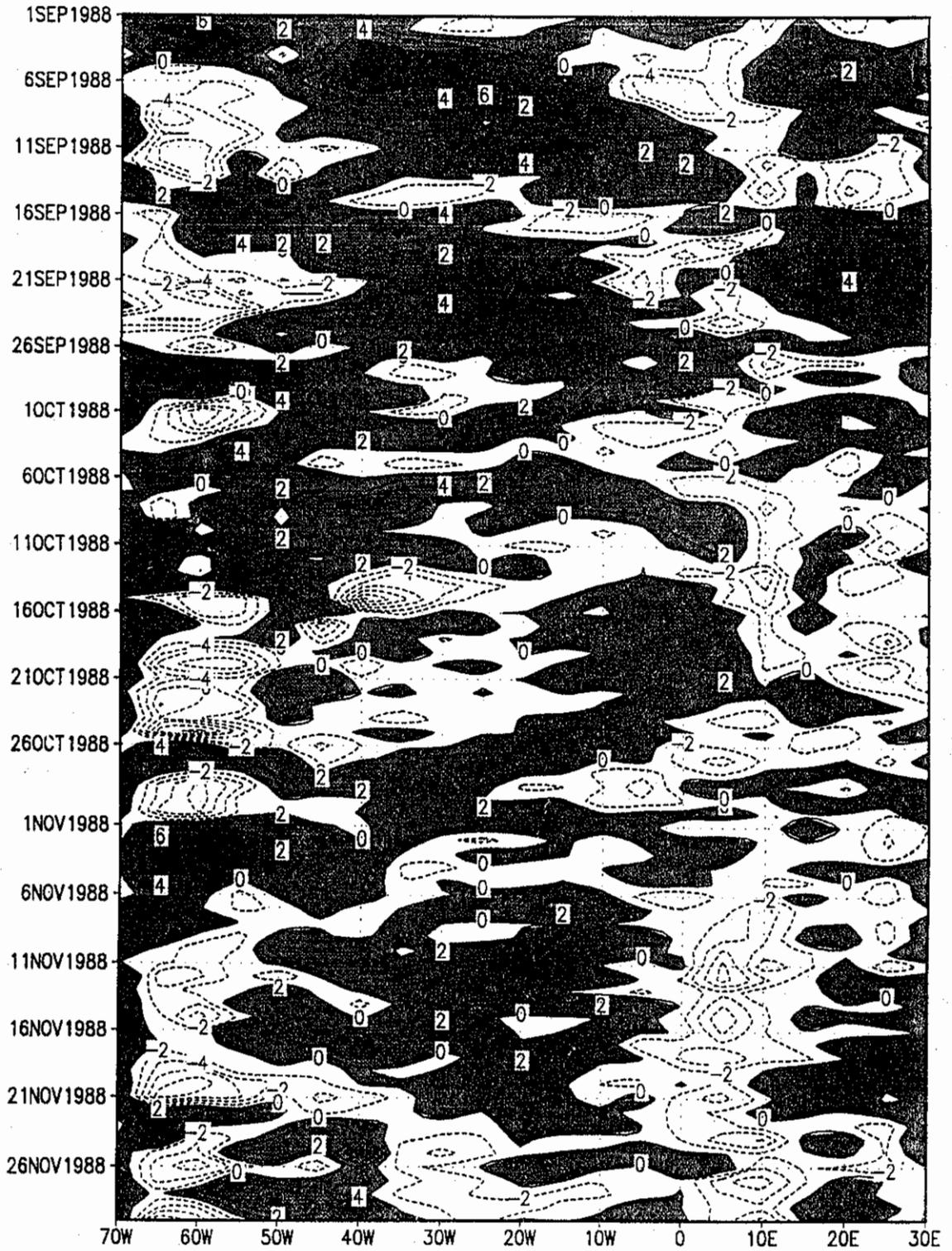


Fig. 4.19b (conclusão)

Em 15°S a configuração é mais desorganizada, mas é aparente a ocorrência de um distúrbio no final de outubro a meados de novembro de 1988 nas longitudes oceânicas (Figura 4.19b).

Em um período de ocorrência de 'El Niño', SON de 1986, em 15°S é notável que não há deslocamento das anomalias (Figura B.1a).

4.5.2 DJF

Em DJF de 1985/86 em 15°N observa-se um padrão desorganizado mas é aparente o deslocamento dos distúrbios para oeste de 01 a 21 de janeiro de 1988 entre aproximadamente 0° e 50°W (Figura 4.20a).

Em 15°S observa-se a existência de faixas inclinadas de anomalias positivas e negativas entre 10°E e 40°W, isto é, até as costas da América do Sul de 26 de janeiro a 1 de março de 1985, indicando distúrbios deslocando-se para (Figura 4.20b). A velocidade de fase estimada é de aproximadamente 10 m/s.

Em um período de ocorrência de 'El Niño', DJF de 1982/83 em 15°S pode-se notar anomalias positivas e negativas alternadas numa mesma banda longitudinal o que indica ausência de deslocamento (Figura B.1b).

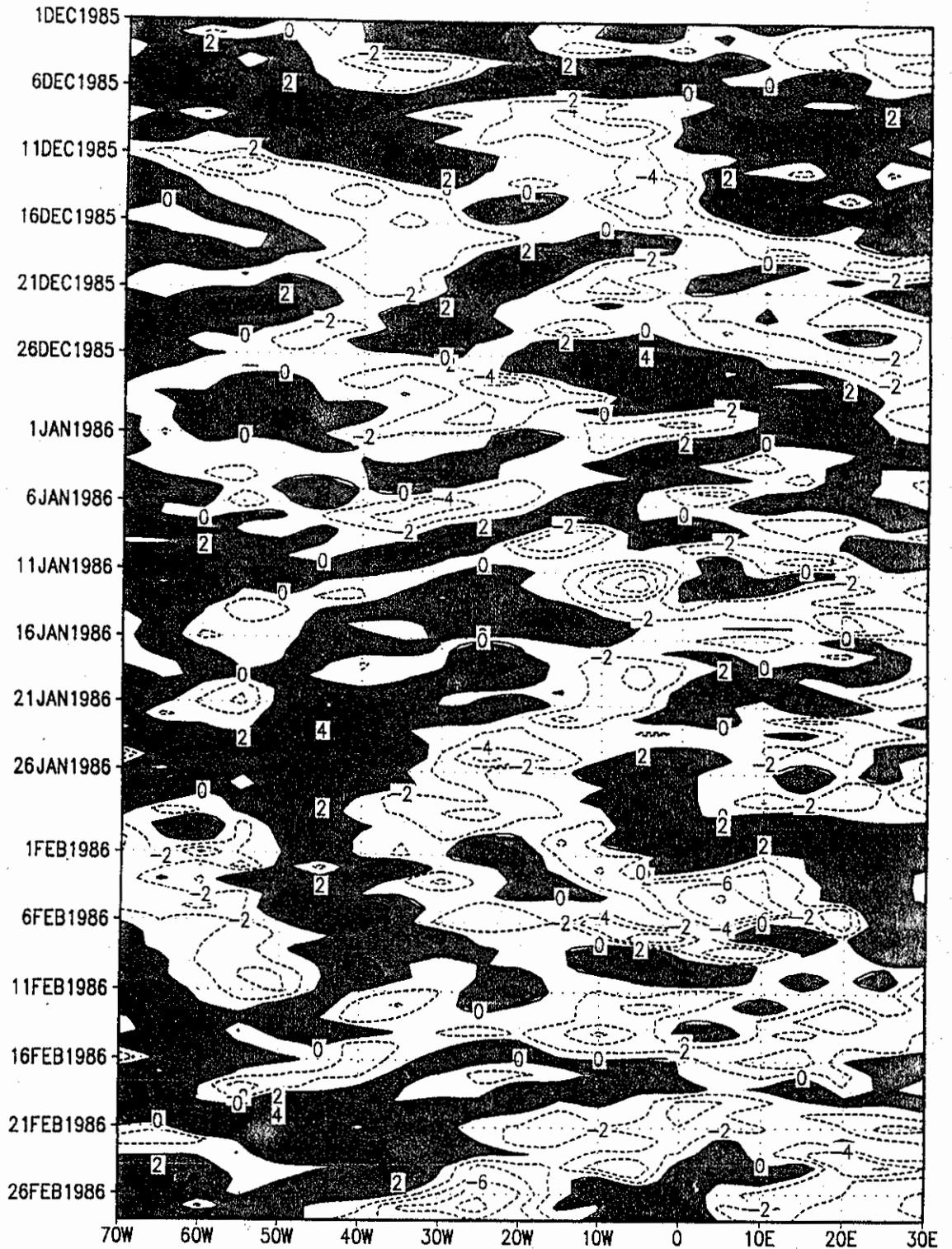


Fig. 4.20-diagramas Hovmoller da anomalia da componente meridional do vento em 850 hPa: (a) em 15°N para DJF de 1985/86 e (b) em 15°S para DJF de 1984/85.

Fig. 4.20a (continua)

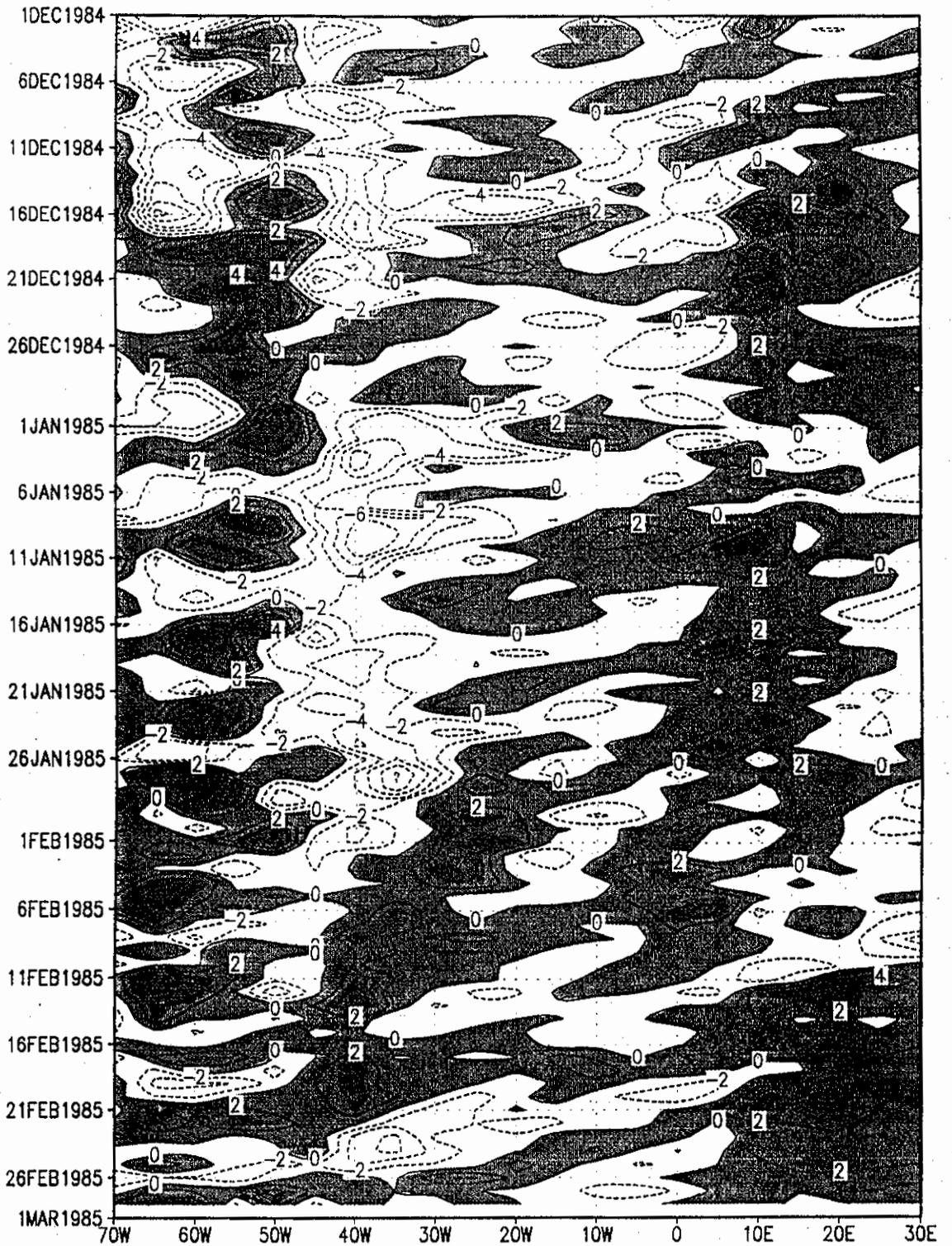


Fig. 4.20b (conclusão)

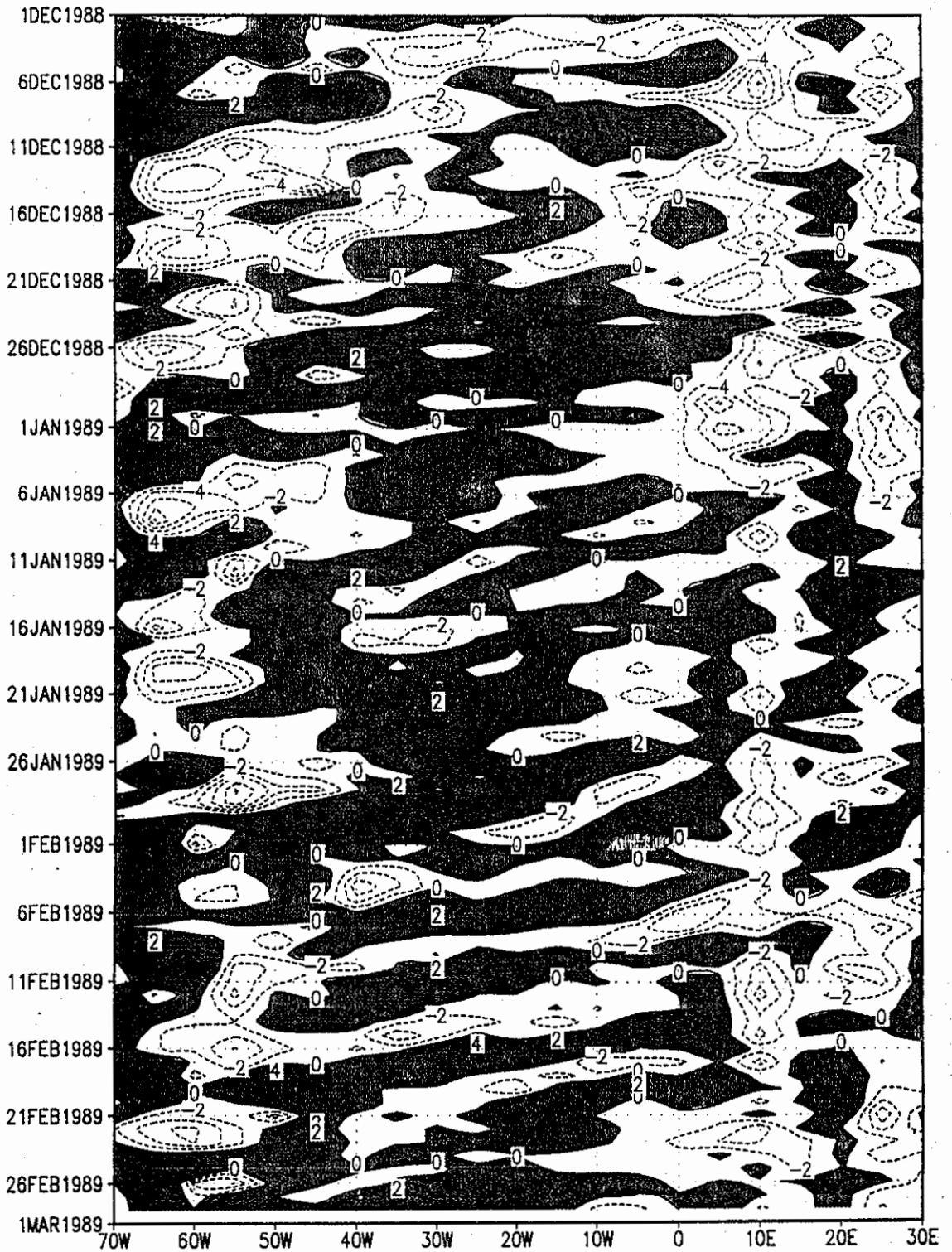


Fig. 4.21-Diagramas Hovmoller da anomalia da componente meridional do vento em 15°S para DJF de 1988/89: (a) 850 hPa, (b) 700 hPa e (c) 500 hPa.

Fig. 4.21a (continua)

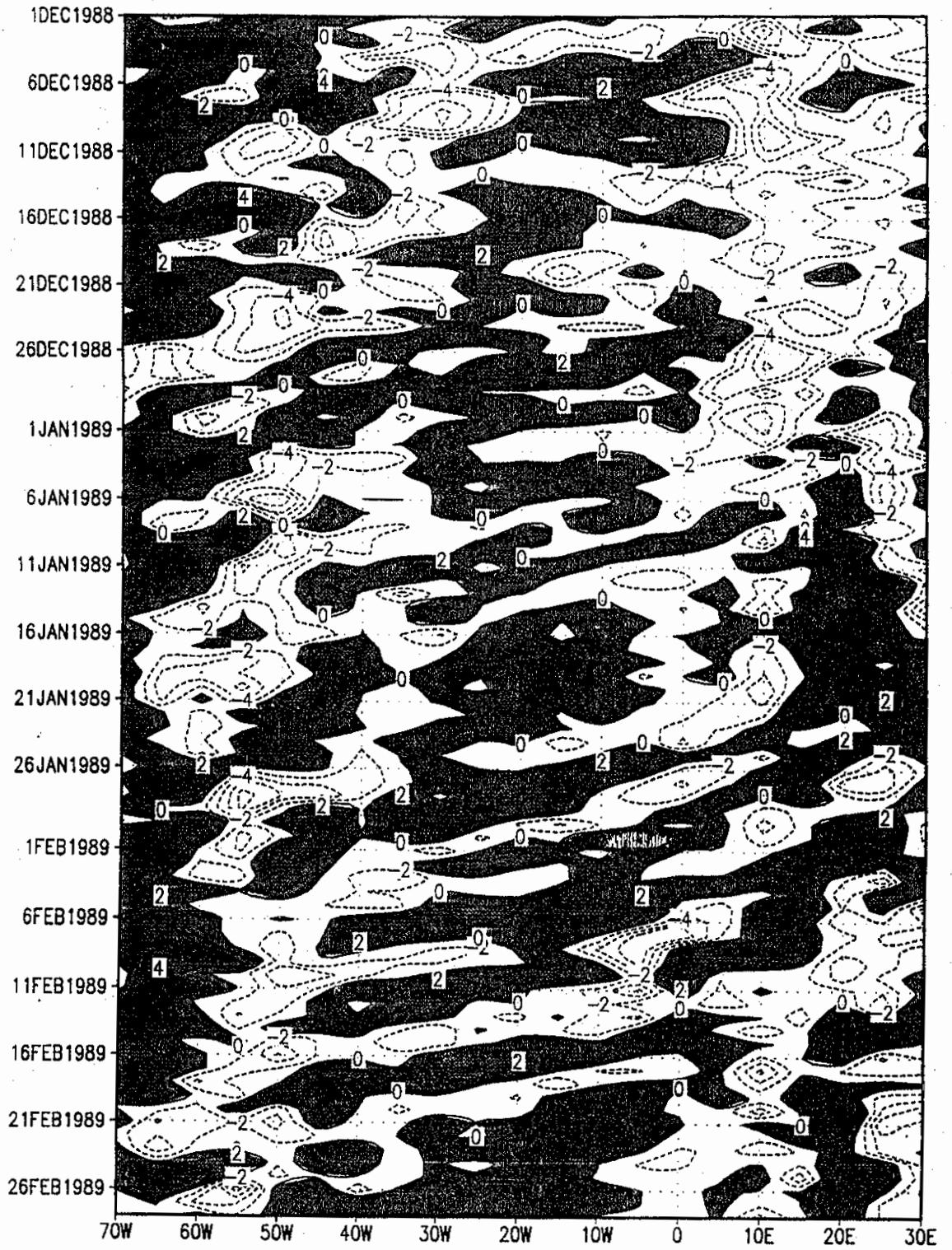


Fig. 4.21b (continua)

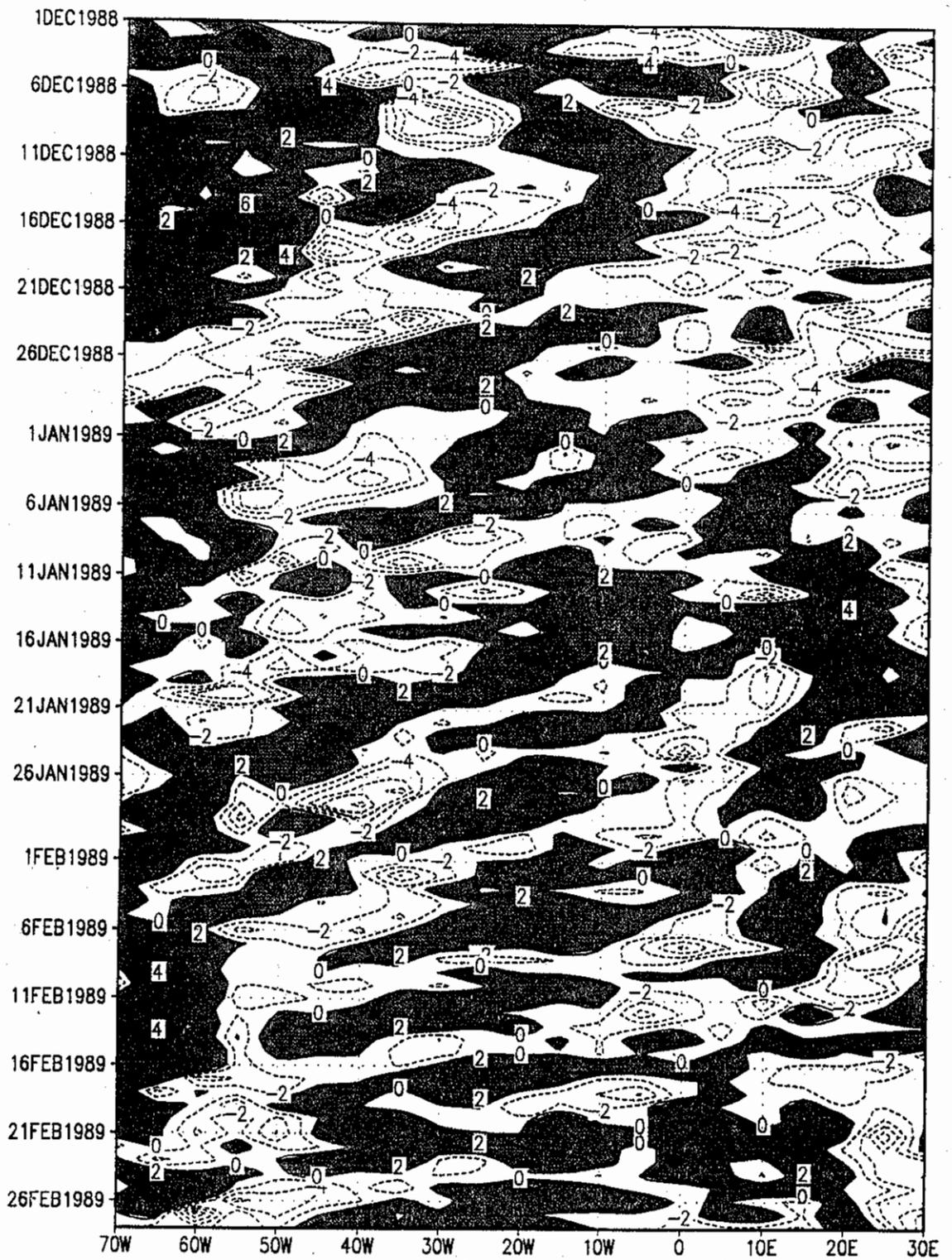


Fig. 4.21c (conclusão)

Como os distúrbios ondulatórios são aparentemente melhor definidos durante DJF em 15°S escolheu-se um caso de distúrbios deslocando-se para oeste em vários níveis (850 hPa até 500 hPa) nesta latitude. Em 850 hPa, existem distúrbios deslocando-se para oeste de 26 de janeiro até 1 março de 1989, principalmente entre 10°E (África) até 50°W (Brasil) (Figura 4.21a). Em 700 hPa os distúrbios estão presentes do 21 de janeiro a 16 de fevereiro de 1989 nas longitudes entre 20°E e 45°W (Figura 4.21b). Em 500 hPa os distúrbios ocorrem no mesmo período e estão localizados na região oceânica (Figura 4.21c). Este caso ilustra claramente a ocorrência de distúrbios de leste no Hemisfério Sul atingindo inclusive a costa do Brasil.

4.5.3 MAM

Em MAM tanto em 15°N como em 15°S é menos evidente a ocorrência de faixas inclinadas. No entanto em 15°N desde meados de abril até final de maio de 1988 é aparente a presença de tais faixas com anomalias positivas e negativas deslocando-se para oeste desde 30°E (África) até 35°W (Atlântico) (Figura 4.22a). Igualmente em 15°S em alguns períodos é aparente a existência de faixas inclinadas de anomalias (Figura 4.22b).

A Figura B.1c ilustra o caso para um ano que foi afetado pela ocorrência do fenômeno 'El Niño' para 15°S. Em todo o período as faixas de anomalias positivas e negativas alternadas estão localizadas numa mesma banda longitudinal indicando que não há deslocamento neste período.

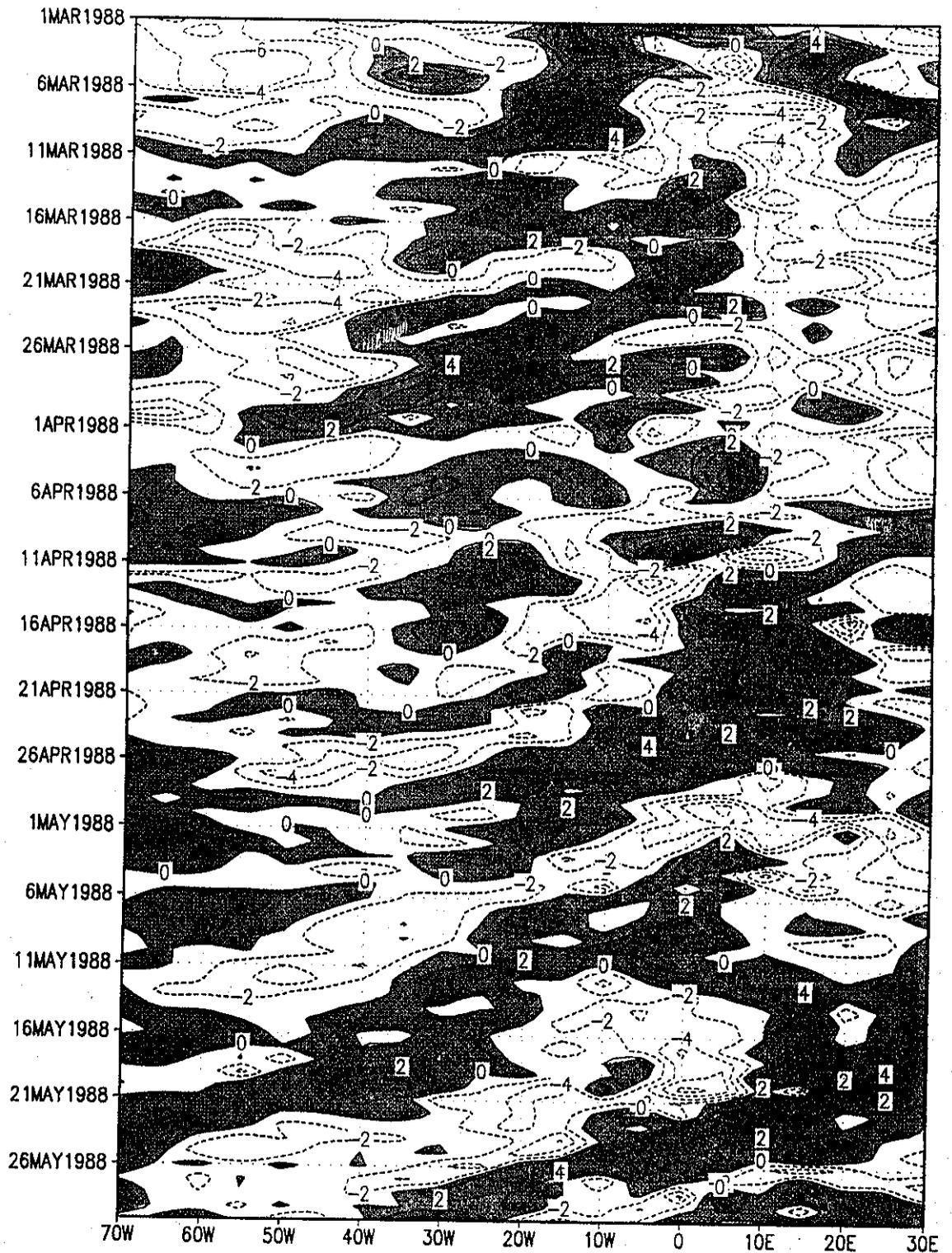


Fig. 4.22-Diagramas Hovmoller da anomalia da componente meridional do vento em 850 hPa: (a) em 15°N para MAM de 1988 e (b) em 15°S para MAM de 1986.

Fig. 4.22a (continua)

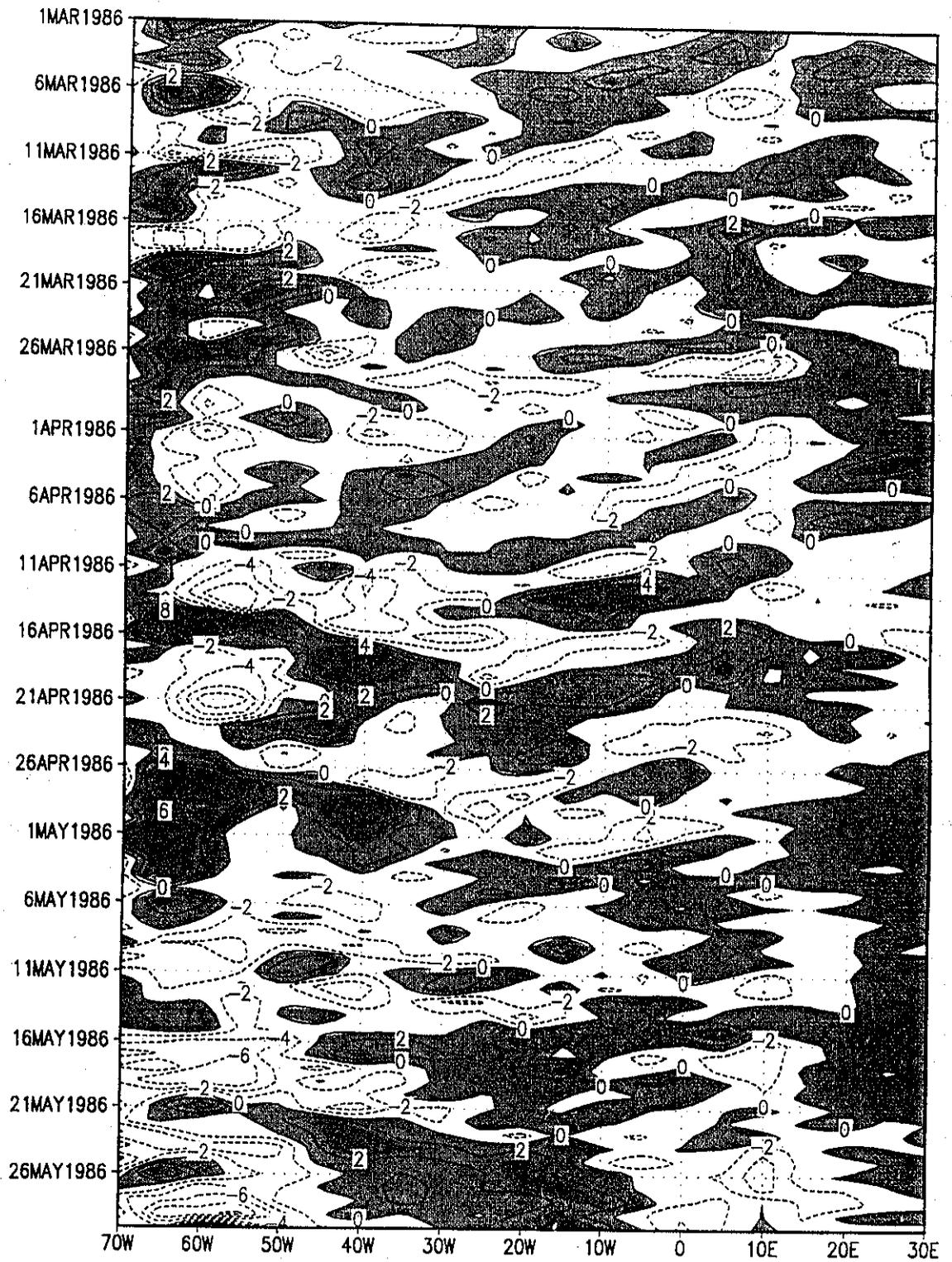


Fig. 4.22b (conclusão)

4.5.4 JJA

Em 15°N durante o período selecionado ocorre uma distribuição bem definida de faixas inclinadas de anomalias positivas e negativas indicando a existência de distúrbios deslocando-se para oeste. Estes distúrbios estão localizados principalmente desde 20°E até 70°W (Figura 4.23a), a velocidade de fase aproximada é de 11,6 m/s que é próximo ao valor encontrado nas análises de EEOF. Em 15°S , o padrão de faixas inclinadas não é aparente (Figura 4.23b).

A Figura B.1d ilustra o caso de um ano em que as amplitudes na análise de EOF foram extremas (ocorrência de 'El Niño'). Neste período o padrão não se desloca com o tempo.

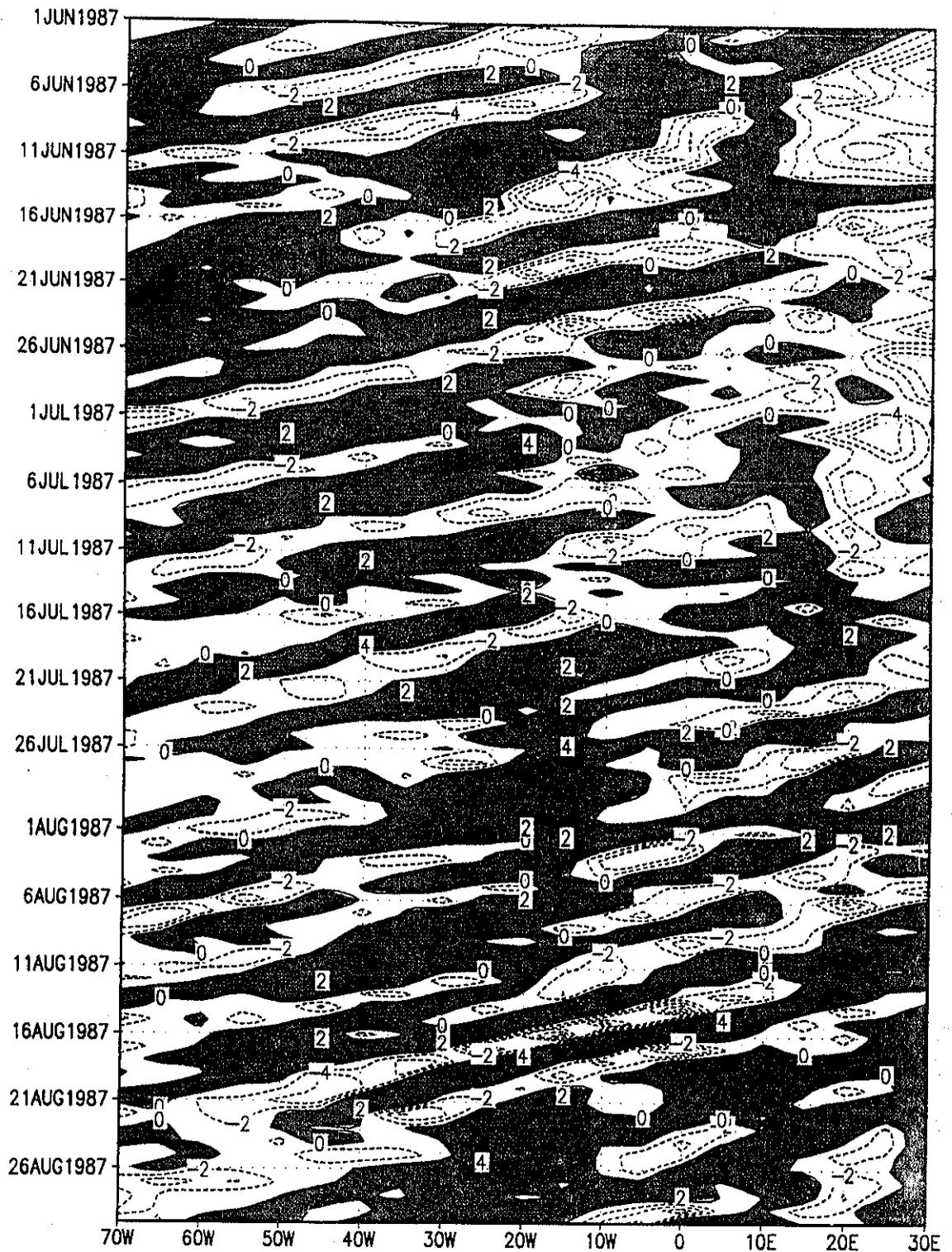


Fig. 4.23-Diagramas Hovmoller da anomalia da componente meridional do vento em 850 hPa: (a) em 15°N para JJA de 1987 e (b) em 15°S para JJA de 1980

Fig. 4.23a (continua)

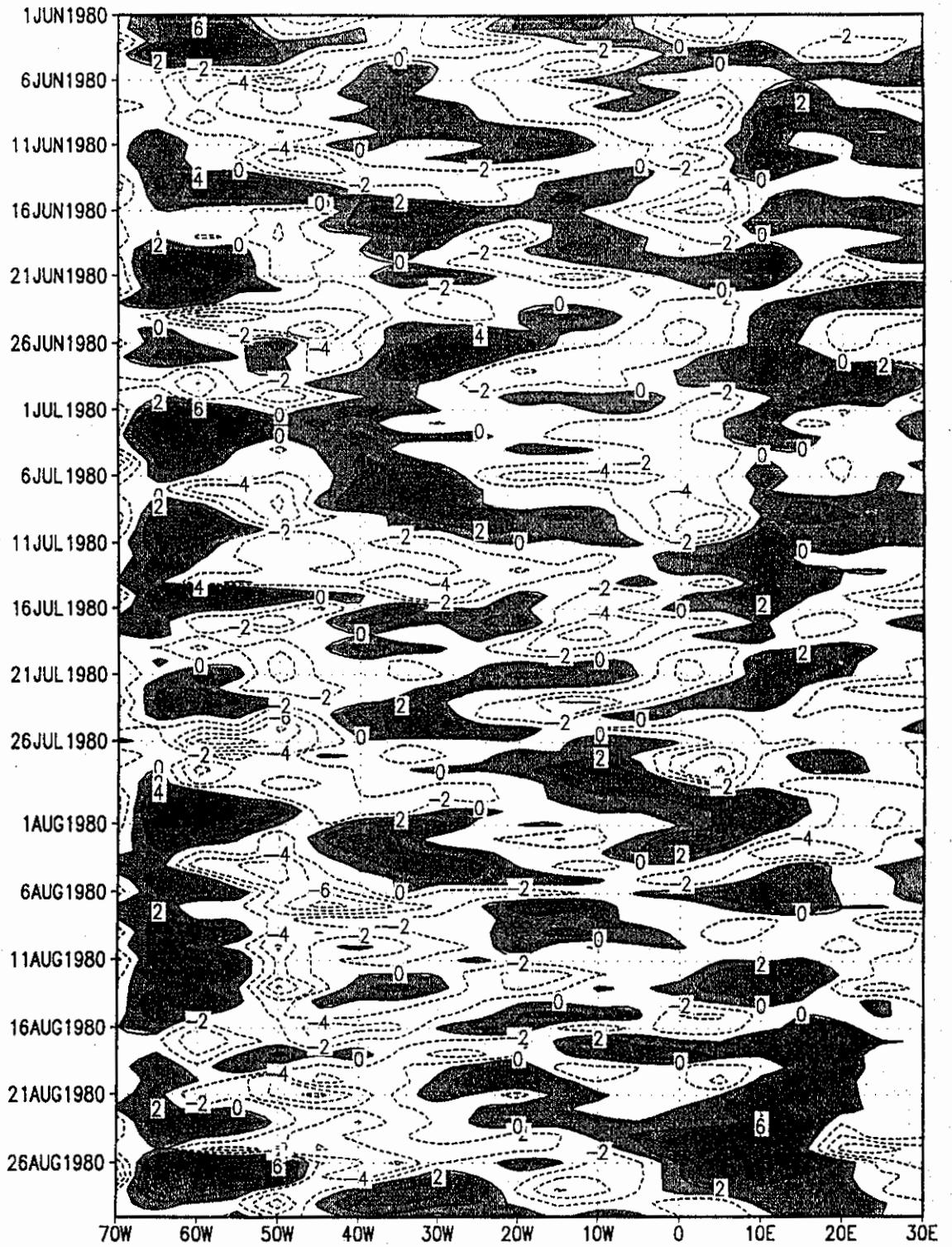


Fig. 4.23b (conclusão)

CAPITULO V

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 CONCLUSÕES

Os distúrbios nos ventos de leste no Atlântico Tropical foram estudados aplicando-se as técnicas de EOF e EEOF na componente meridional do vento, em vários níveis de pressão, para as quatro estações do ano e considerando 10 anos de dados. As análises indicam a presença dos distúrbios ondulatórios no Atlântico Tropical Norte e Sul que se deslocam para oeste, durante todo o ano mas com características sazonais diferentes. Em geral, durante DJF estes distúrbios são mais intensos no Hemisfério Sul, enquanto durante JJA eles são predominantes no Hemisfério Norte, mais intensos e melhor definidos.

Os distúrbios de SON apresentam o comprimento de onda de 4000 Km a 5000 Km e a velocidade de fase de 9 m/s a 15 m/s, com a menor velocidade em 700 hPa e a maior em 500 hPa. Estes distúrbios são mais intensos em 850 hPa e 700 hPa, e se deslocam desde a África até a costa norte do continente sul americano.

Os distúrbios em DJF têm comprimento de onda de 6000 Km a 7000 Km, e velocidade de fase de 10 m/s a 14 m/s, com as menores velocidades de fase e comprimento de onda em

500 hPa. Nesta estação o deslocamento é tal que os núcleos principais atingem áreas da América do Sul.

Os distúrbios em MAM têm comprimento de onda de 5000 Km a 6000 Km e a velocidade de fase de 10 m/s a 13 m/s, com as menores velocidades em 1000 hPa e 850 hPa.

Os distúrbios em JJA apresentam os comprimentos de onda mais curtos variando de 3500 Km a 4000 Km, velocidade de fase de 10 m/s e 13 m/s, com a máxima velocidade em 500 hPa. O deslocamento é de leste para noroeste coincidente com a trajetória dos furacões.

Os padrões resultantes com a inclusão de todos os anos em todos os níveis têm uma escala horizontal consideravelmente maior do que os obtidos excluindo os períodos de amplitudes extremas. Isso ocorre em todas as estações do ano e nos quatro níveis de pressão, exceto em JJA, quando isso é observado somente nos baixos níveis. A maioria dos períodos de amplitudes máximas coincidem com períodos de 'El Niño'. Portanto, uma possível explicação é que na presença de 'El Niño' a componente zonal do vento em baixos níveis aumenta e persiste nas áreas equatoriais do Pacífico e Atlântico (Kidson, 1975; Kousky et al. 1984). Assim, predominam os distúrbios de maior escala horizontal. No entanto, isso deve ser considerado com cautela pois no período estudado ocorreram poucos 'El Niño' e amplitudes máximas ocorreram em alguns períodos em que não ocorreu 'El Niño'.

No estudo de Chan (1990) os distúrbios para JJA têm comprimento de onda de 6200 Km e velocidade de fase de 12 m/s, enquanto neste trabalho para JJA o comprimento de

onda encontrado foi de 3500 Km a 4000 Km e velocidade de fase de 10 m/s a 13 m/s. Para MAM Chan (1990) encontrou o comprimento de onda de 4800 Km e velocidade de fase de 11 m/s, estes resultados são próximos aos encontrados neste trabalho onde o comprimento de onda foi de 5000 Km a 6000 Km e velocidade de fase de 10 m/s a 13 m/s. A diferença dos resultados podem ser devido ao período de estudo e os níveis de pressão analisados.

Com relação à inclinação horizontal dos distúrbios, durante SON e DJF é de sudeste para noroeste o que implica transporte de momentum para o sul, e durante MAM e JJA é de sudoeste para nordeste o que implica transporte de momentum para o norte. O resultado para JJA discorda do de Neiva (1975) que encontrou a inclinação horizontal dos distúrbios de noroeste para sudeste neste período.

A inclinação vertical dos distúrbios, durante SON e DJF é ligeiramente para leste, enquanto que durante MAM e JJA é para leste desde 1000 hPa até 700 hPa e para oeste de 700 hPa até 500 hPa. Riehl (1945) e Neiva (1975) encontraram a inclinação vertical dos distúrbios para leste com a altura, enquanto neste trabalho pela utilização de quatro níveis de pressão tem-se a inclinação vertical dos distúrbios melhor diferenciada por níveis e por estações do ano.

Os distúrbios de leste poderiam influir nos processos convectivos que ocasionam precipitação como sugerido por Hall (1989). Ele encontrou uma relação entre

os distúrbios de leste e a precipitação no Atlântico Sul (Ilha de Ascensão) nos meses de março e abril. Yamazaki (1975) observou que os distúrbios de leste poderiam estar relacionados a precipitação no inverno na região norte-nordeste do Brasil. No presente trabalho foram encontrados durante DJF sinais dos distúrbios no Hemisfério Sul e durante JJA sinais fracos na área do Brasil e fortes no Hemisfério Norte.

Este aparente contraste entre os resultados anteriores e os apresentados neste trabalho deve ser melhor investigado. Levando em consideração outras fontes de dados, por exemplo precipitação.

Vale lembrar, que os dados utilizados são análises do modelo, o qual sofreu alterações ao longo dos anos. A maior modificação ocorreu em maio de 1985 quando a resolução do modelo foi aumentada para T106 (triangular T106), que afetou principalmente os campos de umidade e divergência do vento ao sul de 20°S (Hoskins et al., 1989).

5.2 SUGESTÕES

Em continuação a este trabalho seguem algumas sugestões:

- a) Estender o trabalho a outros parâmetros, tal como a componente zonal de vento que parece ser importante para melhor avaliar o efeito 'El Niño' nos distúrbios de menor escala.

- b) Estender a área de estudo para norte para investigar a relação entre os distúrbios estudados e furacões.
- c) Na disponibilidade de dados de precipitação no norte-nordeste do Brasil, investigar a relação dos padrões encontrados e as variações na precipitação.
- d) Proceder a um estudo mais detalhado para os distúrbios encontrados para o Hemisfério Sul, em particular para DJF para investigar o papel destes no tempo das regiões Nordeste e Norte do Brasil.
- e) Repetir as análises usando outras fontes de dados, por exemplo as reanálises do National Centers for Environmental Prediction (NCEP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albignat, J.P. Reed, R.J. The origin of African wave disturbances during phase III of GATE. *Monthly Weather Review*, 108(11): 1827-1839, Nov. 1980.
- Burpee, R.W. The origin and structure of easterly waves in the lower troposphere of North Africa. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 29(1): 77-90, Jan. 1972.
- Chan S. C. *Análise de distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico equatorial Sul*; (Dissertação de Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1990. (INPE-5222-TDL/437).
- Chang, C.P. Westward propagating cloud patterns on the tropical Pacific as seen from time-composite satellite photographs. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 27(1): 133-138, Jan. 1970.
- Duchon, C. E. Lanczos filtering in one and two dimensions. *Journal of Applied Meteorology*, 18(8):1016-1022, Aug.1979.
- Dunn G.E. Cyclogenesis in the Tropical Atlantic. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 21(6): 215-229, June 1940.
- Hall, B.A. Westward-moving disturbances in the South Atlantic coinciding with heavy rainfall events at Ascension Island. *Meteorological Magazine*, 118(1405): 175-181, Aug.1989.

- Hardy, D. M. and Walton, J. J. Principal components analysis of vector wind measurements. *Journal of Applied Meteorology*, 17(8): 1153-1162, Aug.1978.
- Hastenrath, S.; Lamb, P.J. Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans. The University of Wisconsin Madison Press. Wi. 1977.
- Hoskins, B.J.;Hsu, H.H.;James, I.N.;Masutani, M;White G.H.; Sardeshmukh,P.D.*Diagnostics of the Global Atmospheric Circulation. based on ECMWF analyses 1979-1989.* World Climate Programme, 1989 (WCRP-27, WMO/TD-Nro 326).
- Kayano, M.T. *Um estudo Climatológico e Sinótico Utilizando Dados e Radissonagem (1968 - 1976) de Manaus e Belém.* (Dissertação de Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1979. (INPE 1559 - TDL/013).
- Kidson, J.W. Tropical eigenvector analysis and the Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 103(2): 187-196, Feb. 1975.
- Kousky, V.E., Kagano, M. T.; Cavalcanti, I. F.A. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, 36A(5): 490-504, Oct.1984.
- Kutzbach, J.E. Empirical eigenvectors os sea-level, pressure, surface temperature and precipitation Complexes over North America. *Journal of Applied Meteorology*, 6(5):791-802, Oct.1967

- Lamb, P.J. Case studies of Tropical Atlantic surface circulation patterns during recent subsaharan weather anomalies 1967 and 1968. *Monthly Weather Review*, 106(4): 482-491, Apr.1978.
- Liebmann, B.; Hendon, H. Synoptic-scale disturbances near the equator. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 47(12): 1463 - 1479, June 1990.
- Lobo, P.R.V. Um Estudo Climatológico da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua Influência sobre o Nordeste do Brasil. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1982 (INPE-2534-TDL/101).
- Merrit, E.S. Easterly waves and perturbation, a reappraisal. *Journal of Applied Meteorology*, 3(4):367-382 Aug. 1964.
- Neiva, E.J.F. *An Investigation of Wave-type Disturbances over the Tropical South-Atlantic*. (Tese de Mestrado em Meteorologia) - Naval Post Graduate School, 1975.
- Norquist, D.; Recker, E.E.; Reed, R.J. The energetics of African wave disturbances as observed during phase III of GATE. *Monthly Weather Review*, 105(4):334-342, March 1977.
- North, G.R.; Bell T.; Modeng, F.; Cahalan R.F. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions *Monthly Weather Review*, 110(7):699-706, July 1982
- Pasch, R.J.; Avila L.A., Atlantic tropical systems of 1992. *Monthly Weather Review*, 122(3): 539-548, March 1994.

- Rao, G. V. Preliminary estimates of energy conversion in a weak disturbance in the easterlies. *Journal of Applied Meteorology*, 9(1):3-12, Feb.1970.
- Reed, R.J.D.C.; Norquist, D.; Recker, E.E. The structure and properties of African wave disturbances as observed during phase III of GATE. *Monthly Weather Review* 103(3):317-333, March.1977.
- Reed, R.J.; Hollingsworth, A.; Heckley, W.A.; Delsol, F. An evaluation of the performance of the ECMWF operating analyzing and forecasting easterly wave disturbances over Africa and the Tropical Atlantic. *Monthly Weather Review* 116(3):824-865, Apr. 1988.
- Reiter, E. R. The interannual variability of the ocean-atmosphere systems. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 35(3):349-370, March 1978.
- Rennick, M.A. The generation of African Waves. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 33(10):1955-1969, Oct.1976
- Riehl, H. *Waves in the Easterlies and the Polar Front in the Tropics*. Chicago, Chicago University, Dpt. of Meteorology, 1945. 79p.
- Riehl, H. *Climate Weather in the Tropics*. New York, Academic Press. 1979, 35p.
- Simpson, R.H.; Frank, N.; Shideler, D.; Johnson, H.M. The Atlantic hurricane season of 1967. *Monthly Weather Review*, 96(3):251-259, March 1968.

- Sneyers, R.; Goossens, .C. *The principal Components Analysis Application to Climatology and to Meteorology*. Bruxelles, WMO, 1988.
- Tai, K.S.; Ogura, Y. An observational study of easterly waves over the Eastern Pacific in the northern summer using FGGE data. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 44(2):339-361, Jan. 1987.
- Wallace, J.M.; Chang, L.A. On the applications of satellite data on cloud brigtness to study tropical wave disturbances. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 29(10):1400-1403, Oct. 1972.
- Wallace, J.M.; Chang, C.P. Spectrum analysis of large scale wave disturbances on the tropical lower troposphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 26(5):1010-1025, Sept. 1969.
- Weare, B. C.; Nasstrom, J. S. Examples of extended empirical orthogonal function analyses. *Monthly Weather Review*, 110(6):481-485, June 1982.
- Yamazaki, Y. *Estudos Teóricos e Sinóticos dos Distúrbios Tropicais*. São José dos Campos, INPE, 1975.
(INPE - 624 - LAFE).
- Yamazaki, Y.; Rao, V.B. Tropical cloudiness over South Atlantic Ocean. *Journal of the Meteorological Society of Japan* 55(2):204-207, Apr. 1977.

Yanai, M.; Maruyama, T.; Nitta, T.; Hayashi, Y. Power spectra of large scale disturbances over the Tropical Pacific. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 46(4):308-323, Aug. 1968.

APÉNDICE A

**CAMPOS MÉDIOS DA COMPONENTE MERIDIONAL DO VENTO
PARA ALGUNS ANOS**

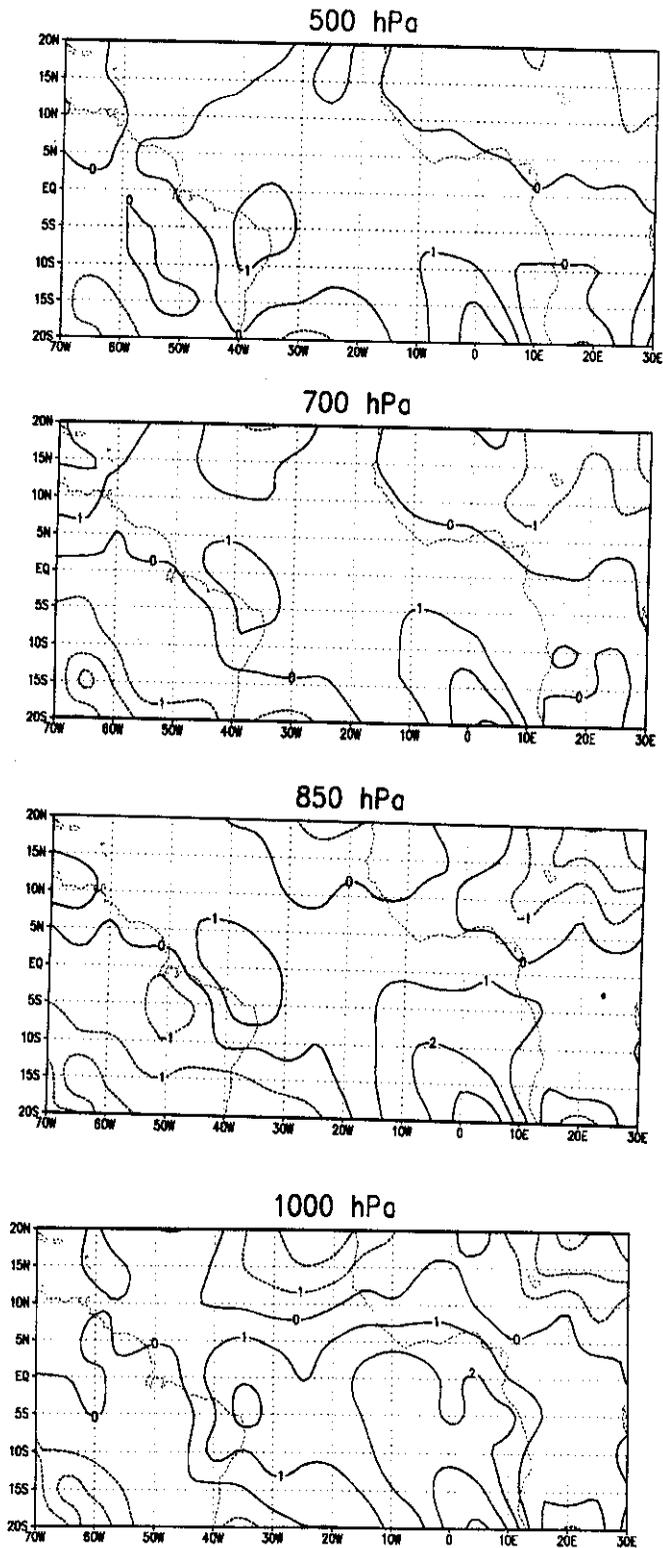
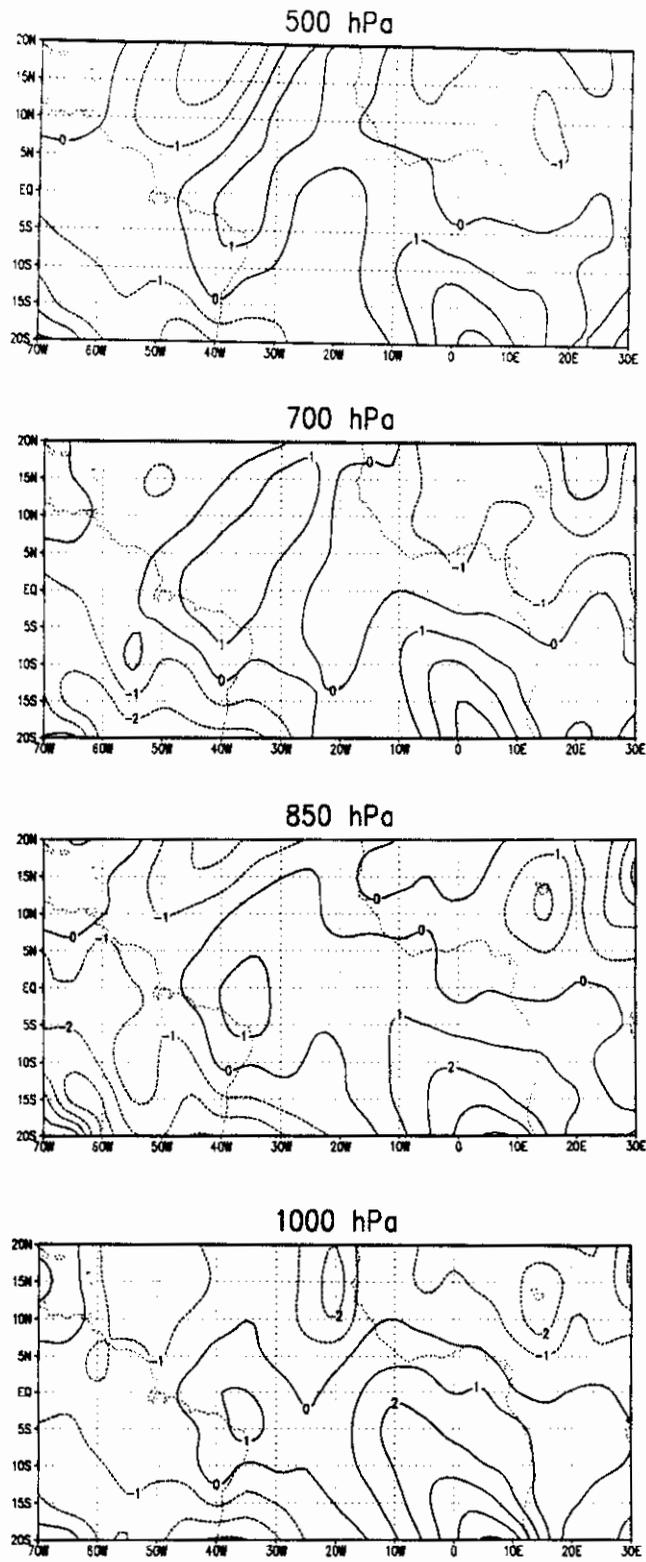
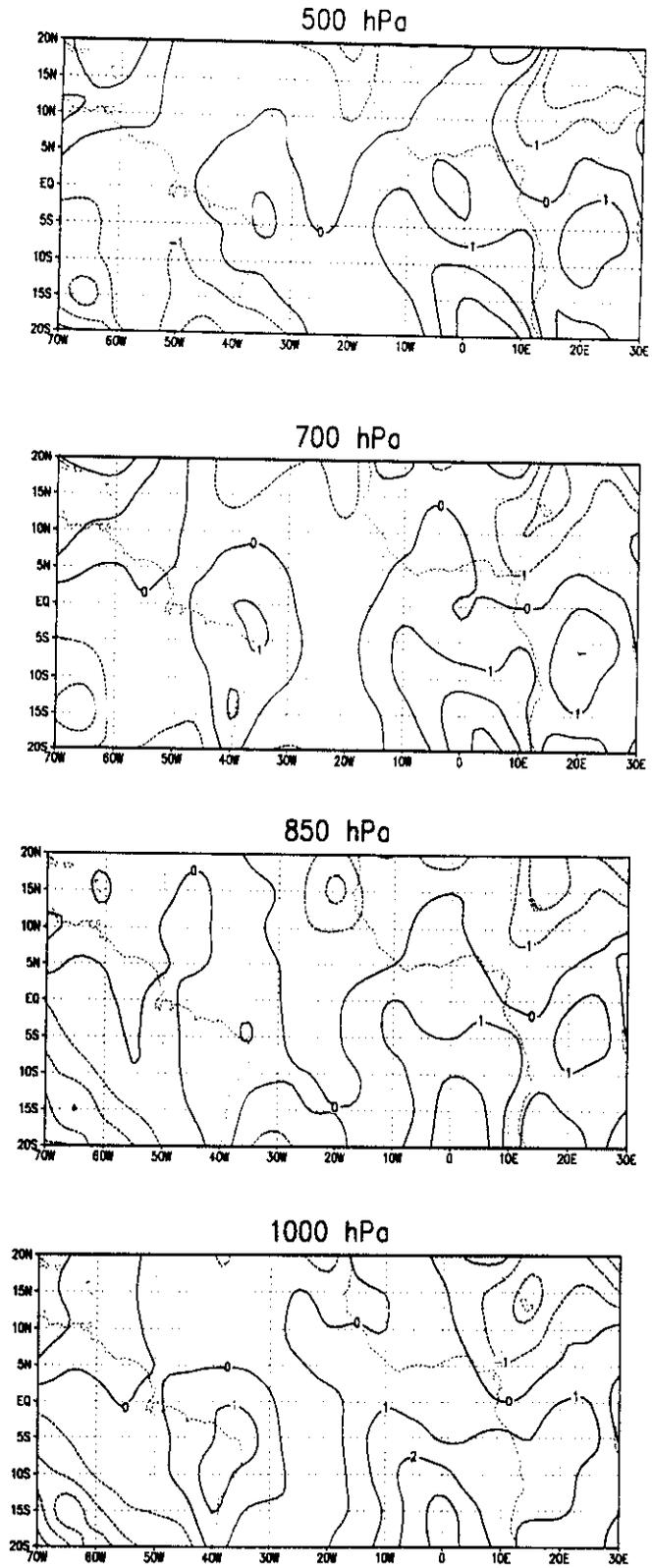


Fig. A.1-Campo médio da componente meridional do vento para (a) primaveras de 1982, 1986 e 1989, (b) verões de 1980/81, 1982/83 e 1986/87, (c) outonos de 1981 e 1983 e (d) invernos de 1981, 1986 e 1989.

Fig. A.1a (continua)

**Fig. A.1b (continua)**

**Fig.A.1c** (continua)

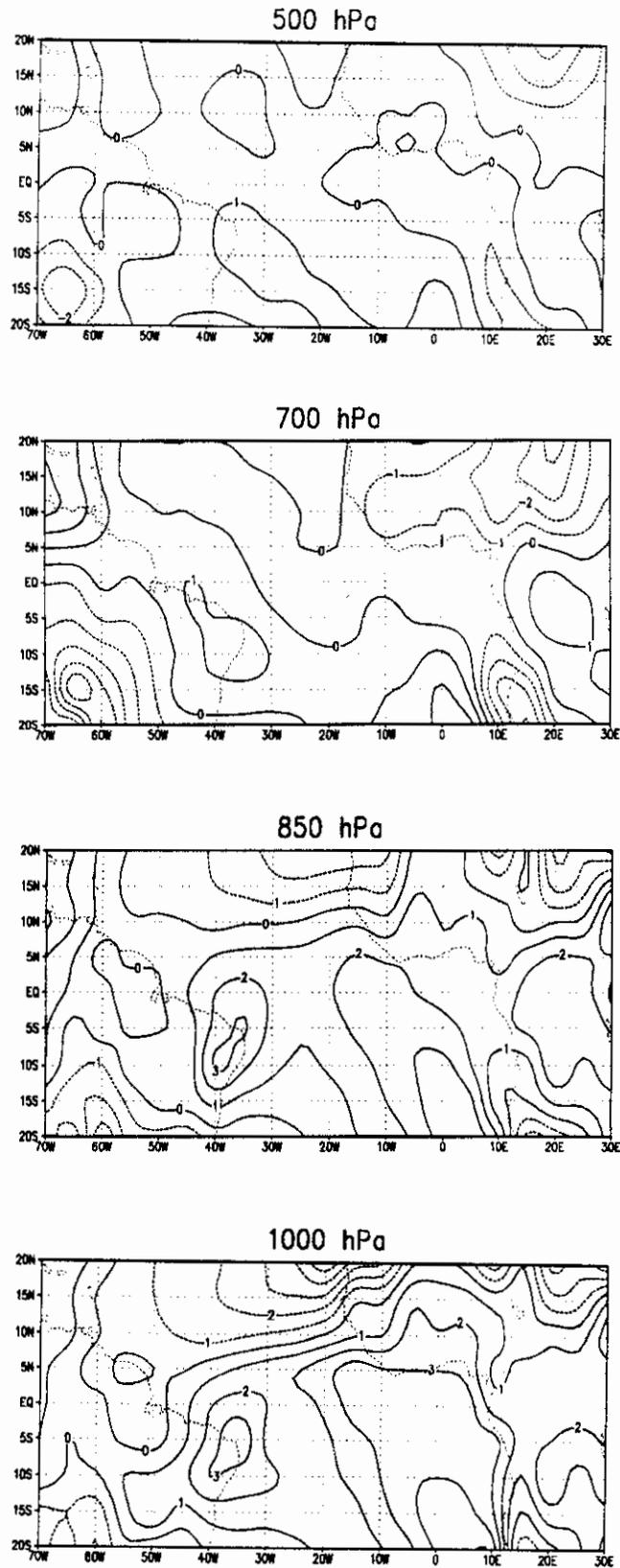


Fig. A.1d (conclusão)

APÉNDICE B

DIAGRAMAS HOVMOLLER

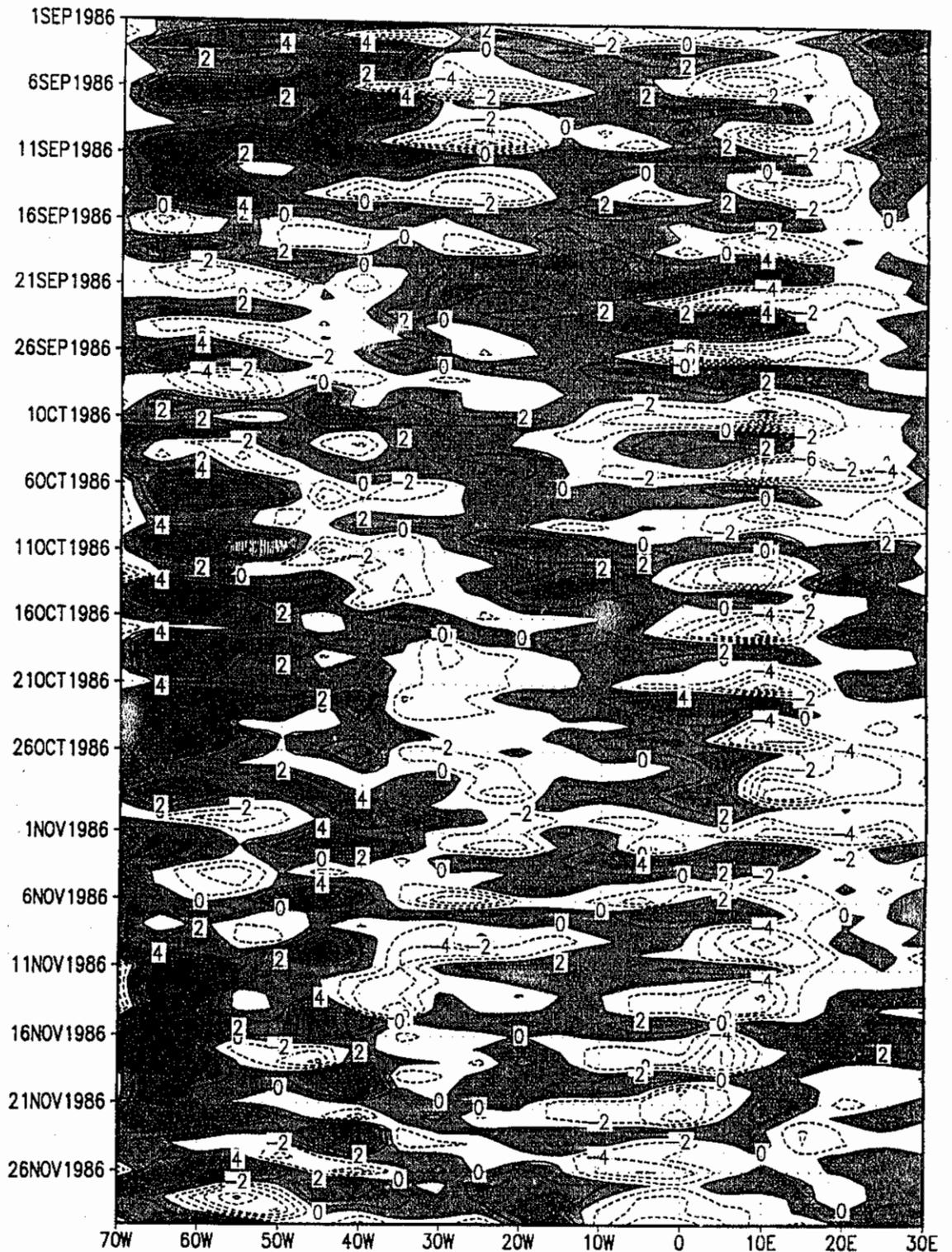


Fig. B.1-Diagramas Hovmoller da anomalia da componente meridional do vento em 850 hPa em 15°S para: (a) SON de 1986, (b) DJF de 1982/83, (c) MAM de 1981 e (d) JJA de 1986.

Fig. B.1a (continua)

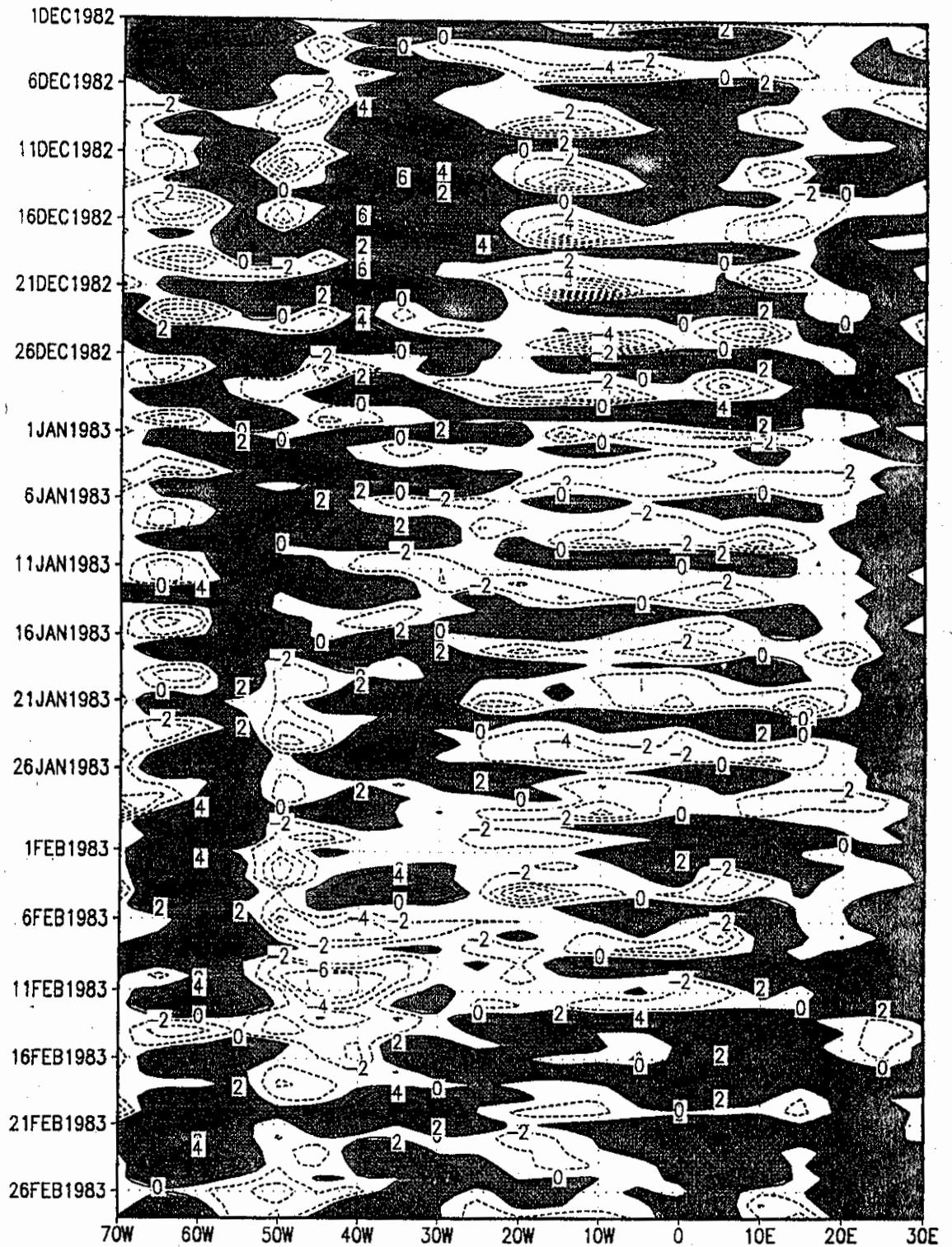


Fig. B.1b (continua)

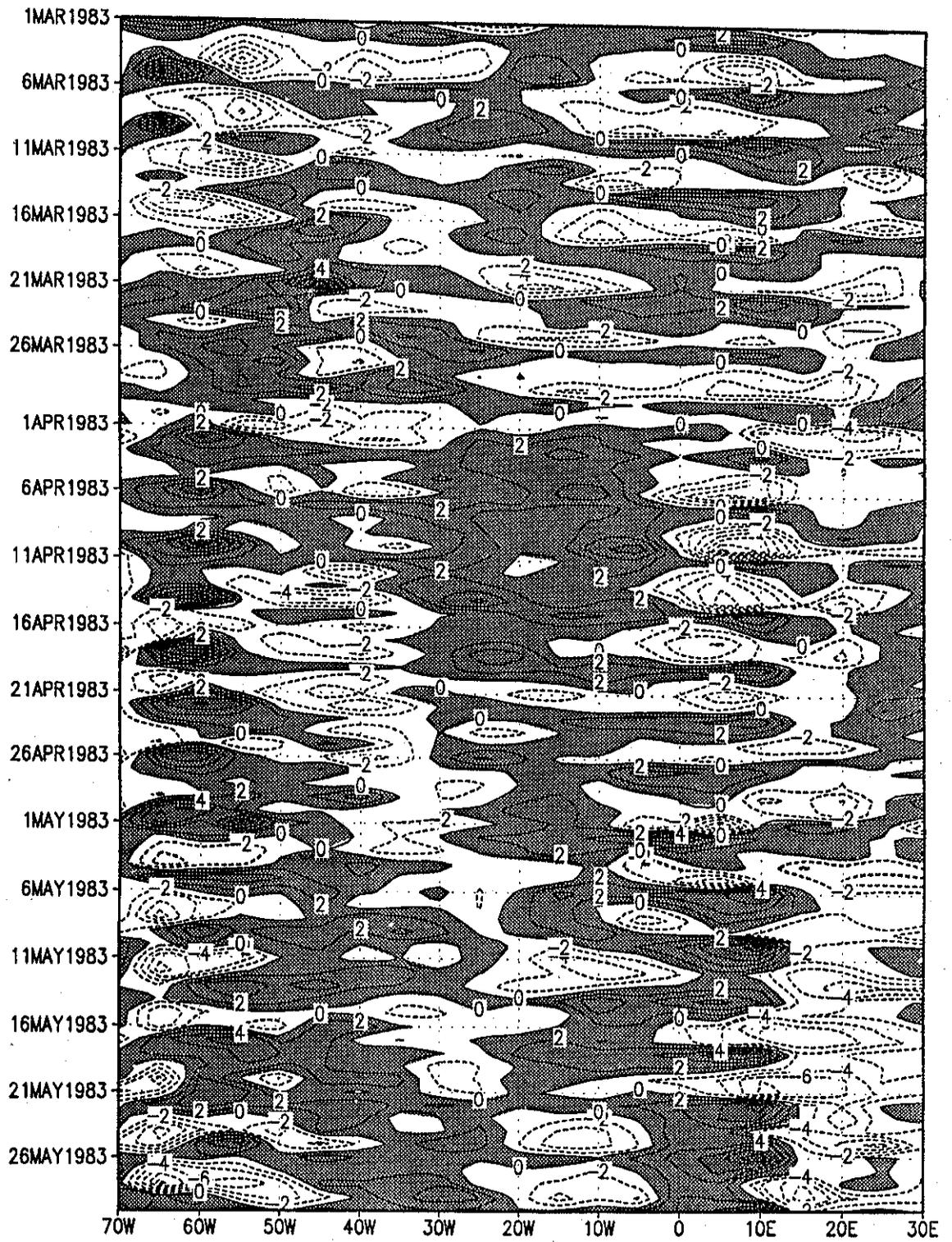


Fig. B.1c (continua)

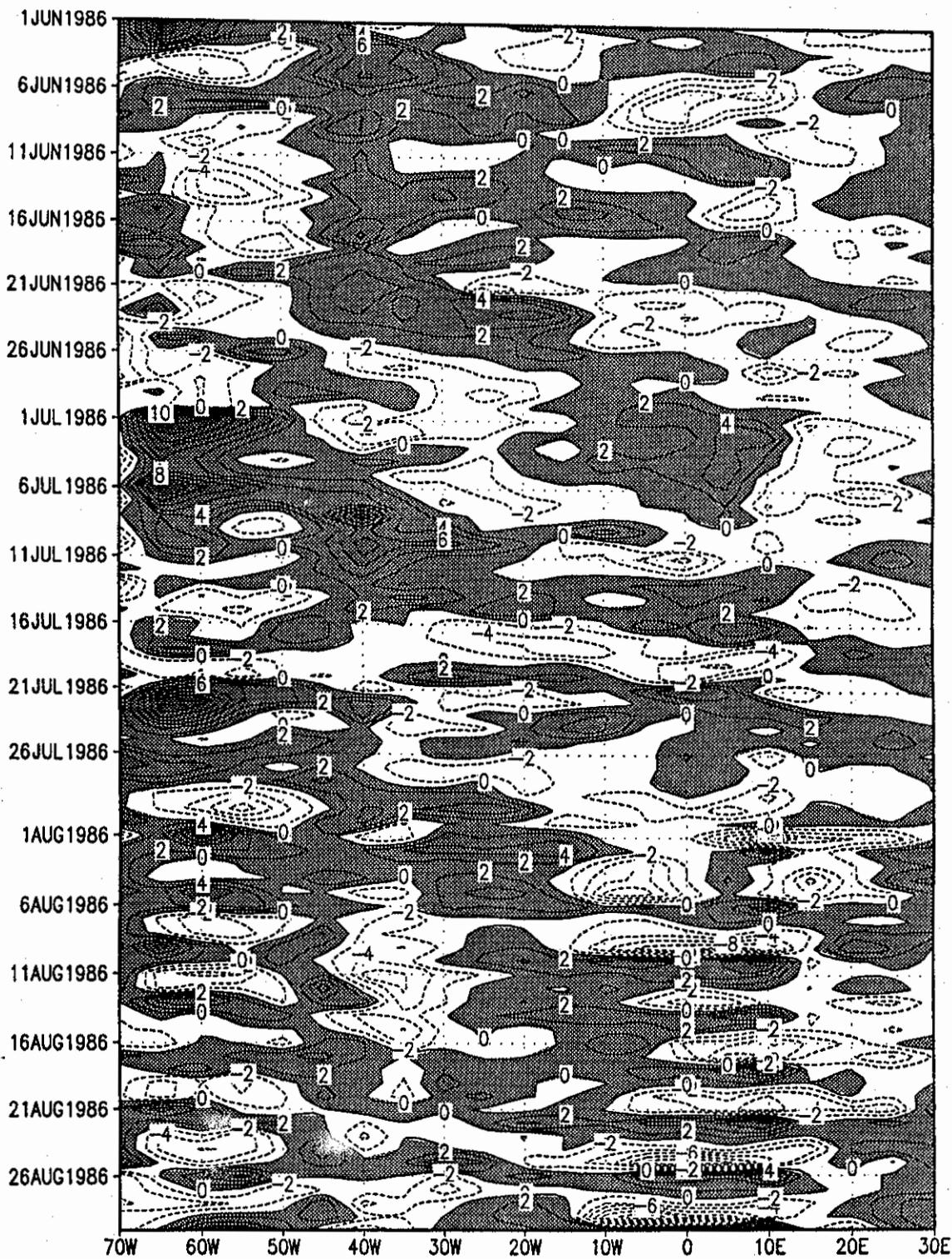


Fig. B.1d (conclusão)