



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-15341-TDI/1377

**UM ESTUDO OBSERVACIONAL DA INCURSÃO DE
SISTEMAS FRONTAIS NO NORDESTE BRASILEIRO E
SUA INFLUÊNCIA NA ATMOSFERA DO CENTRO DE
LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA (CLA)**

Priscila da Silva Tavares

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelas Dras. Marley Cavalcante de Lima Moscati e Rosa de Fátima Cruz Marques, aprovada em 3 de abril de 2008.

Registro do documento original:

<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/05.19.20.01>

INPE
São José dos Campos
2008

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO:**Presidente:**

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

Membros:

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

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

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

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

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

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

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

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

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

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



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-15341-TDI/1377

**UM ESTUDO OBSERVACIONAL DA INCURSÃO DE
SISTEMAS FRONTAIS NO NORDESTE BRASILEIRO E
SUA INFLUÊNCIA NA ATMOSFERA DO CENTRO DE
LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA (CLA)**

Priscila da Silva Tavares

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelas Dras. Marley Cavalcante de Lima Moscati e Rosa de Fátima Cruz Marques, aprovada em 3 de abril de 2008.

Registro do documento original:

<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/05.19.20.01>

INPE
São José dos Campos
2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T197e Tavares, Priscila da Silva.

Um estudo observacional da incursão de sistemas frontais no nordeste brasileiro e sua influência na atmosfera do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA/ Priscila da Silva Tavares. – São José dos Campos: INPE, 2008.

163p. ; (INPE-15341-TDI/1377)

1. Sistemas frontais. 2. Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). 3. Observacional. 4. Climatologia. I. Título.

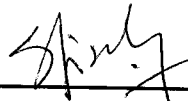
CDU 551.58

Copyright © 2008 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, microfílmico, reprográfico ou outros, sem a permissão escrita da Editora, com exceção de qualquer material fornecido especificamente no propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2008 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, microfilming, recording or otherwise, without written permission from the Publisher, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

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

Dr. Gilberto Fernando Fisch



Presidente / IAE/CTA / SJCampos - SP

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati



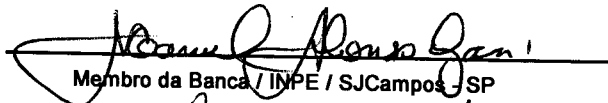
Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dra. Rosa de Fátima Cruz Marques



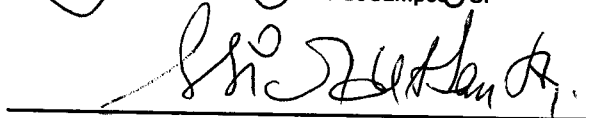
Orientador(a) / IAE/CTA / SJCampos - SP

Dr. Manoel Alonso Gan



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Isimar de Azevedo Santos



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

Aluno (a): Priscila da Silva Tavares

São José dos Campos, 03 de Abril de 2008

Considerações de Aninha

*Melhor do que a criatura,
fez o criador a criação.
A criatura é limitada.
O tempo, o espaço,
normas e costumes.
Erros e acertos.
A criação é ilimitada.
Excede o tempo e o meio.
Projeta-se no Cosmos.*

Cora Coralina

A Perfeição

*O que me tranqüiliza
é que tudo o que existe,
existe com uma precisão absoluta.
O que for do tamanho de uma cabeça de alfinete
não transborda nem uma fração de milímetro
além do tamanho de uma cabeça de alfinete.
Tudo o que existe é de uma grande exatidão.
Pena é que a maior parte do que existe
com essa exatidão
nos é tecnicamente invisível.
O bom é que a verdade chega a nós
como um sentido secreto das coisas.
Nós terminamos adivinhando, confusos,
a perfeição.*

Clarice Lispector

*A meus amados pais, Joás e Edileuza, as minhas
queridas irmãs, Michelle e Shirley, ao meu
cunhado, Carlo Giordano. E a todos que partiram
da minha vida em 2007 (In Memoriam): meus
primos Allan e Dulce, e meu bisavô Joaquim.*

RESUMO

Neste trabalho, realizou-se um estudo observacional do padrão sinótico configurado, sobre a América do Sul (AS) e os Oceanos Atlântico Sul (OAS) e Pacífico Sul (OPS), em eventos de SFs que atingiram o litoral do Nordeste Brasileiro (NEB), em latitudes ao norte 17°S, e provocaram intensa nebulosidade na região do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). Selecionaram-se sete eventos para análise sinótica, os quais abrangeram todas as estações do ano. Estes foram analisados desde a sua incursão no sul do Brasil até sua máxima incursão no país, buscando identificar os possíveis mecanismos sinóticos que favoreceram os seus deslocamentos. Em seguida, investigou-se a influência do SF, na atmosfera do CLA, através da análise dos parâmetros meteorológicos de superfície. Da análise sinótica, verificou-se a ocorrência de ciclogênese à superfície, geralmente ocorrida na costa leste do Rio Grande do Sul. Sobre os OPS e OAS, observaram-se valores de PNM na região da Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) mais intenso que na região da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e seus deslocamentos para leste. Na maioria dos eventos, a ASPS adentrou o sul da AS, próximo de 40°S, favorecendo anticiclogênese, geralmente sobre a parte norte/central da Argentina. O anticiclone formado sobre o continente se intensificou e continuou a deslocar para leste, favorecendo o avanço do SF. Em médios e altos níveis, ocorreu a amplificação do cavado frontal associado ao sistema em superfície, o qual se acentuou meridionalmente e se estendeu desde as latitudes médias ($\approx 55^\circ\text{S}$) até os trópicos, propiciando em alguns eventos a formação de um vórtice ciclônico (subtropical). Em altos níveis, o Jato Subtropical (JS) apresentou-se fraco e constatou-se nos eventos de verão e primavera austral, a formação do Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN), que atuam nas proximidades do NEB, apenas nos dias finais do evento. Com a formação destes VCANs, os SFs permaneceram semi-estacionários no NEB contribuindo para a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Além de ter sido observado também, no dia da incursão destes eventos no sul do Brasil, fraca intensidade dos SFs os quais posteriormente se intensificaram nas proximidades dos estados de Minas Gerais/MG e Rio de Janeiro/RJ, pela interação com restos de outro SF presente sobre a região. Na atmosfera do CLA, notou-se que a pressão atmosférica e a umidade relativa caem, com a incursão do SF no NEB e depois aumentam, com deslocamento dele na região. A temperatura do ar apresenta um aumento com a chegada, depois decresce com a permanência e volta a aumentar após a passagem do SF. A velocidade do vento aumenta com a incursão, e depois diminui com o deslocamento do SF. Na maioria dos eventos ocorreram precipitações em Alcântara.

OBSERVACIONAL STUDY OF THE INCURSION OF FRONTAL SYSTEMS ON
NORTHEAST BRAZIL AND ITS INFLUENCE IN THE ATMOSPHERE OF THE
ALCANTARA LAUNCHING CENTER (CLA)

ABSTRACT

In this work, an observational synoptic configuration pattern study was performed over the South America (SA) and in the South Atlantic (SAO) and South Pacific Oceans (SPO), in events of Frontal Systems (FSs) that reached the Brazilian northeast coast and created an intense cloudiness in the region of the Alcântara Launching Center (ALC). Seven cases were selected, during all seasons of the year. They were analyzed since its incursion on south of Brazil until its maximum incursion in the country seeking to identify the possible synoptic mechanisms that favored its motion. After that, the FS influence was investigated, in the ALC atmosphere, through the meteorological surface parameters analysis. It was noted an incidence of cyclogenesis in the surface, commonly noticed in the Rio Grande do Sul's east coast. About the SAO and SPO, it was noticed values of sea level pressure (SLP) in the region South Pacific Subtropical High (SPSH) more intense than in the South Atlantic Subtropical High (SASH) and its movements to east. In most events, the SPSH enter the south of the SA, around 40°S, favouring anticyclonogenesis, usually located in the north/central of Argentina. The anticyclone formed on the continent has expanded and continued the movement to east, contributing to the advancement of FS. In middle and high levels, happened the amplification of the frontal rough associated to surface systems, which it was intensified meridionally and extended from middle latitudes ($\approx 55^\circ\text{S}$) until the tropics, and some of them providing the formation of a cyclonic vortex (subtropical). In high levels, the Subtropical Jet (SJ) presented week and was noticed in events of summer and austral spring, the formation of Upper Troposphere Cyclonic Vortex (UTCV), that act close to Northeast Brazil (NEB), only in the later days of the event. With this VCANs formation, the SFs stayed stationary in the NEB contributing to the formation of South Atlantic Convergence Zone (SACZ). Besides it has been also observed in the day of this incursions of this events in the south of Brazil, weak intensity of SFs was lately intensified in the boundaries of the States Minas Gerais/MG and Rio de Janeiro/RJ, because of the interaction with lefts of another SF present in the region. In the CLA atmosphere, we can notice that the atmosphere pressure and relative humidity falls, with the incursion of the NEB's FS and after they raises, with its movement through the region. The air temperature presented a little increase from the NEB's incursion, decrease with permanence and increasing returns after FS's passage. The wind velocity increases lightly with the incursion, and then decreases with the FS's movement. In the most of events of precipitations happened in Alcântara.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1	INTRODUÇÃO	31
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	37
2.2	Características Climáticas do Centro de Lançamento de Alcântara	37
2.2	Sistemas meteorológicos atuantes no CLA	38
3	MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1	Área de estudo	49
3.2	Dados	49
3.3	Metodologia	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1	Climatologia (1986-2006) dos SFs que incursionaram pela rota litorânea do NEB em latitudes ao norte de 17°S	55
4.2	Estudo sinótico	58
4.2.1	Estudo de Eventos para o Outono Austral	58
4.2.1.1	Evento 1: Período de 28/03/1998 a 04/04/1998	59
4.2.1.2	Evento 2: Período de 05 a 11/05/1999	75
4.2.1.3	Evento 3: Período de 19 a 25/05/2002	85
4.2.2	Evento do Inverno Austral	100
4.2.3	Evento da Primavera Austral	111
4.2.3.1	Escoamento em baixos níveis	115
4.2.3.2	Escoamento em médios níveis e altos níveis	119
4.2.4	Eventos do Verão Austral	125
4.2.4.1	Evento 6: Período de 13 a 21/12/1999	126
4.2.4.2	Evento 7: Período de 17 a 22/02/2005	136
4.3	Análise da influência dos Eventos na região de Alcântara	145
5	CONCLUSÃO	153
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - a) Localização do Estado do Maranhão, com destaque para a cidade de Alcântara. b) Visão aérea da região do CLA.	31
Figura 1.2 – Família de foguetes do IAE.	32
Figura 1.3 – Visão das falésias no litoral de Alcântara.	33
Figura 2.1 – a) Distribuição média mensal da precipitação (em mm.mês ⁻¹); b) intensidade média do vento (expressa em nós), da estação de Alcântara. As barras correspondem aos desvios padrões obtidos em relação à média.....	37
Figura 2.2 - Ilustração esquemática da formação do VCAN em 200 hPa, sobre o OAS40	
Figura 2.3 – Climatologia anual (1961-1970) dos SFs que incursionaram em Caravelas/BA (em barras) e total de precipitação anual (em linha) para a região. .	41
Figura 2.4 – Climatologia mensal das incursões de SFs na parte sul do NEB (Caravelas/BA).	41
Figura 2.4 – Bandas latitudinais de associação entre os SFs e a CT.....	42
Figura 2.5 – Áreas para acompanhamento dos SFs ao longo da América do Sul.	44
Figura 3.1 – Estações meteorológicas consideradas no levantamento do deslocamento meridional dos SFs pela rota litorânea do NEB.	50
Figura 3.4 - Estações meteorológicas em que os SF aturam no litoral do NEB, imagens do satélite GOES no canal IR para os dias que os SF apresentaram nebulosidade intensificada durante sua passagem no NEB e totais pluviométricos referentes ao mês de ocorrência dos eventos, respectivamente, para os Eventos: a) 1 (abril de 1998); b) 2 (maio de 1999); c) 3 (maio de 2002); d) 4 (agosto de 2003); e) 5 (novembro de 1999); f) 6 (dezembro de 1999) e g) 7 (fevereiro de 2005) (continua).	52
Figura 4.2 – Climatologia (1986-2006) do número de SFs que incursionaram pela rota litorânea do NEB até latitudes ao norte de 17°S. As colunas em pontos cinza correspondem aos anos de La Niña, em pontos pretos El Niño e em pontos brancos neutros.	57
Figura 4.3 – Climatologia (1986-2005) da distribuição mensal dos SFs que incursionaram pela rota litorânea do NEB até latitudes abaixo de 17°S.	57
Figura 4.1 – Posição do SF em superfície as 1200UTC para os Eventos: a) 1 (28 de março a 05 de abril de 1998), b) 2 (05 a 11 de março de 1999) e c) 3 (19 a 28 de março de 2002) (continua).	58
Figura 4.2 – Sequência de imagens do satélite GOES-8, canal infravermelho: a) 27/03/1998, 1200UTC; b) 28/03/1998, 0300UTC; c) 28/03/1998, 0900UTC; d) 28/03/1998, 1200UTC; e) 28/03/1998, 1800UTC; f) 29/03/1998, 0000UTC; g) 29/03/1998, 0300UTC; h) 29/03/1998, 1200UTC; i) 29/03/1998, 2100UTC; j) 30/03/1998, 0000UTC; l) 30/03/1998, 0300UTC; m) 30/03/1998, 1200UTC; n) 31/03/1998, 0900UTC; o) 31/03/1998, 1200UTC; p) 31/03/1998, 1500UTC; q) 31/03/1998, 1800UTC; r) 01/04/1998, 1200UTC, s) 01/04/1998, 1500UTC; t)	

01/04/1998, 1800UTC; u) 02/04/1998, 0000UTC; v) 02/04/1998, 1200UTC; w) 02/04/1998, 2100UTC; x) 03/04/1998, 1200UTC e y) 04/04/1998, 0000UTC (continua).....	61
Figura 4.3 – Campos de ζ ($\times 10^{-4} s^{-1}$) no nível de 850 hPa (em cores) e PNM as 1200UTC para os dias: a) 28/03/1998, b) 29/03/1998, c) 30/03/1998, d) 31/03/1998, e) 01/04/1998, f) 02/04/1998, g) 03/04/1998 e h) 04/04/1998.	67
Figura 4.4 – Campos de Advecção de Temperatura ($^{\circ}C s^{-1}$) e Vetor Vento em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 28/03/1998, b) 29/03/1998, c) 30/03/1998, d) 31/03/1998, e) 01/04/1998, f) 02/04/1998, g) 03/04/1998 e h) 04/04/1998.	68
Figura 4.5 – Campos de LC e z em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 28/03/1998, b) 29/03/1998, c) 30/03/1998, d) 31/03/1998, e) 01/04/1998, f) 02/04/1998, g) 03/04/1998 e h) 04/04/1998.	69
Figura 4.6 – Campos de LC e z em 500 hPa as 1200UTC para os dias: a) 28/03/1998, b) 29/03/1998, c) 30/03/1998, d) 31/03/1998, e) 01/04/1998, f) 02/04/1998, g) 03/04/1998 e h) 04/04/1998.	72
Figura 4.7 – Campos de LC e Magnitude do Vento ($m s^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 28/03/1998, b) 29/03/1998, c) 30/03/1998, d) 31/03/1998, e) 01/04/1998, f) 02/04/1998, g) 03/04/1998 e h) 04/04/1998.	73
Figura 4.8 – Campos de LC e ζ ($\times 10^{-4} s^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 28/03/1998, b) 29/03/1998, c) 30/03/1998, d) 31/03/1998, e) 01/04/1998, f) 02/04/1998, g) 03/04/1998 e h) 04/04/1998.	74
Figura 4.9 – Seqüência de imagens do satélite GOES-8, canal infravermelho: a) 05/05/1999, as 1200UTC; b) 06/05/1999, as 0000UTC; c) 06/05/1999, as 0600UTC; d) 06/05/1999, as 1800UTC; e) 07/05/1999, as 0000UTC; f) 07/05/1999, as 1200UTC; g) 07/05/1999, as 1800UTC; h) 08/05/1999, as 0000UTC; i) 08/05/1999; j) 08/05/1999, as 1800UTC; l) 09/05/1999, as 0300UTC; m) 09/05/1999, as 1200UTC; n) 09/05/1999, as 1800UTC e o) 10/05/1999, as 0300UTC (continua).....	77
Figura 4.10 – Campos de ζ ($\times 10^{-4} s^{-1}$) no nível de 850 hPa (em cores) e PNM as 1200UTC para os dias: a) 05/05/1999, b) 06/05/1999, c) 07/05/1999, d) 08/05/1999, e) 09/05/1999, f) 10/05/1999.	79
Figura 4.11 – Campos de Advecção de Temperatura ($^{\circ}C s^{-1}$) e Vetor Vento em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 05/05/1999, b) 06/05/1999, c) 07/05/1999, d) 08/05/1999, e) 09/05/1999, f) 10/05/1999.	80
Figura 4.12 – Campos de LC e z em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 05/05/1999, b) 06/05/1999, c) 07/05/1999, d) 08/05/1999, e) 09/05/1999, f) 10/05/1999.	81
Figura 4.13 – Campos de LC e z em de 500 hPa as 1200UTC para os dias: a) 05/05/1999, b) 06/05/1999, c) 07/05/1999, d) 08/05/1999, e) 09/05/1999, f) 10/05/1999.	82

Figura 4.14 – Campos de LC e z em de 500 hPa as 1200UTC para os dias: a) 05/05/1999, b) 06/05/1999, c) 07/05/1999, d) 08/05/1999, e) 09/05/1999, f) 10/05/1999.	83
Figura 4.15 – Campos de LC e ζ ($\times 10^{-4} s^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 05/05/1999, b) 06/05/1999, c) 07/05/1999, d) 08/05/1999, e) 09/05/1999, f) 10/05/1999.	84
Figura 4.16 – Sequência de imagens do satélite GOES+Meteosat, canal infravermelho: a) 19/05/2002, b) 20/05/2002, c) 21/05/2002, d) 22/05/2002, e) 23/05/2002, f) 24/05/2002, g) 25/05/2002, h) 26/05/2002, i) 27/05/2002 e j) 28/05/2002.	87
Figura 4.17 – Campos de ζ ($\times 10^{-4} s^{-1}$) no nível de 850 hPa (em cores) e PNM as 1200UTC para os dias: a) 19/05/2002, b) 20/05/2002, c) 21/05/2002, d) 22/05/2002, e) 23/05/2002, f) 24/05/2002, g) 25/05/2002, h) 26/05/2002, i) 27/05/2002 e j) 28/05/2002 (continua).	88
Figura 4.18 – Campos de Advecção de Temperatura ($^{\circ}C s^{-1}$) e Vetor Vento em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 19/05/2002, b) 20/05/2002, c) 21/05/2002, d) 22/05/2002, e) 23/05/2002, f) 24/05/2002, g) 25/05/2002, h) 26/05/2002, i) 27/05/2002 e j) 28/05/2002 (continua).	90
Figura 4.19 – Campos de LC e z em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 19/05/2002, b) 20/05/2002, c) 21/05/2002, d) 22/05/2002, e) 23/05/2002, f) 24/05/2002, g) 25/05/2002, h) 26/05/2002, i) 27/05/2002 e j) 28/05/2002 (continua).	92
Figura 4.20 – Campos de LC e z em de 500 hPa as 1200UTC para os dias: a) 19/05/2002, b) 20/05/2002, c) 21/05/2002, d) 22/05/2002, e) 23/05/2002, f) 24/05/2002, g) 25/05/2002, h) 26/05/2002, i) 27/05/2002 e j) 28/05/2002 (continua).	94
Figura 4.21 – Campos de LC e Magnitude do Vento ($m s^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 19/05/2002, b) 20/05/2002, c) 21/05/2002, d) 22/05/2002, e) 23/05/2002, f) 24/05/2002, g) 25/05/2002, h) 26/05/2002, i) 27/05/2002 e j) 28/05/2002 (continua).	96
Figura 4.22 – Campos de LC e ζ ($\times 10^{-4} s^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 19/05/2002, b) 20/05/2002, c) 21/05/2002, d) 22/05/2002, e) 23/05/2002, f) 24/05/2002, g) 25/05/2002, h) 26/05/2002, i) 27/05/2002 e j) 28/05/2002 (continua).	98
Figura 4.23 – Posição do SF em superfície as 1200UTC para o Evento 5 (14 a 18 de agosto de 2003).	100
Figura 4.24 – Sequência de imagens do satélite GOES+Meteosat, canal infravermelho: a) 14/08/2003, as 1200UTC; b) 15/08/2003, as 0000UTC; c) 15/08/2003, as 1200UTC; d) 15/08/2003, as 1800UTC; e) 16/08/2003, as 0000UTC; f) 16/08/2003, as 1200UTC; g) 16/08/2003, as 1800UTC; h) 17/08/2003, as 0000UTC; i) 17/08/2003, as 1200UTC; j) 17/08/2003, as 1800UTC; l) 18/08/2003, as 0000UTC e m) 18/08/2003, as 1200UTC (continua).	103

Figura 4.25 – Campos de ζ ($\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$) no nível de 850 hPa (em cores) e PNM as 1200UTC para os dias: a) 14/08/2003, b) 15/08/2003, c) 16/08/2003, d) 17/08/2003 e e) 18/08/2003.	105
Figura 4.26 – Campos de Advecção de Temperatura ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$) e Vetor Vento em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 14/08/2003, b) 15/08/2003, c) 16/08/2003, d) 17/08/2003 e e) 18/08/2003.	106
Figura 4.27 – Campos de LC e z em 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 14/08/2003, b) 15/08/2003, c) 16/08/2003, d) 17/08/2003 e e) 18/08/2003.	107
Figura 4.28 – Campos de LC e z em 500 hPa as 1200UTC para os dias: a) 14/08/2003, b) 15/08/2003, c) 16/08/2003, d) 17/08/2003 e e) 18/08/2003.	108
Figura 4.29 – Campos de LC e Magnitude do Vento (m s^{-1}) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 14/08/2003, b) 15/08/2003, c) 16/08/2003, d) 17/08/2003 e e) 18/08/2003.	109
Figura 4.30 – Campos de LC e ζ ($\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 14/08/2003, b) 15/08/2003, c) 16/08/2003, d) 17/08/2003 e e) 18/08/2003.	110
Figura 4.31 – Posição do SF em superfície as 1200UTC para o Evento 4 (13 a 20 de novembro de 1999).	111
Figura 4.32 – Seqüência de imagens do satélite GOES-8 e GOES+Meteosat, canal infravermelho: a) 13/11/1999, as 000UTC; b) 13/11/1999, as 0600UTC; c) 13/11/1999, as 1800UTC; d) 14/11/1999, as 0600UTC; e) 14/11/1999, as 1200UTC; f) 14/11/1999, as 1800UTC; g) 15/11/1999, as 0000UTC; h) 15/11/1999, as 1200UTC; i) 15/11/1999, as 1800UTC; j) 16/11/1999, as 0000UTC; l) 16/11/1999, as 0600UTC; m) 16/11/1999, as 1200UTC; n) 17/11/1999, as 1200UTC; o) 18/11/1999, as 0900UTC; p) 19/11/1999, as 0000UTC; q) 19/11/1999, as 0600UTC; r) 19/11/1999, as 1200UTC e s) 20/11/1999, as 1200UTC (continua).	112
Figura 4.33 – Campos de ζ ($\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$) no nível de 850 hPa (em cores) e PNM para os dias: a) 13/11/1999, b) 14/11/1999, c) 15/11/1999, d) 16/11/1999, e) 17/11/1999, f) 18/11/1999, g) 19/11/1999 e h) 20/11/1999.	116
Figura 4.34 – Campos de Advecção de Temperatura ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$) e Vetor Vento em de 850 hPa para os dias: a) 13/11/1999, b) 14/11/1999, c) 15/11/1999, d) 16/11/1999, e) 17/11/1999, f) 18/11/1999, g) 19/11/1999 e h) 20/11/1999.	117
Figura 4.35 – Campos de LC e z em de 850 hPa para os dias: a) 13/11/1999, b) 14/11/1999, c) 15/11/1999, d) 16/11/1999, e) 17/11/1999, f) 18/11/1999, g) 19/11/1999 e h) 20/11/1999.	118
Figura 4.36 – Campos de LC e z em 500 hPa para os dias: a) 13/11/1999, b) 14/11/1999, c) 15/11/1999, d) 16/11/1999, e) 17/11/1999, f) 18/11/1999, g) 19/11/1999 e h) 20/11/1999.	121
Figura 4.37 – Campos de LC e Magnitude do Vento (m s^{-1}) em 200 hPa para os dias: a) 13/11/1999, b) 14/11/1999, c) 15/11/1999, d) 16/11/1999, e) 17/11/1999, f) 18/11/1999, g) 19/11/1999 e h) 20/11/1999.	122

Figura 4.38 – Campos de LC e ζ ($\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$) em 200 hPa para os dias: a) 13/11/1999, b) 14/11/1999, c) 15/11/1999, d) 16/11/1999, e) 17/11/1999, f) 18/11/1999, g) 19/11/1999 e h) 20/11/1999.....	123
Figura 4.39 – Posição do SF em superfície as 1200UTC para os Eventos: a) 6 (13 a 21 de dezembro de 1999) e b) 7 (17 a 22 de fevereiro de 2005).	126
Figura 4.40 - Seqüência de imagens do satélite GOES-8, canal infravermelho, as 1200UTC: a) 13/12/1999, b) 14/12/1999, c) 15/12/1999, d) 16/12/1999, e) 17/12/1999, f) 18/12/1999, g) 19/12/1999, h) 20/12/1999 e i) 21/12/1999.....	127
Figura 4.41 – Campos de ζ ($\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$) no nível de 850 hPa (em cores) e PNM as 1200UTC para os dias: a) 13/12/1999, b) 14/12/1999, c) 15/12/1999, d) 16/12/1999, e) 17/12/1999, f) 18/12/1999, g) 19/12/1999 e h) 20/12/1999.	129
Figura 4.42 – Campos de Advecção de Temperatura ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$) e Vetor Vento em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 13/12/1999, b) 14/12/1999, c) 15/12/1999, d) 16/12/1999, e) 17/12/1999, f) 18/12/1999, g) 19/12/1999 e h) 20/12/1999.	130
Figura 4.43 – Campos de ζ no nível de 850 hPa (em cores) e PNM as 1200UTC para os dias: a) 13/12/1999, b) 14/12/1999, c) 15/12/1999, d) 16/12/1999, e) 17/12/1999, f) 18/12/1999, g) 19/12/1999 e h) 20/12/1999.	131
Figura 4.44 – Campos de LC e z em 500 hPa as 1200UTC para os dias: a) 13/12/1999, b) 14/12/1999, c) 15/12/1999, d) 16/12/1999, e) 17/12/1999, f) 18/12/1999, g) 19/12/1999 e h) 20/12/1999.	133
Figura 4.45 – Campos de LC e Magnitude do Vento (m s^{-1}) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 13/12/1999, b) 14/12/1999, c) 15/12/1999, d) 16/12/1999, e) 17/12/1999, f) 18/12/1999, g) 19/12/1999 e h) 20/12/1999.	134
Figura 4.46 – Campos de LC e ζ ($\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 13/12/1999, b) 14/12/1999, c) 15/12/1999, d) 16/12/1999, e) 17/12/1999, f) 18/12/1999, g) 19/12/1999 e h) 20/12/1999.	135
Figura 4.47 - Seqüência de imagens do satélite GOES-8, canal infravermelho, as 1200UTC: a) 17/02/2005, b) 18/02/2005, c) 19/02/2005, d) 20/02/2005, e) 21/02/2005 e f) 22/02/2005.....	138
Figura 4.48 – Campos de ζ ($\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$) no nível de 850 hPa (em cores) e PNM para os dias: a) 17/02/2005, b) 18/02/2005, c) 19/02/2005, d) 20/02/2005, e) 21/02/2005 e f) 22/05/2005.....	139
Figura 4.49 – Campos de Advecção de Temperatura ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$) e Vetor Vento em de 850 hPa para os dias: a) 17/02/2005, b) 18/02/2005, c) 19/02/2005, d) 20/02/2005, e) 21/02/2005 e f) 22/05/2005 (continua).....	140
Figura 4.50 – Campos de LC e z em de 850 hPa para os dias: a) 17/02/2005, b) 18/02/2005, c) 19/02/2005, d) 20/02/2005, e) 21/02/2005 e f) 22/05/2005.	141
Figura 4.51 – Campos de LC e z em de 850 hPa para os dias: a) 17/02/2005, b) 18/02/2005, c) 19/02/2005, d) 20/02/2005, e) 21/02/2005 e f) 22/05/2005.	142

Figura 4.52 – Campos de LC e Magnitude do Vento ($m s^{-1}$) em 200 hPa para os dias: a) 17/02/2005, b) 18/02/2005, c) 19/02/2005, d) 20/02/2005, e) 21/02/2005 e f) 22/05/2005.	143
Figura 4.53 – Campos de LC e ζ ($\times 10^{-4} s^{-1}$) em 200 hPa para os dias: a) 17/02/2005, b) 18/02/2005, c) 19/02/2005, d) 20/02/2005, e) 21/02/2005 e f) 22/05/2005.	144
Figura 4.54 – Latitudes em que os eventos analisados atingiram durante seus deslocamentos no NEB e a localização da área de estudo.	146
Figura 4.55 – a) Diagrama Skew-T Log P as 1200UTC, para o dia 04/04/1998 (Evento 1) e b) Precipitação Acumulada ($mm dia^{-1}$) em Alcântara – MA.	149
Figura 4.56 – a) Diagrama Skew-T Log P as 1200UTC, para o período de 09 a 12/05/1999 (Evento 2) e b) Precipitação Acumulada ($mm dia^{-1}$) em Alcântara – MA.	149
Figura 4.57 - Diagrama Skew-T Log P as 1200UTC para os dias 18 e 19/08 (Evento 4) e b) Precipitação Acumulada ($mm dia^{-1}$) em Alcântara – MA.	150
Figura 4.58 - Diagrama Skew-T Log P as 1200UTC para o dia 18/11 (Evento 5) e b) Precipitação Acumulada ($mm dia^{-1}$) em Alcântara – MA.	150
Figura 4.59 – a) Diagrama Skew-T Log P as 1200UTC (21 a 22/02) em Alcântara – MA, para o Eventos 7 e b) Precipitação Acumulada ($mm dia^{-1}$).	151

LISTA DE TABELAS

2.1 – Climatologia de nebulosidade (1984 – 2000), para a região de Alcântara, e os correspondentes meses de seus máximos e mínimos.	38
3.2 – Eventos escolhidos para estudo sinótico.....	51
4.1 – Número de SFs que incursionaram meridionalmente pelo litoral do NEB até latitudes abaixo de 17°S no período de 1986 a 2006.....	56
4.2 – Parâmetros meteorológicos em superfície para a estação de Alcântara antes, durante e após a passagem dos SFs no NEB.....	148

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AL	- Alagoas
AB	- Alta da Bolívia
ACA	- Divisão de Ciências Atmosféricas
AEB	- Agência Espacial Brasileira
AS	- América do Sul
ASAS	- Alta Subtropical do Atlântico Sul
ASPS	- Alta Subtropical do Pacífico Sul
BA	- Bahia
CLA	- Centro de Lançamento de Alcântara
CPTEC	- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CT	- Convecção Tropical
CTA	- Centro Técnico Aeroespacial
DOLs	- Distúrbios Ondulatórios de Leste
GOES	- Geostationary Operational Environmental Satellite
GPS	- Global Positioning System
GrADS	- Grid Analysis and Display System
IAE	- Instituto de Aeronáutica e Espaço
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
ISCCP	- International Satellite Cloud Climatology Project
JS	- Jato Subtropical
JP	- Jato Polar
IL	- Índice de Levantamento
LI	- Linhas de Instabilidade
LIC	- Linhas de Instabilidade sem propagação no continente
LIP	- Linhas de Instabilidade com propagação no continente
LIP1	- Linhas de Instabilidade com propagação no continente, apresentando deslocamento horizontal entre 170 e 400 km.
LIP2	- Linhas de Instabilidade com propagação no continente, apresentando deslocamento horizontal além 400 km.

LIs	- Linhas de Instabilidade
K	- Índice K
MEB	- Missão Espacial Brasileira
MECB	- Missão Espacial Completa Brasileira
METEOSAT	- Meteorological Satellite
MG	- Minas Gerais
NEB	- Nordeste Brasileiro
NCAR	- National Center for Atmospheric Research
NCEP	- National Center for Environmental Prediction
OAS	- Oceano Atlântico Sul
OPS	- Oceano Pacífico Sul
PE	- Pernambuco
PR	- Paraná
PNM	- Pressão ao Nível Médio do Mar
RJ	- Rio de Janeiro
RN	- Rio Grande do Norte
RS	- Rio Grande do Sul
SE	- Sudeste
SF	- Sistema Frontal
SFs	- Sistemas Frontais
T	- Temperatura do ar
TSM	- Temperatura da Superfície do Mar
UR	- Umidade Relativa
UTC	- Universal Time Coordinate
VCAN	- Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
VLS	- Veículos Lançadores de Satélites
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical

LISTA DE SÍMBOLOS

u	-Componente zonal do vento
v	-Componente meridional do vento
z	-Altura geopotencial
ζ	-Vorticidade relativa

1 INTRODUÇÃO

Desde o lançamento do Sputnik, primeiro satélite artificial da Terra, em 1957, e a chegada do homem à lua em 1969, através da missão Apollo 11, a conquista do espaço tornou-se um ícone de soberania das grandes potências mundiais. Na década de 50 o Brasil deu seus primeiros passos para ingressar na corrida espacial, partindo em busca da competência tecnológica necessária ao desenvolvimento de um Programa Aeroespacial (CLA, 2006). O país criou seu primeiro Programa Espacial na década de 60, o qual foi nomeado como Missão Espacial Brasileira (MEB), cujo objetivo era desenvolver pequenos foguetes destinados a sondagens meteorológicas para a Força Aérea Brasileira (IAE, 2006). Depois de 17 anos da implementação da MEB, o governo federal aprovou a Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), que visava estabelecer competência no país para projetar, desenvolver, construir e operar satélites de fabricação nacional, e colocá-los no espaço através de foguetes projetados e construídos no Brasil. A principal base de lançamento desses foguetes deveria estar situada em território nacional. Dessa maneira, em 1983, foi criado o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), localizado em Alcântara ($2^{\circ}24'S$, $44^{\circ}25'W$), situado a 20 km de São Luis, capital do Maranhão, na região Nordeste do Brasil (NEB) (Figura 1.1) (AEB, 2006). O CLA possibilitou o Brasil a colocar no espaço equipamentos de pesquisa, de coleta de dados, de telecomunicação, de sensoriamento remoto e de inúmeras outras aplicações.

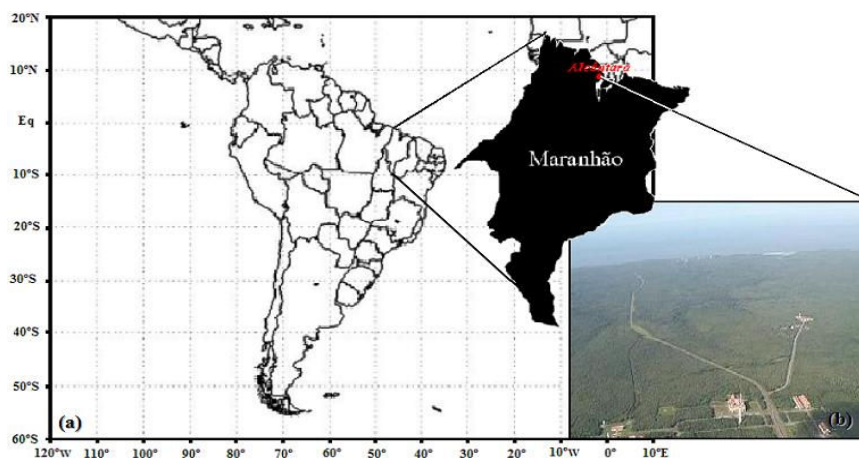


Figura 1.1 - a) Localização do Estado do Maranhão, com destaque para a cidade de Alcântara. b) Visão aérea da região do CLA.

A etapa ainda a ser executada, do Programa Espacial Brasileiro, resumiu-se em lançar um Veículo Lançador de Satélites (VLS), cuja finalidade consiste na inserção de satélites de 350 kg, em órbita da Terra. Assim, foguetes de sondagens, como os das séries SONDA e VS, desenvolvidos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço do Centro Técnico Aeroespacial (IAE/CTA), foram criados para servirem de base ao lançamento do VLS (Figura 1.2). Alguns desses foguetes ainda são lançados atualmente, tais como: SONDA III, VS30, VSB30 e VS40 (IAE, 2007). Um dos lançamentos mais recentes ocorreu em 19 de julho de 2007, com o VSB30 lançado do CLA, consistindo o quarto voo deste foguete. Os lançamentos anteriores do VSB30, todos bem sucedidos, ocorreram em 2004 da base de lançamento do CLA, e em 2005 e em 2006 a partir do Campo de Esrange, na Suécia (FAPESP, 2007). A campanha de lançamento do VSB30V04 teve início um mês antes do lançamento e mobilizou mais de 200 especialistas, entre profissionais da Agência Espacial Brasileira (AEB), do CLA, do Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial, do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno, da Agência Espacial Alemã e de equipes responsáveis pelos experimentos científicos.

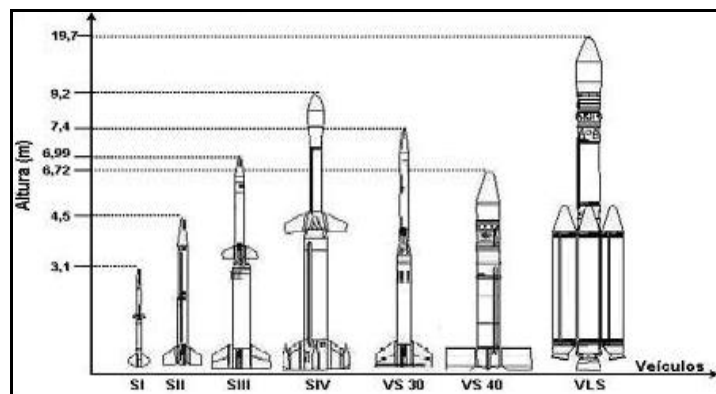


Figura 1.2 – Família de foguetes do IAE.

Fonte: Adaptado de Palmério (2002).

Com o VLS, já foram realizadas três campanhas de lançamento, nomeadas como: Brasil, Almenara e São Luis. As operações Brasil e Almenara, realizadas em 1997 e 1999, respectivamente, foram abortadas por falha na ignição em um dos propulsores do 1º estágio, na operação Brasil, e falha no sistema pirotécnico no 2º estágio, na operação Almenara. Em ambas as operações os VLS foram autodestruídos por telecomando. Na última operação, realizada em 2003, aconteceu um trágico acidente na plataforma de

lançamento, durante a integração final do veículo, devido a uma ignição prematura do propulsor A do 1º estágio, provocando o acidente por volta das 13h30min do dia 22 de agosto (IAE, 2004). Pelo exposto, e considerando o alto custo de fabricação de cada VLS, estimado em aproximadamente R\$9,5 milhões, tomando-se como referência o VLS-1 (AEB, 2007), torna-se necessárias operações mais acuradas para o sucesso no lançamento destes veículos, as quais são melhores subsidiadas quando se conhecem as condições meteorológicas da região.

Em termos de características climáticas, o CLA apresenta condições típicas da atmosfera tropical. A característica topográfica marcante no CLA é a presença de falésias em sua costa, com uma altura média de 50 m (Figura 1.3). Acerca de 50 m de distância da costa se encontra a rampa de lançamento de foguetes, a qual pode sofrer forte turbulência provocada pelo vento. Isso ocorre devido à interação do vento, inicialmente em equilíbrio com a superfície oceânica (superfície lisa) com a vegetação arbustiva (superfície rugosa) presente na região (FISCH, 1999). Além disso, veículos como o VLS e principalmente os de sondagens que são foguetes de pequeno porte, não são projetados para suportar condições meteorológicas adversas, tais como tempestades severas, descargas elétricas, ventos e cisalhamentos intensos (MARQUES E FISCH, 2005). Se expostos à chuva, por exemplo, os circuitos elétricos/eletrônicos, pirotécnicos destes veículos e/ou outros, podem ser comprometidos, acarretando o insucesso no lançamento.



Figura 1.3 – Visão das falésias no litoral de Alcântara.
Fonte: Roballo (2007).

Para as atividades operacionais do CLA, as campanhas de lançamento são realizadas em períodos chamados de janelas atmosféricas, as quais climatologicamente apresentam condições favoráveis, como por exemplo, estações que apresentem baixos totais pluviométricos. Vários sistemas meteorológicos têm sido apontados como os responsáveis por grande parte da precipitação na região NEB. Alguns desses são: a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT (COELHO et al., 2004), o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis - VCAN (KOUSKY E GAN, 1981; RAMIREZ, 1986; CALBETE et al., 1996), o Sistema Frontal – SF (KOUSKY, 1979; LEMOS E CALBETE, 1996), a Linha de Instabilidade - LI (KOUSKY, 1980; COHEN, 1989) e o Distúrbio Ondulatório de Leste - DOL (YAMAZAKI, 1975; HALL, 1989; MOTA, 1997; MOLION E BERNARDO, 2002; COUTINHO E FISCH, 2004).

O foco desse estudo consiste na análise sinótica de eventos de SFs que atingiram latitudes mais ao norte do NEB e observar como estes sistemas influenciaram nas condições meteorológicas do CLA. Tais informações podem contribuir para uma previsão meteorológica mais precisa para a região. Vale ressaltar que as análises já realizadas sobre a incursão de SFs no NEB consistiram primordialmente em investigar a frequência de incursão mensal, sazonal e anual, tomando-se geralmente o setor sul da Bahia como representativo de toda a região NEB (KOUSKY, 1979; OLIVEIRA, 1986; LEMOS E CALBETE, 1996; ANDRADE, 2005, entre outros). Entretanto, Siqueira (2003) mostrou que a presença de SFs nos subtropicais ou em latitudes médias contribuem para variabilidade interdiurna convectiva na América do Sul (AS), em todas as estações do ano, especialmente no inverno austral onde são responsáveis por 50% dessa variabilidade. Para os casos de SFs que além de organizar se associam com a Convecção Tropical (CT) e se propagam meridionalmente, chegando a atingir o NEB, o autor observou que ocorre uma maior frequência nas estações de verão e primavera austral onde contribuem em 32% e 37%, respectivamente, para a variabilidade interdiurna convectiva na AS. Em relação aos padrões de circulação que proporcionam o deslocamento meridional dos SFs até a região NEB, e em alguns eventos até o norte dessa região (KOUSKY, 1979), e como estes sistemas modificam a atmosfera da região, ainda não são bem conhecidos. Portanto, o objetivo geral, neste estudo é identificar os mecanismos sinóticos que contribuem para o deslocamento meridional dos SFs até

latitudes mais ao norte do NEB, em todas as estações do ano, e analisar a sua influência na atmosfera do CLA.

Sendo assim, realizou-se primeiramente um levantamento do número de SFs que atingiram latitudes ao norte da estação de Caravelas/BA, a partir dos dados extraídos do Boletim Climanálise, para os anos de 1986 a 2006. Deste levantamento, selecionaram-se sete eventos para estudo, levando-se em conta os seguintes critérios:

- Pelo menos um evento por estação do ano;
- Nebulosidade expressiva na região de Alcântara associada à presença frontal sobre o NEB e;
- Ocorrência de precipitação em Alcântara, durante a permanência dos SFs no NEB.

Vale mencionar que em dois eventos apesar de terem apresentado nebulosidade significativa sobre o NEB não ocorreu precipitação em Alcântara, entretanto foram analisados devido a suas singularidades. Os eventos selecionados para estudo são apresentados no Capítulo 3. Os resultados obtidos com a climatologia anual e mensal da incursão dos SFs no NEB, a análise dos mecanismos sinóticos que possivelmente favorecem a incursão dos SFs até o NEB e a influência destes na atmosfera do CLA estão apresentados no Capítulo 4. As conclusões e considerações finais encontram-se no Capítulo 5.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2 Características Climáticas do Centro de Lançamento de Alcântara

As características climáticas da região são descritas em, por exemplo: Coutinho (1999), Pereira (2000), Pereira et al (2002), Guedes e Oyama (2004), Marques (2004), entre outros, os quais são descritos sucintamente a seguir. Alcântara apresenta três regimes pluviométricos, a saber: chuvoso, seco e de transição (Figura 2.1). O período chuvoso está compreendido entre os meses de janeiro a junho, onde março e abril apresentam os maiores totais pluviométricos, com valores superiores a 300 mm mês^{-1} (FISCH, 1999; GUEDES E OYAMA, 2004) (Figura 2.1a). Nesse período, observa-se nebulosidade superior a $5/8$, principalmente no período diurno, temperatura média do ar da ordem de $26,6^\circ\text{C}$, UR de 87% (COUTINHO, 1999) e velocidade do vento de aproximadamente 3 ms^{-1} (Figura 2.1b) (GUEDES E OYAMA, 2004). O período seco compreende os meses de agosto a novembro (Figura 2.2a). Neste período, devido a um maior contraste térmico entre o continente e o oceano, há a intensificação das brisas marítima e terrestre, as quais ocasionam um aumento da velocidade do vento, que atinge aproximadamente 7 ms^{-1} (Figura 2.2b). Devido também a pouca cobertura de nuvens (inferior a $3/8$) e a escassez de chuvas, nessa época do ano, a temperatura média do ar é em torno de $27,9^\circ\text{C}$ e a UR de 75% (COUTINHO, 1999).

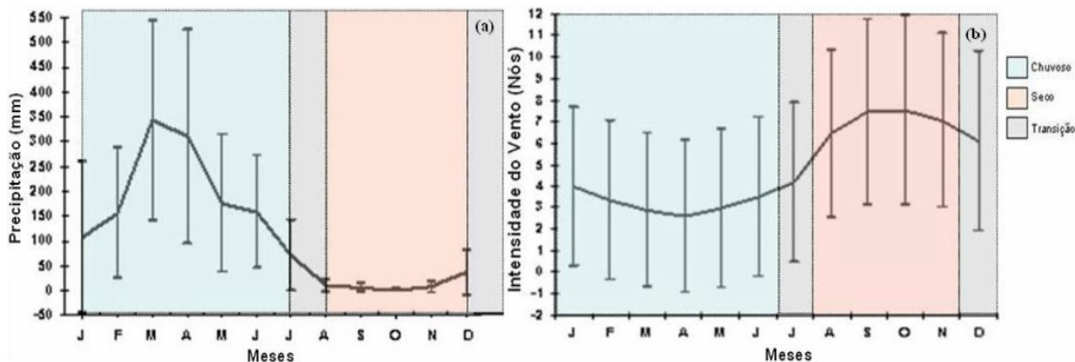


Figura 2.1 – a) Distribuição média mensal da precipitação (em mm.mês^{-1}); b) intensidade média do vento (expressa em nós), da estação de Alcântara. As barras correspondem aos desvios padrões obtidos em relação à média.

Fonte: Adaptado de Guedes e Oyama (2004).

Alves e Oyama (2004) realizaram uma climatologia (1984 a 2000) da cobertura de nuvens em Alcântara, usando dados mensais médios do *International Satellite Cloud Climatology Project* (ISCCP). Verificaram que aproximadamente 46% da cobertura total de nuvens correspondem a nuvens altas, 21% a nuvens médias, 27% a nuvens baixas e 6% a nuvens convectivas. Os meses de máximos e mínimos de cobertura total de nuvens, nuvens baixas, médias, altas e convectivas são apresentados na Tabela 2.1. A análise dessa tabela mostra que, excetuando as nuvens baixas e médias, as quais apresentam seus máximos em setembro e fevereiro, respectivamente, a maioria dos tipos de nebulosidade apresenta seus máximos em março.

Tabela 2.1 – Climatologia de nebulosidade (1984 – 2000), para a região de Alcântara, e os correspondentes meses de seus máximos e mínimos.

Tipo de nebulosidade	Intensidade	
	Máxima	Mínima
Cobertura total	Março (Chuvoso)	Setembro (Seco)
Baixa	Setembro (Seco)	Março (Chuvoso)
Média	Fevereiro (Chuvoso)	Agosto (Seco)
Alta	Março (Chuvoso)	Setembro (Seco)
Convectiva	Março (Chuvoso)	Setembro (Seco)

Fonte: Adaptado de Alves e Oyama (2004).

2.2 Sistemas meteorológicos atuantes no CLA

No NEB muitos são os sistemas meteorológicos que influenciam na variabilidade convectiva da região. Um desses sistemas atmosféricos, responsável pela maior distribuição pluviométrica desta região, é a ZCIT (LOBO, 1982; UVO, 1989; MOLION E BERNARDO, 2002; GAN et al., 2004). Esse sistema apresenta um deslocamento norte-sul ao longo do ano, onde migra de sua posição mais ao sul, cerca de 2°S a 4°S, em março e abril, para sua posição mais ao norte, aproximadamente 14°N em agosto e setembro (RATISBONA, 1976; MOLION E BERNARDO, 2002). Algumas vezes, a ZCIT tende a se deslocar um pouco mais ao sul ou mais ao norte de sua posição climatológica, como observado em anos de El Niño (La Nina), onde a banda convectiva, associada, tende a se deslocar um pouco mais para norte (sul) (COELHO et al., 2004). Moura e Shukla (1981) sugeriram que Temperaturas da Superfície do Mar (TSM) positivas (negativas) no Oceano Atlântica Sul (OAS) e TSM negativas (positivas) no

Atlântico Norte favorecem o deslocamento da ZCIT para sul (norte), contribuindo para anos chuvosos (secos) no NEB, o chamado dipolo do Atlântico.

Outro sistema meteorológico que afeta o tempo e o clima do NEB é o VCAN (KOUSKY E GAN, 1981; CALBETE et al., 1996, RAMÍREZ, 1996). Os VCANs que se formam nas proximidades do NEB, possuem uma circulação fechada (baixa pressão), em níveis superiores, com o ar subsidente central mais frio que sua periferia (KOUSKY E GAN, 1981). A região central do VCAN apresenta céu claro e sem chuva, enquanto sua periferia é submetida a grandes totais pluviométricos. Origina-se nos meses de primavera, verão e outono austral sobre o Atlântico, sendo o mês de janeiro o de maior frequência de ocorrência, e move-se para oeste com velocidade de 4 a 6° de longitude por dia (GAN, 1982). Possui também uma variabilidade interanual apresentando-se com uma maior frequência em anos de El Niño (FEDOROVA et al., 2000). Algumas vezes, impede o deslocamento meridional dos SFs para o litoral do nordeste contribuindo, assim, para a permanência deste sistema sobre a região Sudeste, onde causam precipitações persistentes (GUEDES E OYAMA, 2004). Quando os VCANs incursionam no continente, atingindo o NEB, causam precipitação na costa norte da região e nos estados do Piauí e oeste de Pernambuco, mantendo céu limpo na Bahia (KOUSKY E GAN, 1981; GAN, 1982). A formação destes vórtices está relacionada à intensificação simultânea da crista associada à Alta da Bolívia (AB) e o cavado corrente abaixo sobre o Oceano Atlântico, Sul (OAS) (Figura 2.2). Essa intensificação deve-se à forte advecção de ar quente em 850 hPa, próximo à costa sudeste do Brasil, causada pelo deslocamento meridional de uma frente fria ativa de latitudes médias. Por conseguinte, a frente organiza a convecção sobre o continente, que por sua vez contribui, através da liberação de calor latente, para a intensificação da crista em altos níveis a oeste da posição frontal em superfície e por conservação de vorticidade absoluta o cavado que está à jusante também é intensificado propiciando a formação do ciclone na alta troposfera (KOUSKY E GAN, 1981).

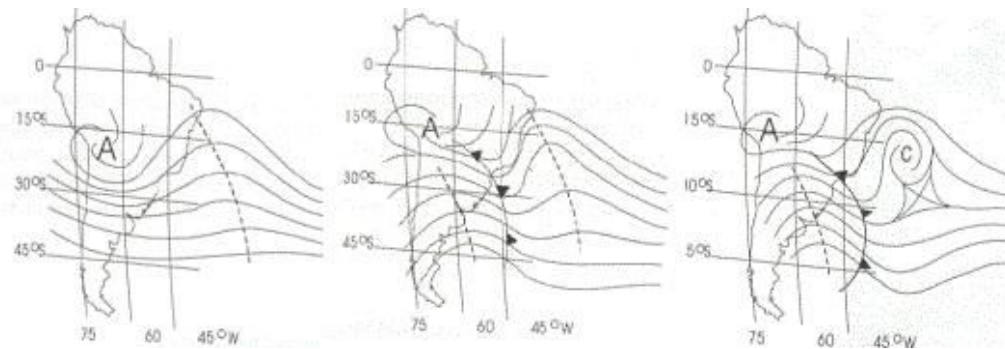


Figura 2.2 - Ilustração esquemática da formação do VCAN em 200 hPa, sobre o OAS
 Fonte: Kousky e Gan (1981).

Os regimes de precipitação e de temperatura no Brasil podem ser influenciados pela formação ou intensificação de outros distúrbios meteorológicos, tais como os SFs (KOUSKY, 1979; LEMOS E CALBETE, 1996; QUADRO et al., 1996). Estes sistemas são caracterizados por uma zona de transição entre duas massas de ar e fortes gradientes horizontais de temperatura e umidade, além de estarem associados também a um mínimo relativo de pressão, máximo de vorticidade ciclônica ao longo da frente, forte cisalhamento vertical e horizontal do vento e rápida mudança de cobertura de nuvens (CARLSON, 1991). Das características observadas em superfície antes e depois da passagem dos SFs sobre uma determinada região (localizada nas latitudes subtropicais), observa-se uma sensível redução de pressão, aumento da temperatura e intensificação dos ventos e após a passagem a pressão sobe ligeiramente, a temperatura cai e o vento muda de direção (norte - nordeste para sul - sudoeste) (VIANELLO, 1991; FEDOROVA, 1999). Nas latitudes tropicais, especialmente na região NEB, as mudanças nos parâmetros meteorológicos em superfície ocasionadas pela incursão dos SFs ainda não são bastante conhecidas. Kousky (1979), realizou um estudo climatológico (1961-1970) da influência dos SFs no setor sul do NEB (Caravelas/BA) e observou que a maior frequência de incursões frontais ocorreu no ano de 1964 (≈ 31 SFs), ano caracterizado pelo fenômeno La Niña, o qual também esteve associado a um máximo de precipitação anual (1690 mm) (Figura 2.3). Um máximo secundário de precipitação anual (1248 mm) ocorreu em 1970 (ano de La Niña), onde apresentou também um alto número de incursões frontais na região. Em relação à climatologia mensal, Kousky (1979) constatou que os SFs incursionam pela região litorânea durante todo o ano, com máximos primários ocorrendo nos meses de maio e julho, e um

máximo secundário em novembro (estação de transição) (Figura 2.4). Enquanto que os máximos mensais de chuvas foram observados nos meses de dezembro e janeiro. Outra característica observada pelo autor foi que os SFs podem influenciar nos totais pluviométricos desde a costa da Bahia até o Rio Grande do Norte (norte do NEB), durante os meses de outono e inverno austral. Os resultados mostraram também que o deslocamento da baixa pressão associada ao SF para latitudes mais baixas favorece o deslocamento da ZCIT mais para o sul.

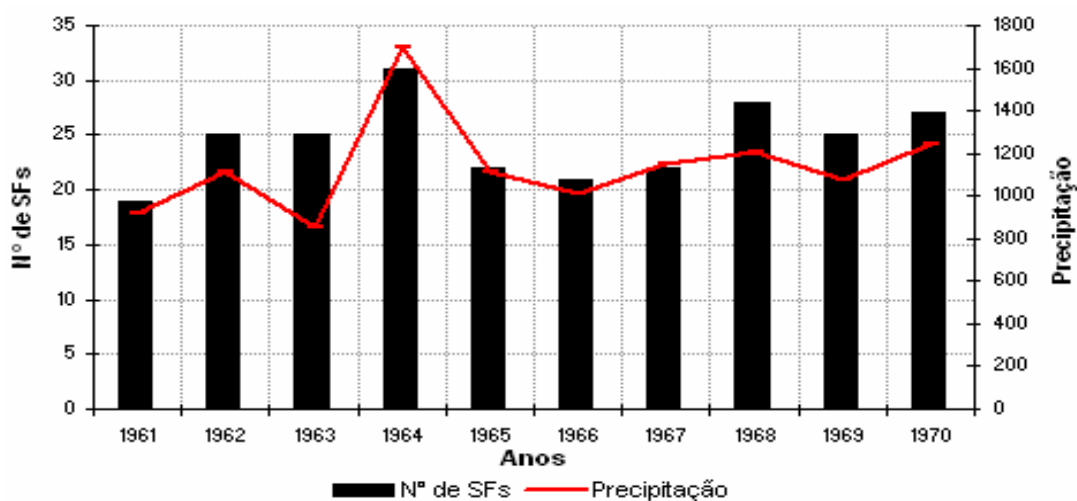


Figura 2.3 – Climatologia anual (1961-1970) dos SFs que incursionaram em Caravelas/BA (em barras) e total de precipitação anual (em linha) para a região.
Fonte: Adaptado de Kousky (1979).

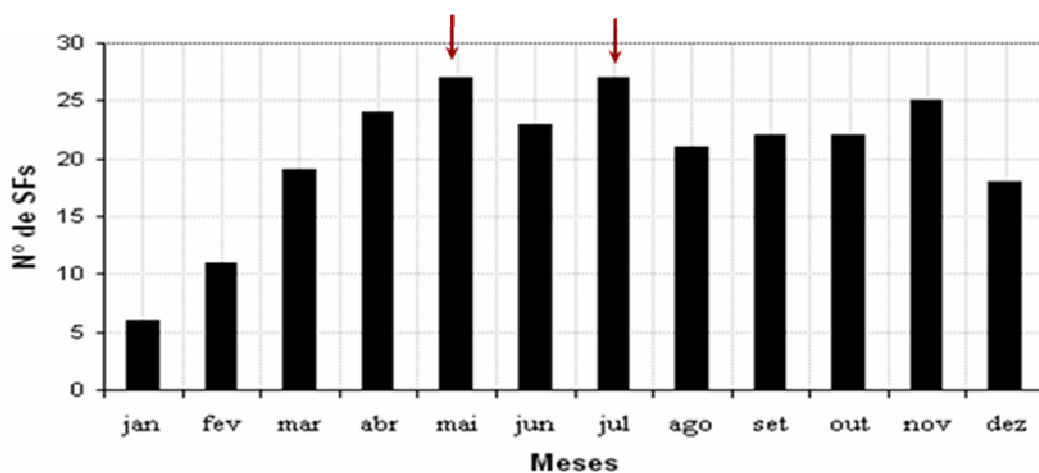


Figura 2.4 – Climatologia mensal das incursões de SFs na parte sul do NEB (Caravelas/BA).
Fonte: Adaptado de Kousky (1979).

Mesmo quando os SFs não atingem tão baixas latitudes (região NEB) ao longo do território brasileiro os SFs podem modular a CT, em forma de faixas de nebulosidade convectiva organizada, como observado por Oliveira (1986) num estudo sobre as interações dos SFs com a convecção da região amazônica. Oliveira (1986) dividiu estas faixas de nebulosidade convectiva em quatro bandas latitudinais (Figura 2.4). Na banda 1 (40°S a 35°S), a associação entre os SFs e a CT ocorre ao longo da Cordilheira dos Andes até o oeste da Amazônia atingindo o sul do Brasil, a qual apresenta uma maior frequência no verão austral. Na banda 2 (35°S a 25°S), a associação (SFs versus CT) ocorre no oeste e centro da Amazônia, estendendo-se desde o Rio do Prata até a região de Curitiba. Na banda 3 (25°S a 20°S), a associação ocorre entre a CT localizada na região central da Amazônia e os SFs localizados na costa, geralmente na região entre Curitiba até Cabo Frio no Rio de Janeiro. Na banda 4 (ao norte de 20°S), a associação ocorre com a parte oriental da Amazônia, e os SFs localizados ao norte de 20°S, atingindo assim o NEB.

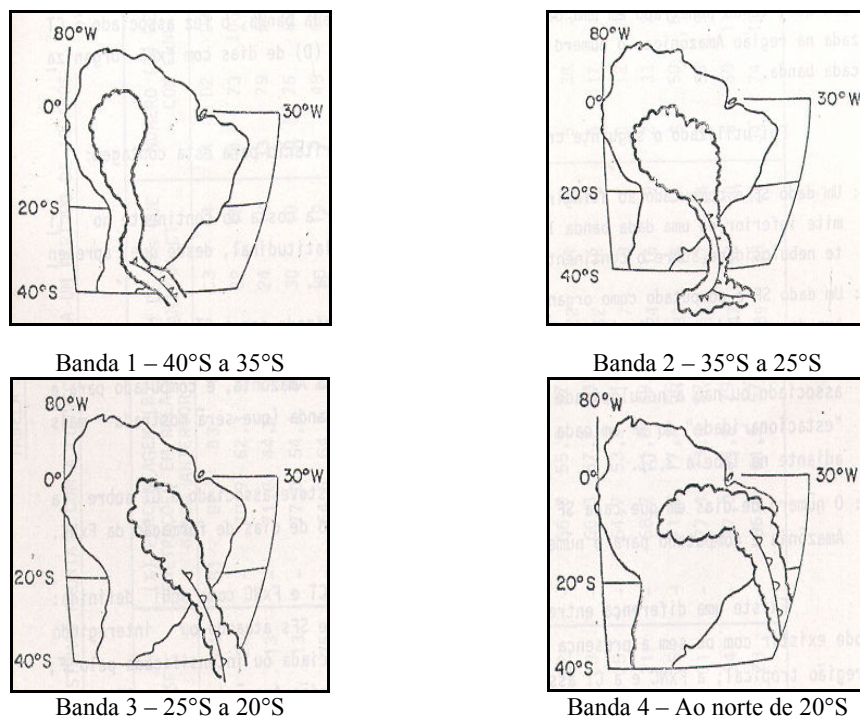


Figura 2.4 – Bandas latitudinais de associação entre os SFs e a CT.

Fonte: Oliveira (1986).

Oliveira (1986) observou que a interação entre os SFs e a CT ocorre mais significativamente quando a CT localiza-se preferencialmente na parte central da Amazônia e os SFs que se posicionam entre 35°S e 20°S (banda 2 e 3), no verão austral, podendo algumas vezes ficar semi-estacionário, por no mínimo 4 dias, sobre a região Sudeste configurando-se assim a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Quando configurada a ZCAS verifica-se geralmente que este fenômeno está associado também à convergência de umidade em baixos níveis, um cavado semi-estacionário, em 500 hPa, a sotavento dos Andes, forte gradiente de temperatura potencial equivalente, em 500 hPa, e uma faixa de vorticidade relativa positiva em 200 hPa (QUADRO, 1994). Ainda em Oliveira (1986), a autora ressaltou que a frequência dos SFs diminui para latitudes mais baixas (Banda 4) apresentando um mínimo de incursões em fevereiro e março (em média 1,3 SFs para cada mês) e um máximo em novembro (3,4 SFs) (estação de transição). Em termos de características sinóticas, ela constatou que os SFs que organizam extensa faixa de nebulosidade convectiva, com intensa precipitação, possuem grande penetração meridional no continente e estão associados a cavados de ar superior. Sobre a banda de nebulosidade convectiva, observa-se uma zona de confluência onde ocorre advecção de ar quente e convergência, em baixos níveis, movimento vertical ascendente, em médios níveis, e divergência, em altos níveis.

Siqueira (2003) realizou um estudo sobre a variabilidade interdiurna da convecção da AS e verificou que os episódios de convecção mais intensa ocorrem quando os SFs interagem diretamente com a CT e, nestas áreas os fluxos de vapor d'água estendem-se sobre quase toda atmosfera favorecendo os processos convectivos. Observou-se também que os SFs que se movem com a CT em direção a latitudes mais baixas interagem e estimulam mais diretamente a convecção profunda nos trópicos do que os SFs quase-estacionários sobre os subtropicais, os quais contribuem para manter o padrão da ZCAS.

Uma climatologia (1980 a 2002) do comportamento dos SFs, na AS, foi realizada por Andrade (2005). Selecionaram-se 11 áreas de estudo ao longo da AS, conforme ilustrado na Figura 2.5. Foram estudados os SFs que se deslocaram pelo litoral (Rota 1) e aqueles que se deslocaram pelo continente (Rota 2). Os resultados mostraram uma diminuição dos SFs para áreas mais ao norte e, uma maior frequência desses sistemas,

no inverno austral, em todas as áreas selecionadas, resultados similares aos obtidos por Oliveira (1986), Lemos e Calbete (1996) e Justi e Silva Dias (2002). Uma maior incursão dos SFs, no inverno austral, deve-se a um maior contraste térmico que separa as massas de ar, fazendo com que estas atinjam a região central do país e algumas vezes até o sul da região Norte, caracterizando o fenômeno conhecido como “friagem”. No verão austral, observou-se uma maior atuação dos SFs sobre as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste a qual pode ser atribuída a presença do padrão de ZCAS, onde os SFs que incursionam no continente contribuem para a manutenção deste sistema, permanecendo semi-estacionário sobre a região. Dos SFs que conseguem se deslocar até o NEB (área 9) verificou-se que estiveram associados a seguintes características sinóticas: deslocamento da AB mais para oeste e o Cavado do Nordeste mais leste (estação de verão austral); Alta Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) mais intensa e a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) menos intensa; enfraquecimento e deslocamento para norte do Jato Subtropical (JS).

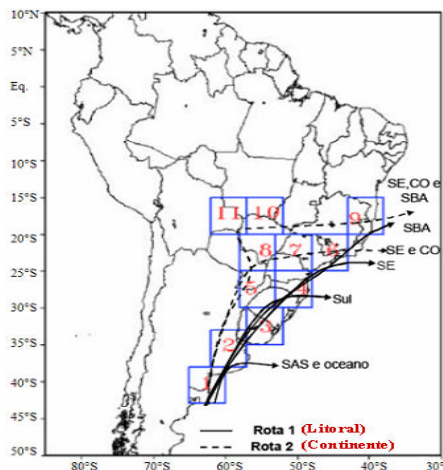


Figura 2.5 – Áreas para acompanhamento dos SFs ao longo da América do Sul.
 Fonte: Adaptado de Andrade (2005).

Gemiacki (2005) realizou uma análise de dois casos de SFs que incursionaram na Argentina e se deslocaram até Maceió/AL, em novembro de 2003. Um SF se deslocou meridionalmente e o outro se deslocou zonalmente. O primeiro SF provocou chuvas intensas em Maceió (50 mm em três dias), as quais representaram quase a média climatológica do mês de novembro, que é aproximadamente 60 mm mês⁻¹. As

características que possivelmente propiciaram o deslocamento desse sistema foram: Quando a sistema começou a atuar na AS a posição do ciclone associado ao SF foi ao sul de 60°; Interação do cavado frontal, inicialmente, com o ciclone térmico do norte da Argentina (baixa do Chaco); Aparecimento de duas frentes secundárias e a ocorrência de duas oclusões instantâneas; Ocorrência de uma ciclogênese ao longo da frente principal; Interação do cavado frontal com um cavado tropical; Presença das correntes de jato subtropical e polar sobre, 25°S e 55°S, respectivamente, e interação entre elas. Deslocamento da AB para leste, em relação a sua posição inicial, atingindo até o oeste da região NEB; Deslocamento de dois ciclones, os quais se associaram ao SF, para sudeste. No 2º caso, o SF influenciou significativamente no tempo do sul e sudeste do Brasil e pouco influenciou no NEB, teve como características: Quando o sistema começou a atuar na AS a posição do ciclone associado ao SF próximo a 40°S/90°W, além da associação desse ciclone com a baixa do Chaco; Presença de uma larga corrente de jato, com eixo próximo a 35°S; Deslocamento da AB inicialmente para sudeste e depois ficando estacionária no centro do Brasil; Deslocamento do ciclone frontal em baixos níveis inicialmente para nordeste e para sudeste depois da sua entrada no continente. Em relação à influência dos SFs na atmosfera de Alagoas, Gemiacki (2005) observou diminuição na temperatura média do ar, de aproximadamente 1°C, redução da pressão atmosférica antes da passagem, e aumento após a sua passagem de aproximadamente 3hPa. Na precipitação, notou um aumento bastante significativo e variação na velocidade e direção do vento. Para a região norte do NEB as mudanças nos parâmetros meteorológicas associadas à presença frontal em baixas latitudes ainda não são conhecidas.

Quanto os sistemas de mesoescala que podem produzir instabilidade convectiva no NEB podem-se citar: as LIs e os DOLs (KOUSKY, 1980; COHEN, 1989; GUEDES E OYAMA, 2004; COUTINHO E FISCH, 2004; LOUREIRO et al; 2006). As LIs que se formam próximo a costa norte do NEB são resultados de convecção induzida pela brisa marítima e pelos ventos alísios de sudeste, favorecidas pelo gradiente horizontal de pressão gerado pelo contraste térmico diário entre continente e oceano (KOUSKY, 1980, COHEN, 1989, GUEDES E OYAMA, 2004). Cohen (1989) realizou um estudo observacional das LIs desenvolvidas no norte do NEB e verificou que existem dois

tipos, a saber: LI sem propagação no continente, denominadas de LI costeiras (LIC) e as LI com propagação, chamadas de LIP. Dentre desses tipos houve duas categorias de LIPs, que foram as que apresentaram deslocamento horizontal entre 170 e 400 km a partir da costa (LIP1) e as com penetração horizontal além de 400 km (LIP2). As LIP1 e LIP2 apresentaram uma velocidade média de propagação de 12 a 16 ms^{-1} . As maiores frequências de ocorrência da LIP2 ocorreram quando a ZCIT do Atlântico mostrou-se bem estabelecida, e a LIP1 não apresentou dependência da ZCIT. Em geral, as LIs apresentam uma dimensão média de 1400 km de comprimento e 170 km de largura, com uma duração média de 16 horas (KOUSKY, 1980; COHEN, 1989).

Os DOLs formam-se preferencialmente na faixa tropical do globo, superposta a corrente dos alísios de nordeste (Hemisfério norte) e sudeste (Hemisfério sul), e ocorrem com uma maior frequência no lado equatorial do cinturão subtropical (GANDU, 1996). Esses distúrbios apresentam periodicidade de 3 a 4 dias, comprimento de onda horizontal de 2000 – 3000 km e velocidade de cerca de 10 ms^{-1} (RIEHL, 1945; GUEDES E OYAMA, 2004). Provocam chuvas significativas no NEB e provavelmente são responsáveis por 30 a 40% dos totais anuais de precipitação para esta região (YAMAZAKI, 1975; HALL, 1989; MOTA, 1997; MOLION E BERNARDO, 2002; COUTINHO E FISCH, 2004). Um dos fatores que podem originar os DOLs, próximo a costa do NEB, são as incursão frontais na região tropical (campo dos alísios) que provoca confluência dos ventos de sul, associados aos SFs, no OAS com os ventos de leste típicos da região (MOLION E BERNARDO, 2002). Um outro fator dá-se ao aumento da convecção sobre a África Central Oeste, nos meses de verão e outono austral, provocando subsequente a intensificação da banda convectiva associada a ZCIT e conseqüentemente a formação dos DOLs (COELHO et al., 2004). Coutinho e Fisch (2004) realizaram um estudo sobre a influência dos DOLs na região do CLA, utilizando o método da mudança do sinal da componente meridional do vento para as camadas 850-700 hPa, 700-500 hPa e 850-500 hPa. Verificaram que estes distúrbios apresentam-se durante todo o ano, com uma periodicidade de 3 a 6 dias, e estão associados com anomalias positivas de precipitação na região. Os resultados mostraram também que em anos de El Niño (La Niña) ocorreram uma menor (maior) frequência destes distúrbios. De todo período estudado (1988 a 1997) verificou-se que a maioria

dos DOLs se estende desde 850 até 500 hPa, associados a anomalias positivas de umidade específica, além de nebulosidade sobre o CLA. No período chuvoso observou-se que os DOLs se estenderam até apenas 700 hPa sendo melhores detectados apenas no período seco devido à ausência ou não de formação próximo ao NEB de outros sistemas, tais como a ZCIT, os VCANs e as LIs.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo, foi delimitada por uma grade de 60°S e 20°N, e 120°W e 10°E (Figura 1.1a), com finalidade de acompanhar o SF desde a sua incursão no sul do Brasil até latitudes mais ao norte do NEB, além de observar a possível influência da ASPS e da ASAS no deslocamento dos SFs (ITO, 1999; ANDRADE, 2005).

3.2 Dados

Utilizaram-se os seguintes dados, para o período de 1998 a 2005: i) Re-análises do National Center for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR), obtidos através do site <http://www.cdc.noaa.gov>. Esse conjunto de dados está disposto numa grade global com espaçamento de 2,5° X 2,5° de latitude / longitude, para os níveis padrões entre 1000 hPa e 10 hPa, nos horários das 0000 UTC, 0600 UTC, 1200 UTC e 1800 UTC. Uma descrição mais detalhada desses dados é apresentada em Kalnay et al. (1996) e Kistler et al. (2001). As variáveis usadas foram as seguintes: componentes zonal (u) e meridional (v) do vento, Temperatura do ar (T) e altura geopotencial (z) para os níveis de 850 hPa, 500 hPa e 200 hPa, Pressão ao Nível Médio do Mar (PNM) e Água precipitável. ii) Imagens compostas dos satélites meteorológicos GOES-8 e METEOSAT, no canal infravermelho (IR), em todos os horários disponíveis. Essas imagens foram cedidas pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), disponibilizadas no site <http://satelite.cptec.inpe.br/>; iii) Dados horários da estação meteorológica de Alcântara, cuja posição geográfica é 02°33'S, 49°40'W, a 49m de altitude, fornecidos pelo IAE/ACA; iv) Dados diários de radiossondagens da estação de Alcântara, obtidos através da Digicora II (Vaisäla) com sondas RS80-15G, e fornecidos pelo IAE/ACA. Neste equipamento, as informações do vento (direção e velocidade) são obtidas através do sistema do cálculo do vento pelo sistema Global Positioning System (GPS), usando as frequências de transmissão entre 400 MHz e 406 MHz. A precisão na determinação do vento é menor que 0,1 ms⁻¹ para velocidade e 1° para a direção. Esses

dados foram disponibilizados nos níveis de 1000, 925, 850, 775, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50 e 30 hPa, para as 1200 UTC.

3.3 Metodologia

Inicialmente, através de informações contidas no Boletim Climanálise disponível no período de 1986 a 2006 (<http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>), fez-se um levantamento do número de SFs que incursionaram meridionalmente pela costa leste do NEB. Analisaram-se apenas os SFs que ultrapassaram a latitude de Caravelas/BA (17°44'S; 39°15'W) (Figura 3.1), uma vez que a localização dessa estação meteorológica foi considerada estratégica em vários estudos sobre o deslocamento de SFs no NEB (KOUSKY, 1979; ANDRADE, 2005, entre outros). As estações meteorológicas consideradas no Boletim Climanálise e usadas nesse estudo foram: Ilhéus/BA (14°48'S; 39°03'W), Salvador/BA (12°56'S; 38°33'W), Aracaju/SE (10°56'S; 37°03'W), Maceió/AL (9°41'S; 35°41'W), Recife/PE (8°S; 34°54'W) e Ceará Mirim/RN (5°36'S; 34°30'W), cujas localizações geográficas estão ilustradas na Figura 3.1. Neste Boletim, os SFs são identificados através das análises de cartas sinóticas de superfície, níveis médios (500 hPa) e altitude (200 hPa), nos horários das 0000 UTC e 1200 UTC, e os campos de convergência de umidade na camada limite, temperatura potencial equivalente e advecção de temperatura potencial equivalente, estes dois últimos no nível de 850 hPa. A climatologia realizada (1986-2006) está apresentada no capítulo de Resultados e Discussões.

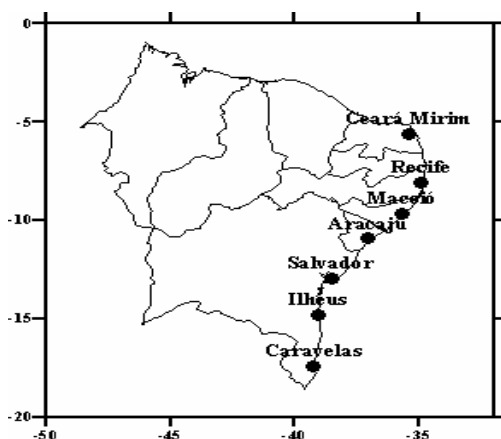


Figura 3.1 – Estações meteorológicas consideradas no levantamento do deslocamento meridional dos SFs pela rota litorânea do NEB.

Posteriormente, realizou-se uma inspeção visual das imagens de satélite procurando identificar quais dos SFs, que ao atingirem as latitudes ao norte de Caravelas, provocaram nebulosidade expressiva em Alcântara e totais pluviométricos na região. Entretanto, em alguns eventos mesmo ocorrendo nebulosidade expressiva em Alcântara, durante a permanência do SF no NEB, não foram registrados totais pluviométricos na região como, por exemplo, um evento em que o SF alcançou a estação meteorológica de Ceará Mirim ($\approx 5^{\circ}\text{S}$) em maio de 2002. Portanto, estes eventos também foram considerados neste estudo. Desse modo, selecionaram-se sete eventos para análise sinótica tomando-se como o principal critério uma intensa nebulosidade sobre a região de Alcântara, durante a permanência do SF no litoral do NEB e levando-se em consideração também a estação do ano, visando dar maior representatividade a análise. Não foram selecionados eventos nos anos de 1986 a 1992 devido à deficiência de dados observacionais da estação de Alcântara, impossibilitando assim observar a influência dos SF nos parâmetros de superfície da região. A Tabela 3.2 apresenta os eventos selecionados, onde o período do evento foi definido como a data de início da incursão do SF desde a região Sul do Brasil até seu máximo deslocamento pelo litoral do Brasil. A Figura 3.4 apresenta as imagens de satélite referente aos eventos selecionados e a posição de deslocamento dos SFs em sua rota litorânea.

Tabela 3.2 – Eventos escolhidos para estudo sinótico.

Eventos	Períodos	Dias de permanência dos SFs no NEB	Estações do Ano
1	28 a 04/04/1998	04 e 05/04	Outono
2	05 a 11/05/1999	09 a 11/05	Outono
3	19 a 28/05/2002	23 a 28/05	Outono
4	14 a 18/08/2003	17 e 18/08	Inverno
5	13 a 20/11/1999	15 a 20/11	Primavera
6	13 a 21/12/1999	16 a 21/12	Verão
7	17 a 22/02/2005	21 e 22/02	Verão

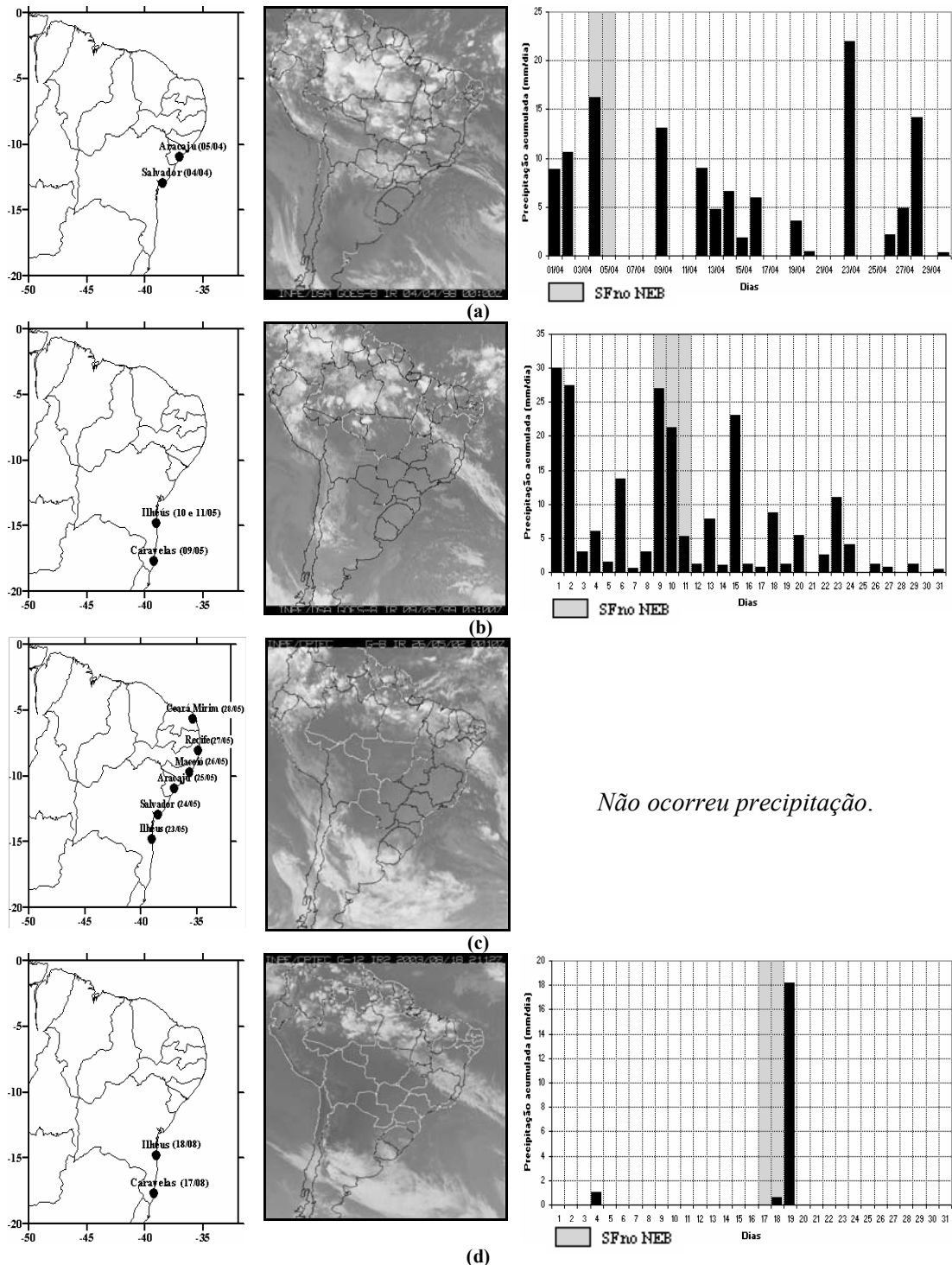
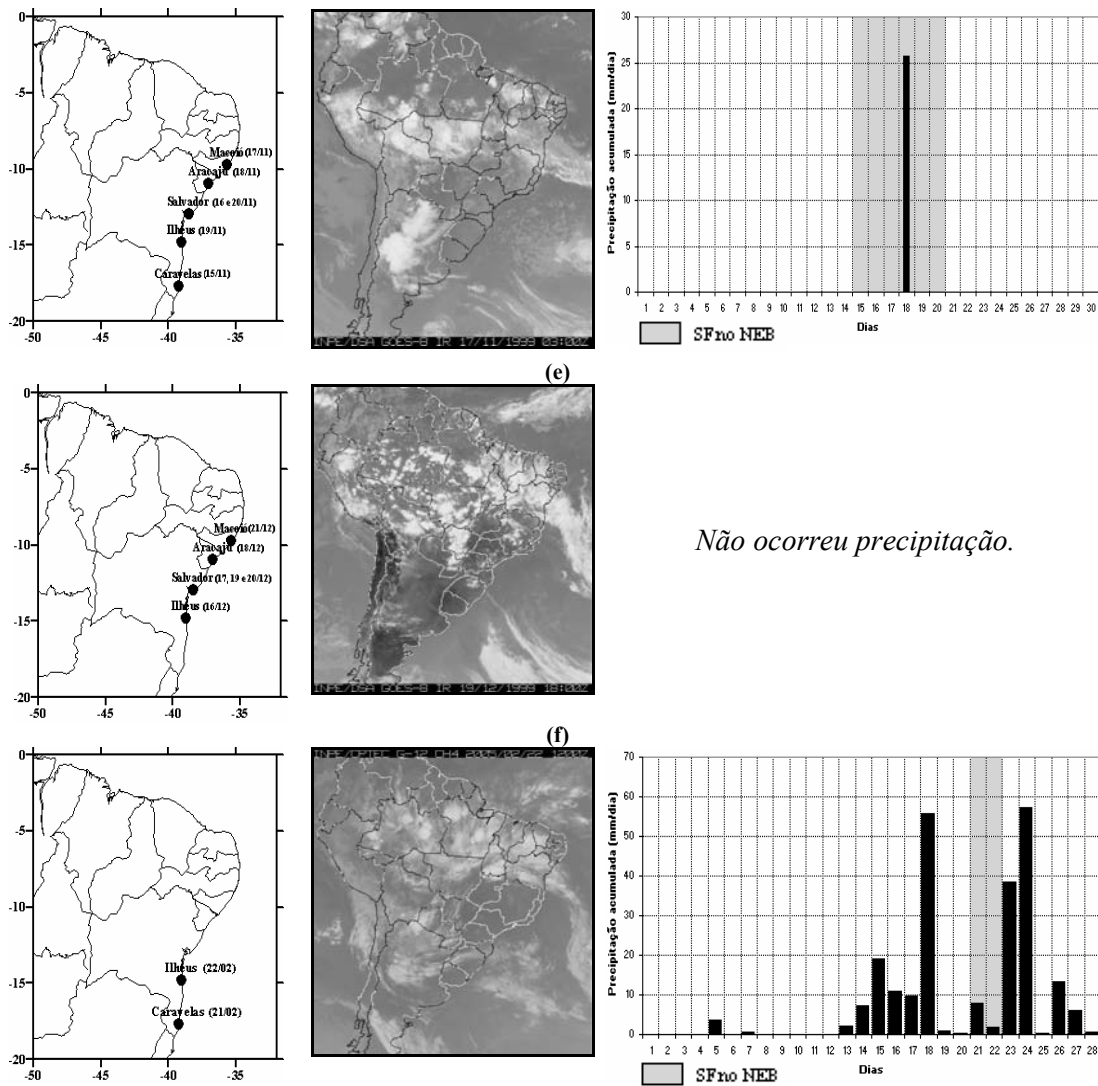


Figura 3.4 - Estações meteorológicas em que os SF atuam no litoral do NEB, imagens do satélite GOES no canal IR para os dias que os SF apresentaram nebulosidade intensificada durante sua passagem no NEB e totais pluviométricos referentes ao mês de ocorrência dos eventos, respectivamente, para os Eventos: a) 1 (abril de 1998); b) 2 (maio de 1999); c) 3 (maio de 2002); d) 4 (agosto de 2003); e) 5 (novembro de 1999); f) 6 (dezembro de 1999) e g) 7 (fevereiro de 2005) (continua).



(g)
 Figura 3.4 – Conclusão.

Da análise sinótica, o objetivo consistiu da identificação dos mecanismos sinóticos que favoreceram o deslocamento dos SFs em latitudes ao norte de 17°S. Estas análises foram baseadas nos campos meteorológicos de PNM, z e água precipitável, além dos campos derivados: vorticidade relativa (ζ) em 850 hPa e 200 hPa, advecção de temperatura em 850 hPa, e Linhas de Corrente (LC) em 850 hPa, 500 hPa e 200 hPa. Campos esses gerados através do software *Grid Analysis and Display System (GrADS)*, para o horário das 1200 UTC. Um segundo objetivo deste estudo consistiu da análise das características atmosféricas na região do CLA, antes, durante e depois da passagem dos SFs na rota litorânea do NEB, visando quantificar a influência deste na mudança dos

parâmetros de superfície, tais como: pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade do vento, T e UR. Durante a passagem do SF no NEB avaliou-se também a estrutura termodinâmica da atmosfera do CLA através dos dados de radiossondagens, os quais foram plotados em diagramas Skew T – Log P e analisados pelos índices de instabilidade descritos abaixo:

- Índice de Levantamento (IL), definido como (GALWAY, 1956):

$$IL = T_{500} - T_{\text{parc}}$$

Onde, T_{500} é a temperatura do ar em 500 hPa e T_{parc} é a temperatura de uma parcela levantada adiabaticamente até o nível de 500 hPa (ambas expressas em graus Celsius). Valores negativos de IL indicam condições instáveis, ou seja, a parcela de ar ascendente é flutuante em níveis médios. IL abaixo de -5°C indica situação muito instável, e extremamente instável se abaixo de -10°C (NASCIMENTO, 2005).

- Índice K, definido como (GEORGE, 1960):

$$K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d\ 850} - (T_{700} - T_{d\ 700})$$

O índice K é uma medida do potencial de tempestades baseado na taxa vertical de temperatura, no conteúdo de umidade na baixa troposfera e na extensão vertical da camada úmida. T e T_d são, respectivamente, a temperatura e temperatura do ponto de orvalho para os níveis indicados em subscritos. Quanto mais positivo este índice, maior será a chance de ocorrência de tempestades. Em geral, um limiar crítico para esse índice no Brasil é de aproximadamente 30°C , e quanto maior o valor de K maior instabilidade (DA SILVA et al., 2005). Os valores críticos para o índice K e as condições esperadas estão apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Valores críticos do Índice K

Índice K ($^{\circ}\text{C}$)	Condição Esperada
0 a 15	0%
16 a 19	20% (improvável)
20 a 25	35% (tempestades isoladas)
26 a 29	50% (tempestades dispersas)
30 a 35	85% (numerosas tempestades)

Fonte: Fogaccia e Filho, 2000; Loureiro, 2005; Gemiacki, 2005.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Climatologia (1986-2006) dos SFs que incursionaram pela rota litorânea do NEB em latitudes ao norte de 17°S

Constatou-se, através da climatologia dos SFs que incursionaram meridionalmente pelo o NEB que, em geral, há uma diminuição gradativa na incursão de SFs para latitudes mais ao norte, resultados coerentes com os de Oliveira (1986), Lemos e Calbete (1996) e Andrade (2005) (Tabela 4.1 e Figura 4.2). Em média, do total de SFs que incursionaram pela rota litorânea, contabilizado em todo o NEB (420 SFs), a maior parte deles só conseguiu se deslocar até as latitudes de Ilhéus (46%) e Salvador (31%), conforme visto pela Tabela 4.1. Quase não se observaram incursões frontais até o Ceará Mirim/RN ($\approx 5^{\circ}\text{S}$) onde, para o período de 1986 a 2006, apenas um SF, ocorrido em 2002, conseguiu se deslocar até essa latitude. Já para a localidade de Maceió/AL, que está aproximadamente localizada em 9°S , as incursões frontais ocorreram com maior frequência, as quais corresponderam a 6% do total de eventos observado em todo o período analisado. A diferença é ainda maior quando se compara as localidades de Maceió/AL e Aracaju/SE, que estão distantes por aproximadamente 1° de latitude e a frequência de incursões frontais nesta localidade corresponde a 15% do total de eventos identificados. Para toda costa litorânea do NEB, assim como as estações de Ilhéus, Salvador e Aracaju, a maior quantidade de incursões de SFs ocorreram nos anos de 2000 e 1999. Todavia, para a estação de Maceió, o máximo de incursões ocorreu no ano de 1998, apesar de que se observou um alto total de incursões frontais em todo o litoral do NEB (38 SFs), enquanto que para Recife o máximo ocorreu no ano de 1988 (2 SFs).

Vale salientar que, em geral, as incursões frontais no NEB parecem ser regidas pelo fenômeno El Niño e La Niña tendo sido possível detectar uma maior quantidade de incursões frontais em anos de La Niña, como se observou nos anos de 1998 (26SFs), 1999 (43SFs) e 2000 (47SFs), quando comparados com a quantidade de incursões frontais observadas em anos de El Niño, como por exemplo, os anos de 1986 (4SFs), 1992 (8SFs) e 1994 (7SFs). Tal característica pode ser atribuída pela influência destes fenômenos na configuração do escoamento troposférico. Em anos de El Niño, por

exemplo, devido ao aumento do gradiente de temperatura norte-sul o JS se intensifica e favorece o aumento das situações de bloqueios atmosféricos (KOUSKY E CAVALCANTI, 1984; CAVALCANTI, 1996; PEZZI et al., 1996; CRUZ, 2001; WIEDNMANN et al., 2002; MENDES et al., 2005). As frentes frias tendem a permanecer quase - estacionárias ao norte da latitude do JS, que anos de El Niño posicionam-se próximo da latitude de 30°S (SATYAMURTY et al., 1998). Resultados como os de Fedorova e Carvalho (2000) mostraram que as frentes frias que incursionam na AS, durante a configuração do fenômeno El Niño, tendem a permanecer atuantes nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (entre 40°S e 20°S) favorecendo para o aumento de precipitação nestas regiões (FEDOROVA et al., 2007). Em contrapartida, em anos de configuração do fenômeno La Niña, ocorre o enfraquecimento do JS, o qual favorece para o rápido deslocamento das frentes frias pelas regiões Sul e Sudeste do Brasil, contribuindo para o seu deslocamento até o litoral dos estados da Bahia, Sergipe e Alagoas (FUNCEME, 2007).

Tabela 4.1 – Número de SFs que incursionaram meridionalmente pelo litoral do NEB até latitudes abaixo de 17°S no período de 1986 a 2006.

Ano/ Estação	Ilhéus (14°48'S; 39°03'W)	Salvador (12°56'S; 38°33'W)	Aracajú (10°56'S; 37°03'W)	Maceió (9°41'S; 35°41'W)	Recife (8°S; 34°54'W)	Ceará Mirim (5°36'S; 34°30'W)	Total
1986	2	2	0	0	0	0	4
1987	9	7	3	1	0	0	20
1988	7	6	3	3	2	0	21
1989	11	11	3	2	1	0	28
1990	10	8	3	1	0	0	22
1991	14	11	8	5	0	0	38
1992	4	2	2	0	0	0	8
1993	2	0	0	0	0	0	2
1994	3	2	1	1	0	0	7
1995	7	7	4	2	0	0	20
1996	10	5	2	0	0	0	17
1997	9	4	3	1	1	0	18
1998	13	9	4	0	0	0	26
1999	17	12	9	4	1	0	43
2000	20	15	9	2	1	0	47
2001	7	4	1	0	0	0	12
2002	5	4	2	1	1	1	14
2003	8	5	2	1	0	0	16
2004	15	5	1	0	0	0	21
2005	13	5	1	1	0	0	20
2006	9	5	2	0	0	0	16
Total	195	129	63	25	7	1	420

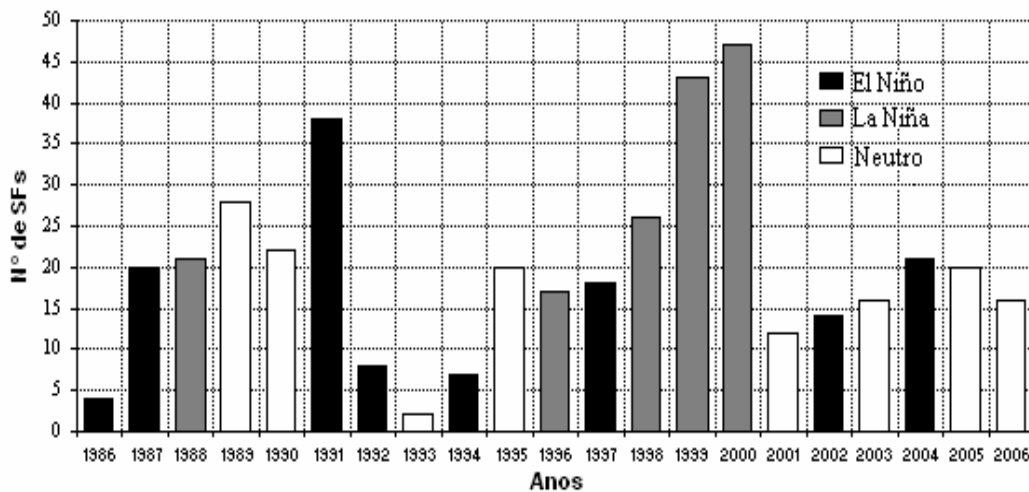


Figura 4.2 – Climatologia (1986-2006) do número de SFs que incursionaram pela rota litorânea do NEB até latitudes ao norte de 17°S. As colunas em pontos cinza correspondem aos anos de La Niña, em pontos pretos El Niño e em pontos brancos neutros.
 Fonte: http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

Realizou-se também uma climatologia da distribuição mensal dos SFs que incursionaram até latitudes abaixo de 17°S (Figura 4.3), da qual verificou-se que as máximas incursões frontais no NEB ocorrem no mês de novembro (estação de transição), resultados similares aos obtidos por Oliveira (1986) e Andrade (2005), onde tais incursões estão associadas com a CT (OLIVEIRA, 1986).

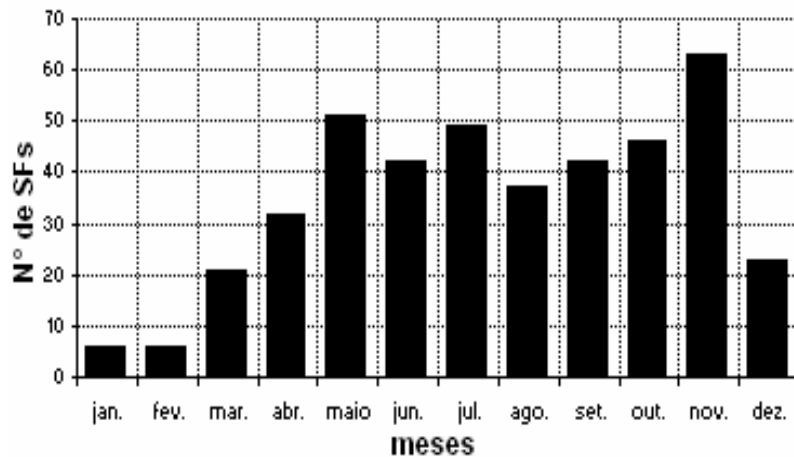


Figura 4.3 – Climatologia (1986-2005) da distribuição mensal dos SFs que incursionaram pela rota litorânea do NEB até latitudes abaixo de 17°S.

4.2 Estudo sinótico

Nesta seção são apresentadas às análises sinóticas de sete eventos selecionados, a saber: três eventos ocorridos no outono, um no inverno, um na primavera, e dois no verão austral.

4.2.1 Estudo de Eventos para o Outono Austral

No primeiro evento estudado, ocorrido no período de 28 a 05/04/1998, verificou-se a presença de um SF em Sergipe que incursionou desde o Rio Grande/RS em 28/03/98 e se deslocou meridionalmente pelo litoral até atingir Sergipe no dia 05 de abril (Figura 4.1a). O segundo evento selecionado ocorreu em maio de 1999, onde se observou a incursão do SF em 05/05 no Rio Grande do Sul que posteriormente se deslocou pela costa litorânea até atingir a região de Ilhéus/BA no dia 11/05, onde o sistema enfraqueceu (Figura 4.1b). Em maio de 2002, ocorreu o terceiro evento, onde o SF originou-se da passagem de um cavado sobre o sul do Brasil, em 18/05, adquirindo uma trajetória meridional chegando a se deslocar até o estado do Rio Grande do Norte em 28/05 (Figura 4.1c). As discussões sinóticas de cada evento serão apresentadas a seguir.

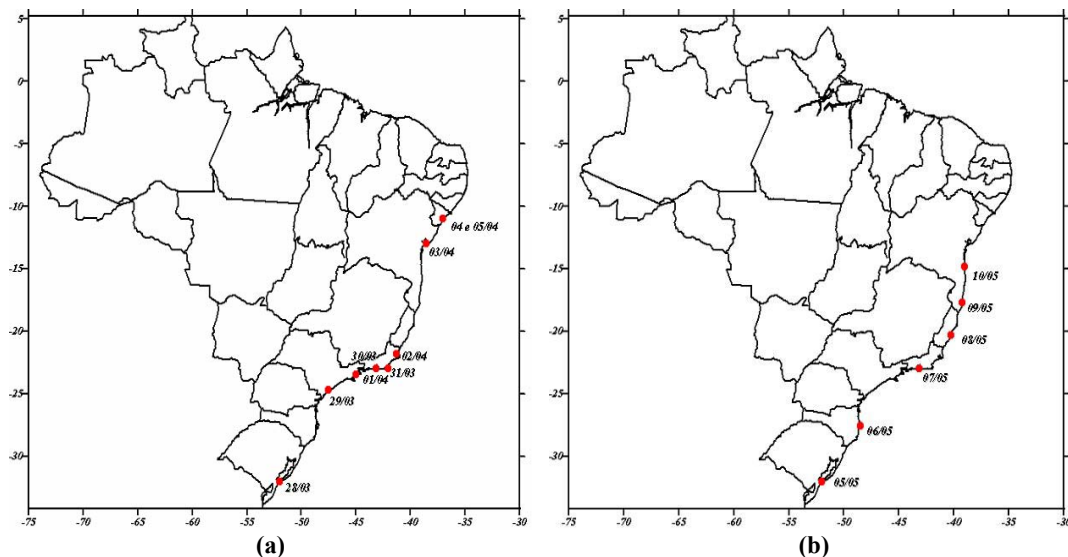
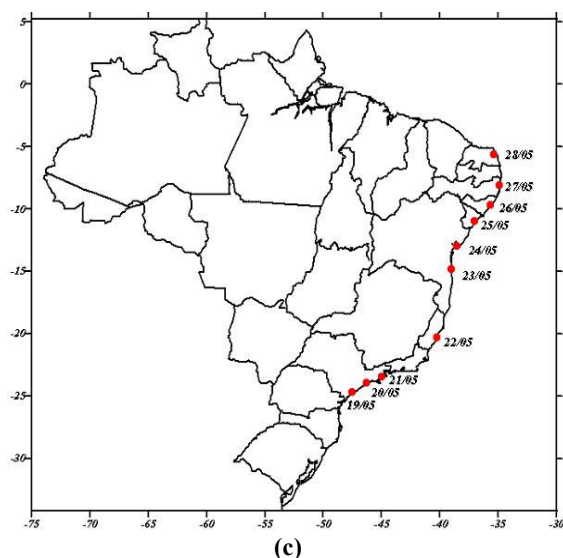


Figura 4.1 – Posição do SF em superfície as 1200UTC para os Eventos: a) 1 (28 de março a 05 de abril de 1998), b) 2 (05 a 11 de março de 1999) e c) 3 (19 a 28 de março de 2002) (continua).

Fonte: <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>.



(c)
Figura 4.1 – Conclusão.

4.2.1.1 Evento 1: Período de 28/03/1998 a 04/04/1998

Em 27 de março observou-se uma massa de nuvens presente sobre o norte da Argentina e sul do Brasil com uma curvatura anticiclônica e a presença de nuvens cirrus em sua fronteira (Figura 4.2a). Padrão de nebulosidade este associado à presença de uma região de advecção de ar quente ao norte da massa de ar, que favoreceu o aumento do gradiente de temperatura e propiciou após 24h ciclogênese (formação do ciclone) e formação do SF (frontogênese) sobre o OAS, próximo à costa leste da Argentina (Figura 4.2b e c). Características estas (padrão de nebulosidade sobre a região da Argentina) também ressaltadas por Fedorova e Bakst (1999) como favoráveis a ciclogênese após 24h e 48h. O ciclone formado teve um rápido desenvolvimento e no dia 28/03 as 1200 UTC (Figura 4.2d) apresentou-se em estágio maduro (nebulosidade espiralada) (STRETEN E TROUP, 1973), e em 29/03 entrou em fase de dissipação (Figura 4.2h). Entretanto, no dia 30/03 (Figura 4.2m), o ciclone voltou a se regenerar se deslocando para sudeste em 31/03 (Figura 4.2n). Em 01/04, notou-se que a banda frontal se intensificou sobre o sudeste do Brasil devido sua interação com um ciclone extratropical, identificado na imagem de satélite a partir das 0900 UTC do dia anterior (Figura 4.2n e 4.2r). Em 02/04 as 0000UTC, ocorreu o desprendimento de uma massa de nuvens na retaguarda do ciclone, o qual já havia se deslocado para sudeste (Figura 4.2u). Esta massa de nuvens deslocou-se nos dias subsequentes para nordeste,

adquirindo uma configuração de nuvem vírgula invertida (estágio maduro), no horário das 2100UTC (Figura 4.2w) e ocluiu instantaneamente com a banda frontal no dia 04/04 as 0000UTC (Figura 4.2y), fazendo com o SF persistisse no NEB até o dia 05/04 (imagem não apresentada).

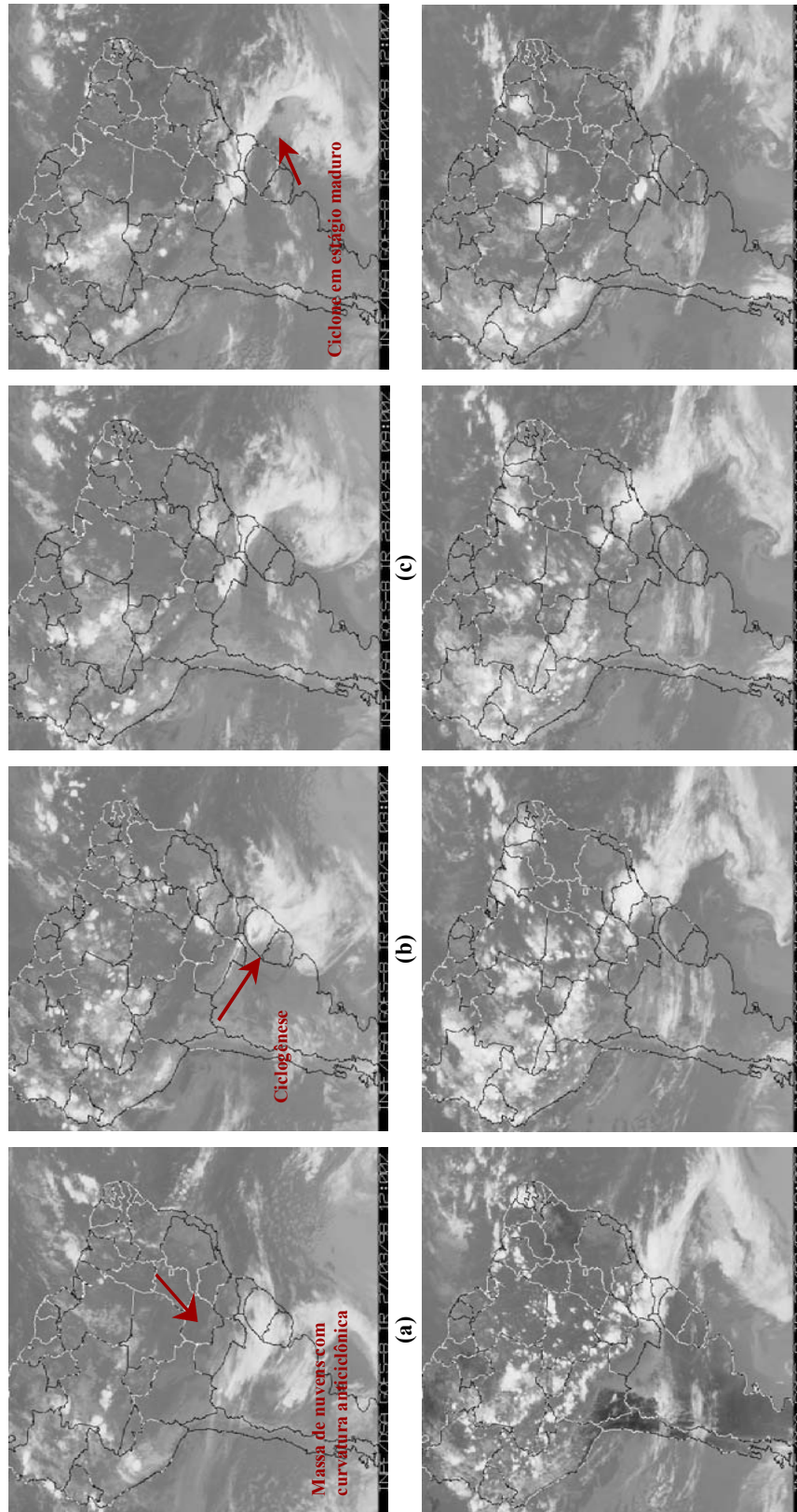


Figura 4.2 – Sequência de imagens do satélite GOES-8, canal infravermelho: a) 27/03/1998, 1200UTC; b) 28/03/1998, 0300UTC; c) 28/03/1998, 0900UTC; d) 28/03/1998, 1200UTC; e) 28/03/1998, 1800UTC; f) 29/03/1998, 0000UTC; g) 29/03/1998, 0300UTC; h) 29/03/1998, 1200UTC; i) 29/03/1998, 2100UTC; j) 30/03/1998, 0000UTC; l) 30/03/1998, 0300UTC; m) 30/03/1998, 1200UTC; n) 31/03/1998, 0900UTC; o) 31/03/1998, 1200UTC; p) 31/03/1998, 1500UTC; q) 31/03/1998, 1800UTC; r) 01/04/1998, 1200UTC; s) 01/04/1998, 1500UTC; t) 01/04/1998, 1800UTC; u) 02/04/1998, 0000UTC; v) 02/04/1998, 1200UTC; w) 02/04/1998, 2100UTC; x) 03/04/1998, 1200UTC e y) 04/04/1998, 0000UTC (continua).

Fonte: <http://satelite.cptec.inpe.br/>.

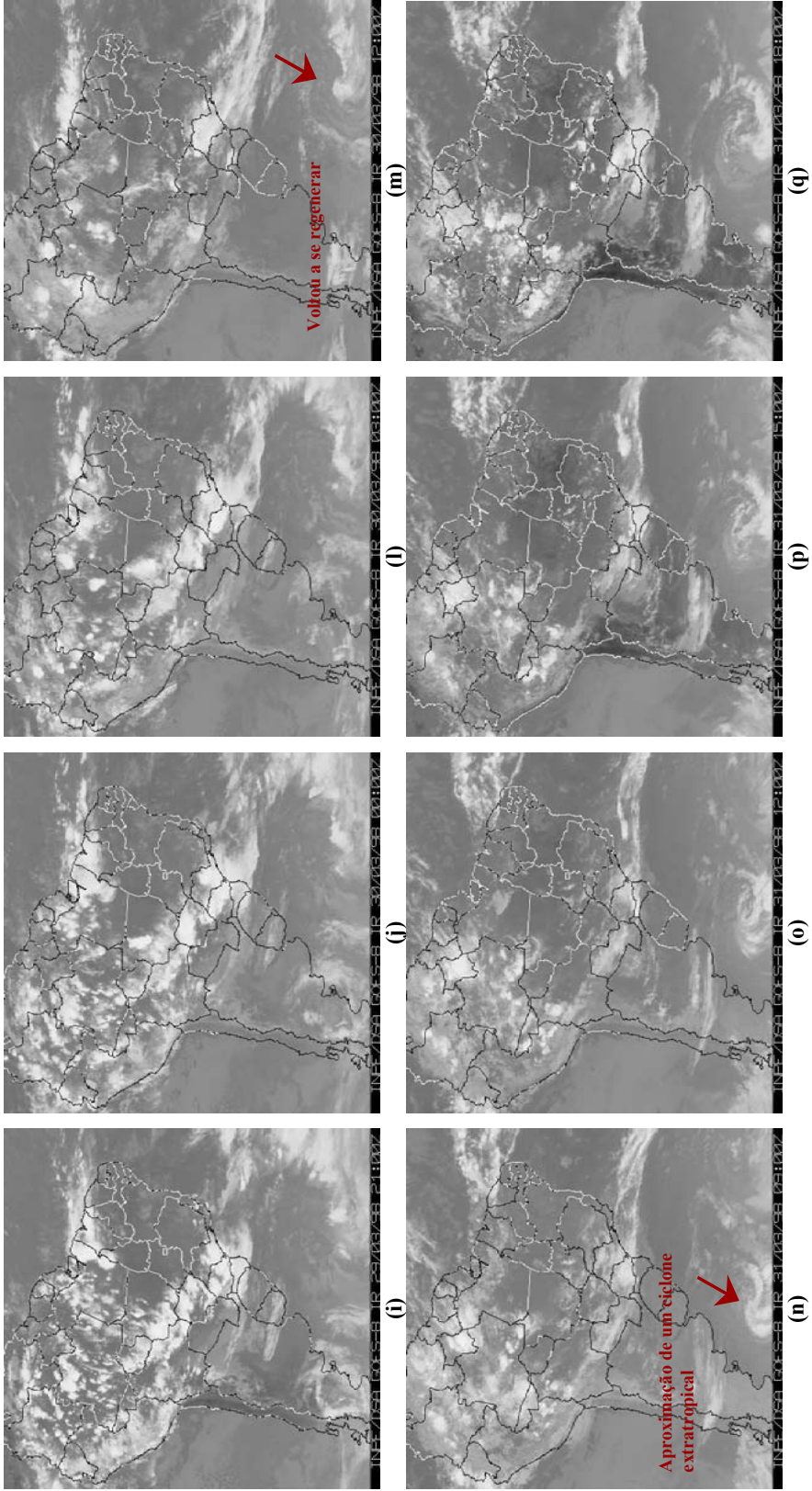


Figura 4.2 – Continua.

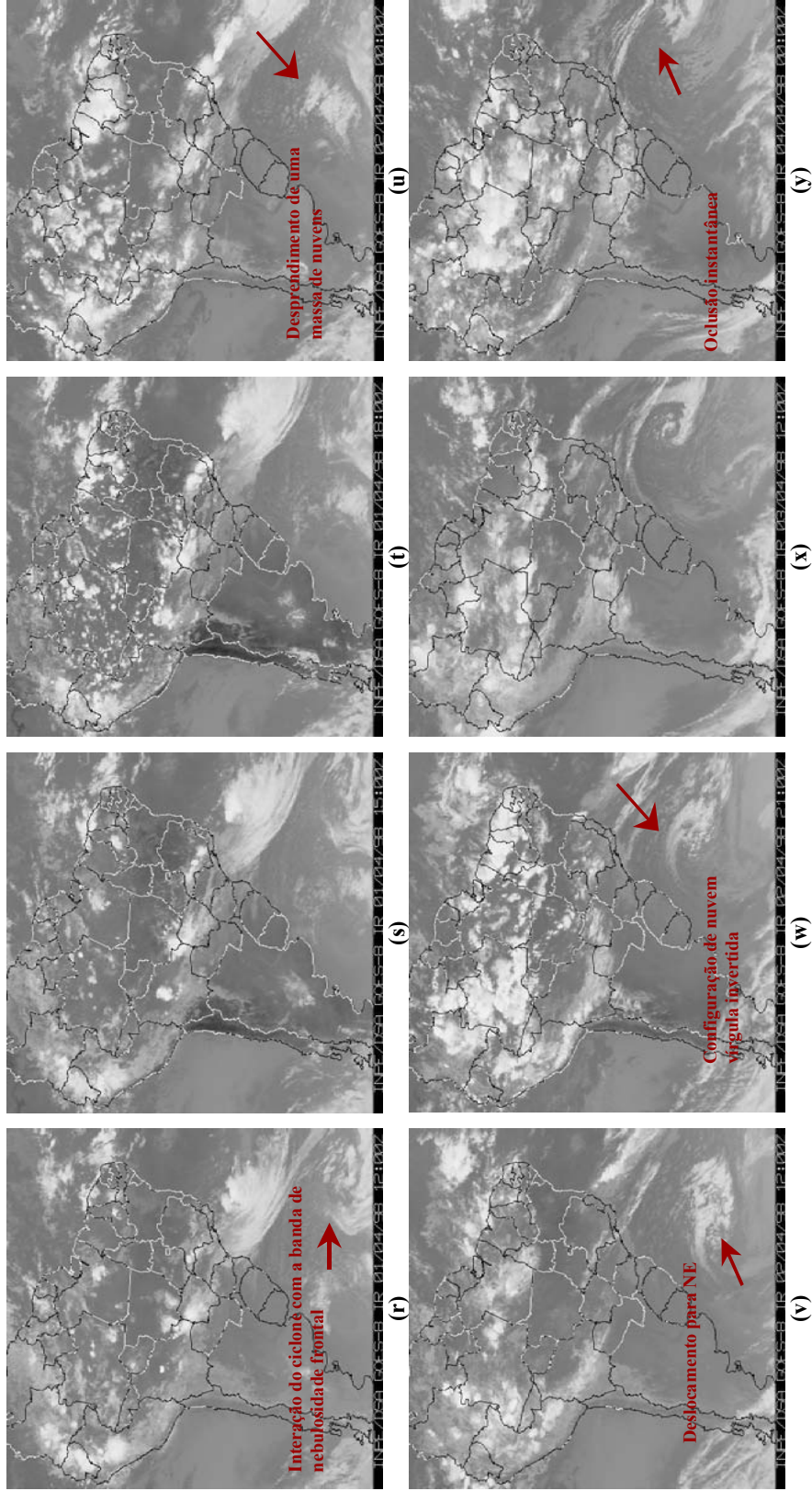


Figura 4.2 – Conclusão.

4.2.1.1.1 Escoamento em baixos níveis

A Figura 4.3 apresenta os campos de PNM e de ζ , para todos os dias do evento 1. No dia inicial do evento (28/03) o SF esteve associado a um sistema de baixa pressão (1010 hPa) localizado sobre o OAS (aproximadamente em 40°S/45°W) e uma região de ζ negativa, variando entre $-0,4$ e $-0,2 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ (Figura 4.3a). No dia seguinte, a baixa pressão perdeu intensidade e o SF ficou associado apenas a um cavado (Figura 4.3b). Entretanto, a baixa apresentou valores mais intensos de PNM, em 30/03 (Figura 4.3c), pela sua associação com um cavado notado no extremo sul da AS, em 29/03, próximo de 55°S/65°W (Figura 4.3b). Ainda em 30/03, observou-se novamente sobre o extremo sul da AS, próximo de 55°S e 70°W, um região de ζ negativa. Essa área foi associada posteriormente a formação de um ciclone extratropical, em 31/03, confirmando o observado na imagem de satélite (Figura 4.3d).

Em 01/04, o ciclone extratropical interagiu com a banda frontal provendo sua intensificação sobre o sudeste brasileiro (Figura 4.3c), como observado na imagem de satélite. Neste mesmo dia, notou-se na retaguarda da baixa pressão associada ao SF, um alongamento da região do ζ , negativa, associada posteriormente na imagem a configuração de nuvem vírgula invertida (frente fria secundária) em 03/04 as 0000UTC, a qual se expandiu no dia 02/04 e se despreendeu da baixa as 1200UTC, deslocando-se para nordeste. Em 04/04, o distúrbio ocluiu instantaneamente com o SF favorecendo a sua reorganização já que este se encontrava fraco no dia anterior sobre Salvador/BA, devido o deslocamento para leste da baixa pressão associada ao sistema (Figura 4.2h). Devido esse processo, o SF conseguiu se deslocar para Aracajú/SE, permanecendo atuante na localidade até o dia 05/04 (figuras não mostradas). Assim, sugere-se que os processos de oclusão instantânea e ciclogênico foram fatores favoráveis para o deslocamento do SF para 10,9°S, confirmando os resultados encontrados por Gemiacki (2005).

Realizaram-se também análises dos campos de advecção de temperatura, sobreposto ao campo de vetor vento em 850 hPa (Figura 4.4), e linhas de corrente, sobreposto à altura geopotencial em 850 hPa (Figura 4.5). No campo de advecção de temperatura, notou-se

no início do evento (28/03) uma região de advecção de ar quente sobre a região frontal (identificado através da confluência dos ventos) próximo de $29^{\circ}\text{S}/49^{\circ}\text{W}$, favorecida por um escoamento de norte na região de saída do Jato de Baixos Níveis (JBN) (Figura 4.4a). Essa área foi identificada 24 horas antes na imagem de satélite, inferida através da curvatura anticiclônica da massa de nuvens presente sobre a região (Fedorova e Bakst, 1999), a qual favoreceu a formação do ciclone. Em 29/03, as regiões de advecção de ar quente na vanguarda da frente e advecção de ar frio na retaguarda, demarcaram a localização da frente fria em superfície (Figura 4.4b). Em 30/03, estas regiões de advecção de temperatura apresentaram valores mais intensos devido à interação de um cavado bórico (Figura 4.3b) com o SF promovendo frontogênese do sistema (Figura 4.4c). Em 01/04, notou-se a reorganização dessas áreas de advecção de temperatura na vanguarda (quente) e retaguarda (fria) da frente proporcionada pela interação de um ciclone extratropical com a banda frontal (Figura 4.2r e 4.3e). Assim como ocorreu também no dia 04/04, devido à oclusão instantânea de uma frente secundária com a frente principal (Figura 4.4h). Durante todo evento, nos dias que estas regiões de advecção quente na vanguarda e advecção fria na retaguarda do SF ficaram bem caracterizadas, houve o favorecimento do deslocamento do SF para latitudes mais baixas.

A ASAS e a ASPS também foram monitoradas neste estudo utilizando os campos de PNM e de linhas de corrente (Figura 4.3 e 4.4). No início do evento, a ASAS apresentou-se próxima à costa leste da AS (33°S , 35°W) e a ASPS configurou-se na costa oeste do continente sul-americano, com valores menos intensos que a ASAS (Figuras 4.3a e 4.5a). Em 29/03, a ASAS começou a enfraquecer (1020 hPa) e deslocar-se para leste proporcionada pela propagação do SF (Figuras 4.3b e 4.5b). Verificou-se ao longo do evento que a ASPS apresentou deslocamento para leste e adentrou o continente próximo de 40°S contribuindo em 31/03 para uma anticiclogênese (formação do anticiclone) sobre a região. A formação do anticiclone, sobre o continente sul-americano, e posteriormente sua intensificação (01/05) foram favorecidos possivelmente pela barreira topográfica dos Andes que, nesta faixa de latitude, apresenta elevação maior que 2000m acima do nível médio do mar e faz com que o ar frio proveniente de sudeste, que não consegue ultrapassar os Andes, contorne a

Cordilheira, aumentado assim sua curvatura anticiclônica, além de desacelerar o fluxo de oeste ao norte do anticiclone acarretando o acúmulo de ar frio a leste da montanha (Figuras 4.5d a 4.5h) (LICHTENSTEIN, 1989). Devido o enfraquecimento do fluxo de oeste ao norte do anticiclone, ocorre também um rompimento do equilíbrio geostrófico pelo enfraquecimento correspondente da força de Coriolis, de modo que a força de gradiente de pressão direcionada para fora do centro de pressão empurra o anticiclone para norte, o qual contribuiu para o deslocamento do SF em direção as latitudes mais baixas (SELUCHI et al., 1998; ANDRADE, 2005).

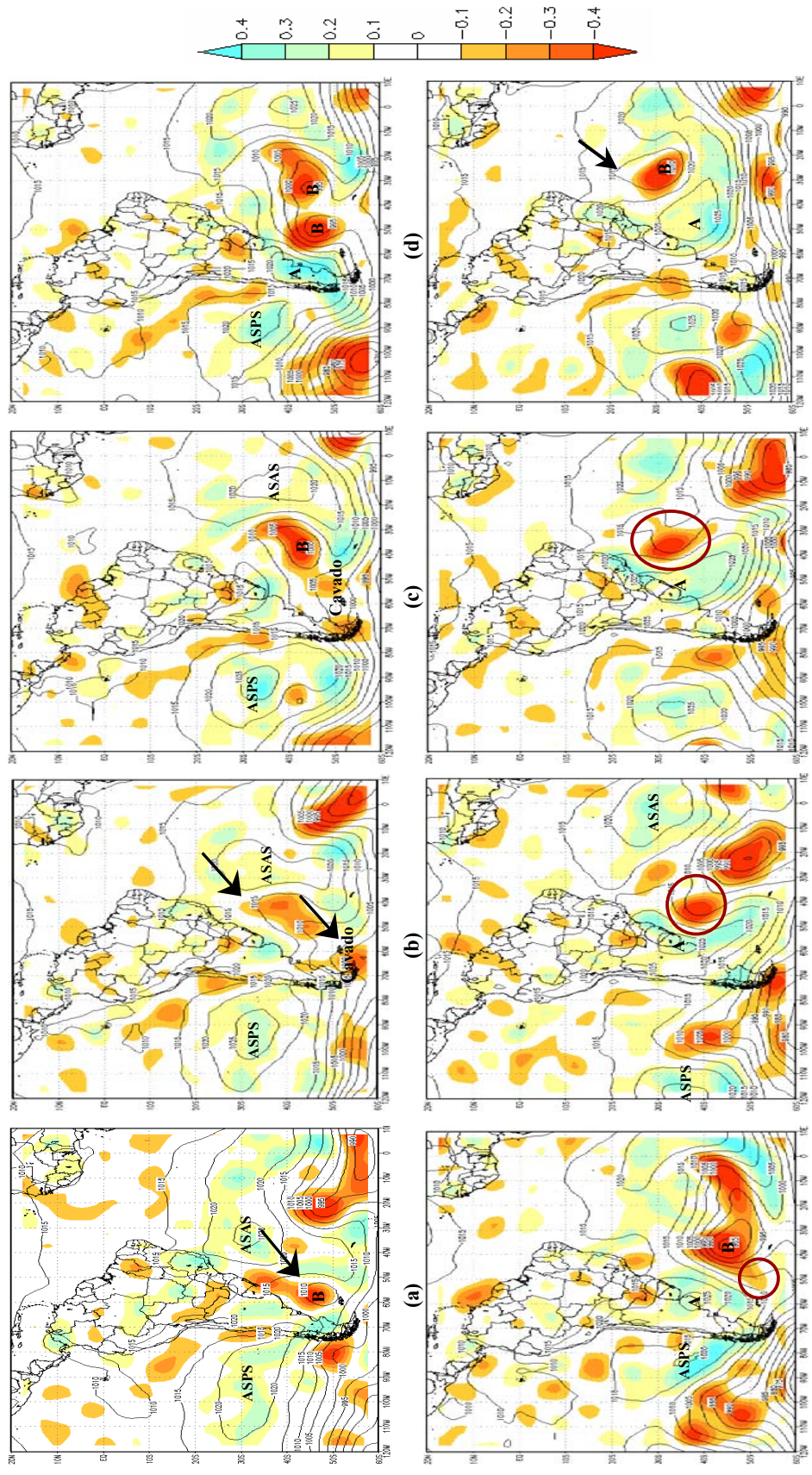


Figura 4.3 – Campos de ζ ($\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$) no nível de 850 hPa (em cores) e PNM as 1200UTC para os dias: a) 28/03/1998, b) 29/03/1998, c) 30/03/1998, d) 31/03/1998, e) 01/04/1998, f) 02/04/1998, g) 03/04/1998 e h) 04/04/1998.

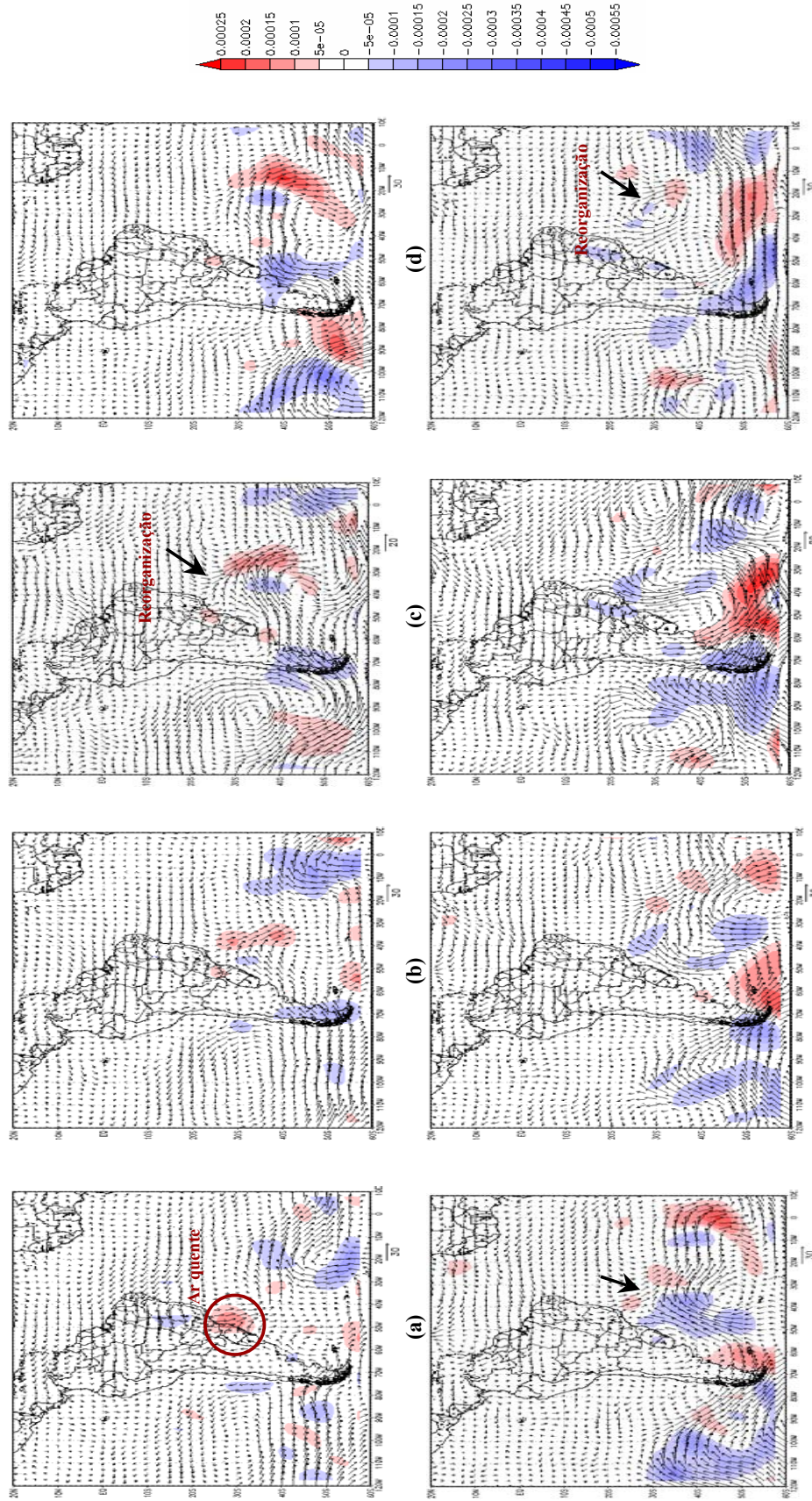


Figura 4.4 – Campos de Advecção de Temperatura ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$) e Vento em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 28/03/1998, b) 29/03/1998, c) 30/03/1998, d) 31/03/1998, e) 01/04/1998, f) 02/04/1998, g) 03/04/1998, h) 04/04/1998.

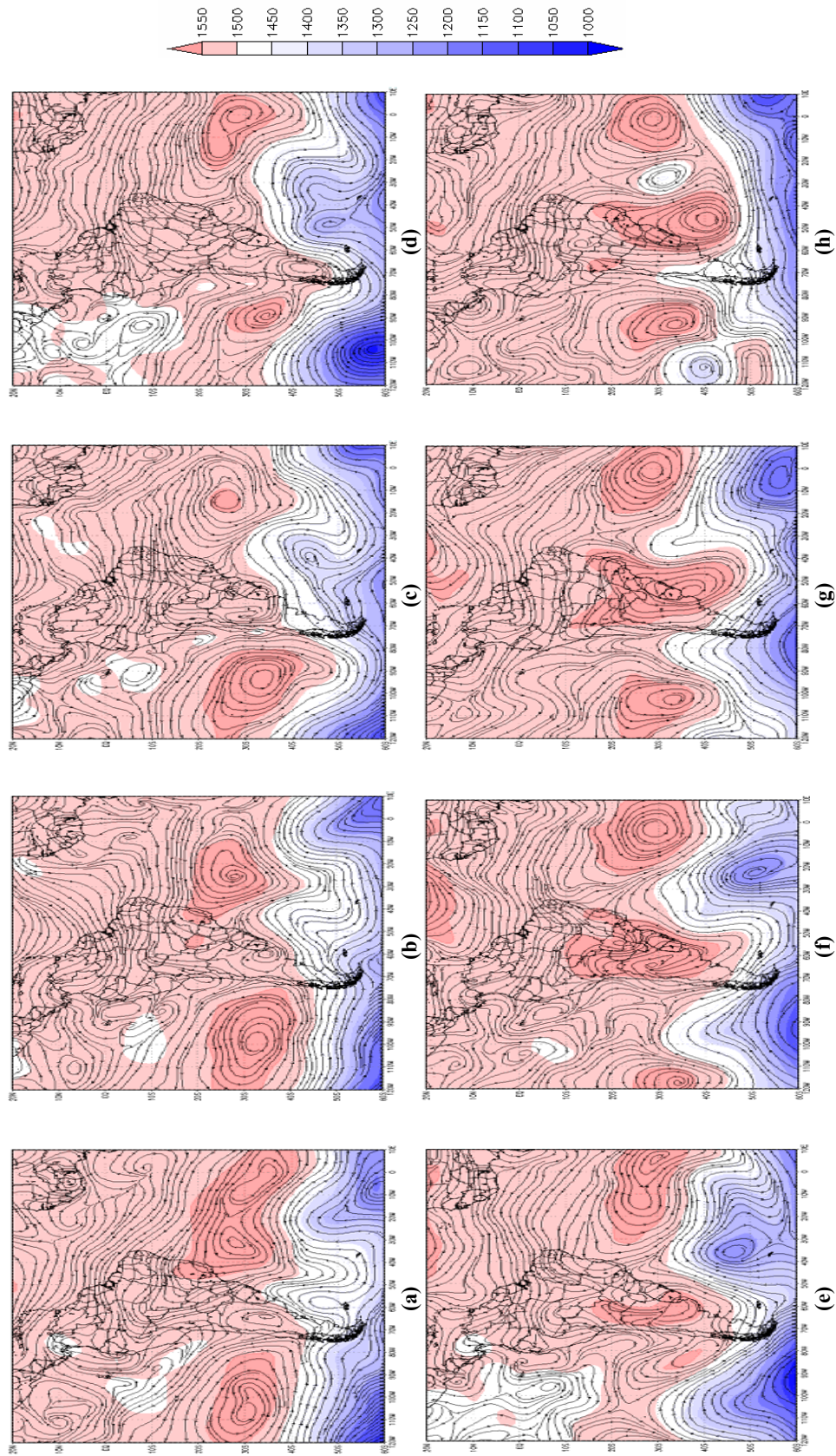


Figura 4.5 – Campos de LC e z em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 28/03/1998, b) 29/03/1998, c) 30/03/1998, d) 31/03/1998, e) 01/04/1998, f) 02/04/1998, g) 03/04/1998 e h) 04/04/1998.

4.2.1.1.2 Escoamento em médios níveis

As análises de geopotencial em 500hPa mostrou um cavado frio inicialmente em 28/03 sobre a costa leste da AS, próximo de 45°S/59°W, associado ao SF em superfície, deslocado para oeste (baroclínico) (Figura 4.6a). Nos dias subsequentes, este cavado deslocou-se para o OAS e acentuou-se meridionalmente chegando a atingir o sul da Bahia em 03/04 (Figura 4.6g). Em 04/04, sobre a região do cavado frio notou-se a presença de um vórtice ciclônico, próximo de 35°S/30°W (Figura 4.6h). Na região a retaguarda do vórtice ciclônico observou-se uma circulação anticiclônica acentuada, formada em 02/04 sobre a costa oeste da AS (Figuras 4.6f). Esta circulação anticiclônica esteve associada em baixos níveis a uma alta pressão com lento deslocamento, que favoreceu o início de um período de bloqueio. O padrão de bloqueio iniciou-se com intensificação da alta pressão em superfície (03/04), a retaguarda do SF, proporcionada pela Cordilheira dos Andes que na sua parte leste e em regiões próximo de 40°S afetam os anticiclones pela sua orografia. Ao norte do anticiclone o fluxo de oeste não consegue atravessar a montanha e é desacelerado e como resultado os Andes agem como uma barreira que acumula o ar frio e, em seguida favorece a anticiclogênese (SELUCHI et al., 1998). Outra característica que também proporcionou a formação do padrão de bloqueios foi associada à intensificação do JS em altos níveis, como mencionado a seguir.

4.2.1.1.3 Escoamento em altos níveis

No nível de 200 hPa, ainda observou-se a presença do cavado frontal, próximo de 40°S/50°W, o qual apresentou-se deslocado para oeste (Figura 4.7a). No decorrer do evento o cavado deslocou-se para leste e se acentuou meridionalmente proporcionando nos dias finais do evento a formação de um VCAN (Figura 4.7h). Favorecido também pela intensificação do JS, o qual se apresentou bastante intenso sobre o OAS desde o dia 31/03, chegando a atingir valores acima de 72 ms⁻¹ em 04/04, contribuindo para o aumento de ζ ciclônica em seu lado sul (Figuras 4.7d-h, 4.8d-h). Processo similar ocorreu no lado norte do JP, o qual apresentou valores bastante intensos sobre o OPS (superior a 72 ms⁻¹), a partir também do dia 31/03, contribuindo com aumento de ζ

anticiclônica e assim favorecendo fechamento de uma circulação anticiclônica (Figuras 4.7d-h, 4.8d-h). O VCAN e o vórtice anticiclônico estiveram associados, em baixos níveis, a uma baixa fria e um centro de alta pressão, respectivamente, características do padrão do bloqueio (MARQUES, 1996). Nos dias iniciais do evento a AB apresentou-se configurada, sobre o norte da Bolívia com valores de ζ anticiclônica da ordem de $0,4 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ associado em baixos níveis a uma região de circulação ciclônica, a qual favorecendo movimento vertical ascendente e conseqüentemente, aumento de nebulosidade na região (Figuras 4.7a e 4.8a). Em 29/03, notou-se o deslocamento da AB para oeste possivelmente associado com o avanço do cavado frontal no continente, que produz advecção de vorticidade negativa sobre a região e faz com que diminua a ζ no lado leste da AB (Figuras 4.7b e 4.8b), conforme sugerido por Oliveira (1986). Nos dias subseqüentes a AB enfraqueceu e configurou em dois centros, nos dias 30 e 31/03, voltando-se a se fortalecer em 01/04, sobre a região norte da Bolívia e não se configurou nos dias finais do evento (Figuras 4.7d-h e 4.8d-h).

Durante todo evento 1, desde a incursão do SF no sul do Brasil até sua incursão no NEB, os mecanismos sinóticos observados durante o deslocamento do sistema foram:

- Interação da banda de nebulosidade frontal com um ciclone extratropical;
- Aparecimento de uma frente fria secundária e a ocorrência de oclusão instantânea;
- Intensificação da ASPS e enfraquecimento da ASAS e seus deslocamento para leste;
- Intensificação do anticiclone pós-frontal promovido pela barreira topográfica da Cordilheira dos Andes.
- Ventos intensos de norte, na região de saída do JBN, apenas no dia inicial do evento;
- Amplificação do cavado frontal, se deslocando até a região da Bahia no penúltimo dia do evento;
- Deslocamento da AB para oeste e seu enfraquecimento;
- Fraca intensidade do JS sobre o continente.

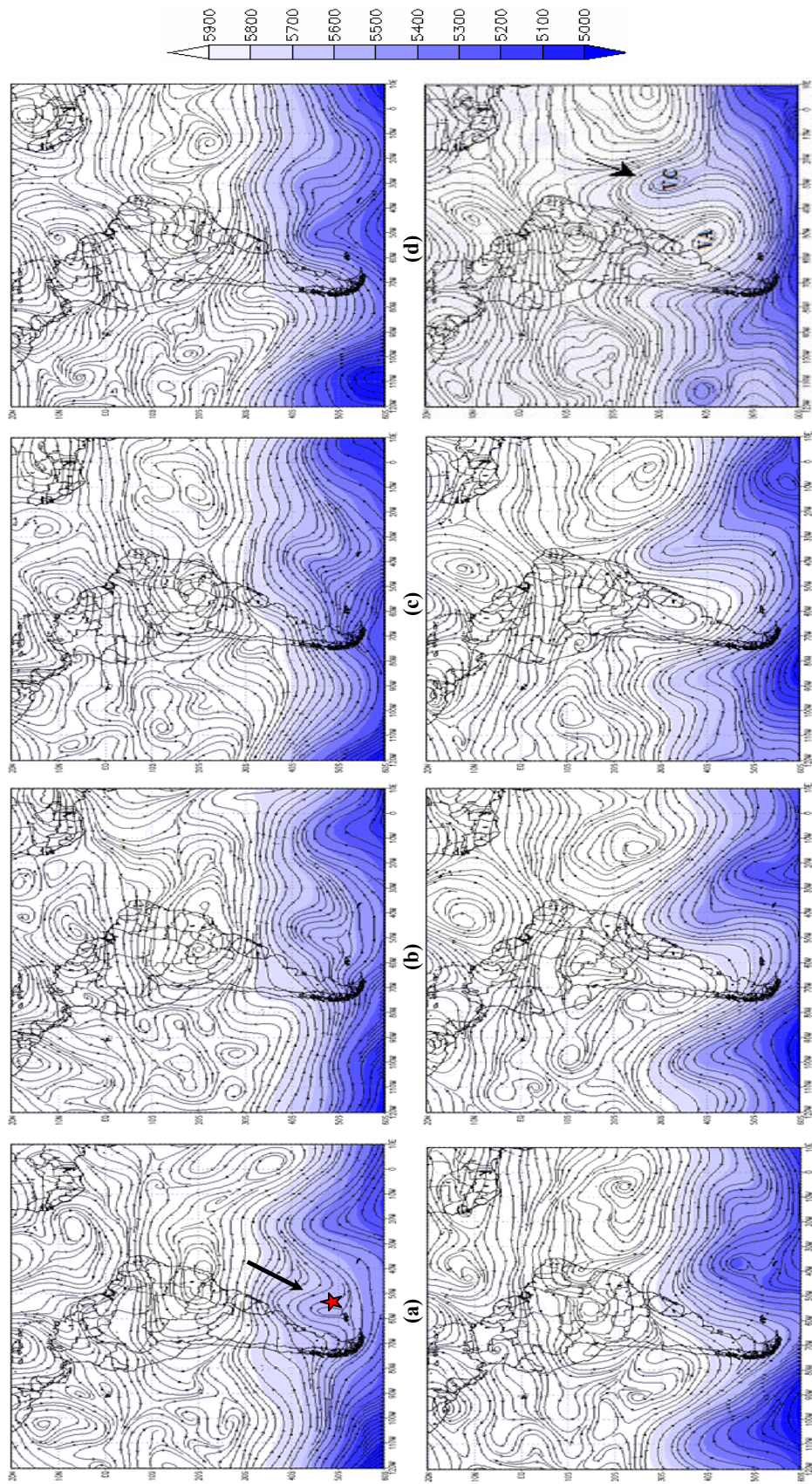


Figura 4.6 – Campos de LC e z em 500 hPa as 1200UTC para os dias: a) 28/03/1998, b) 29/03/1998, c) 30/03/1998, d) 31/03/1998, e) 01/04/1998, f) 02/04/1998, g) 03/04/1998 e h) 04/04/1998.

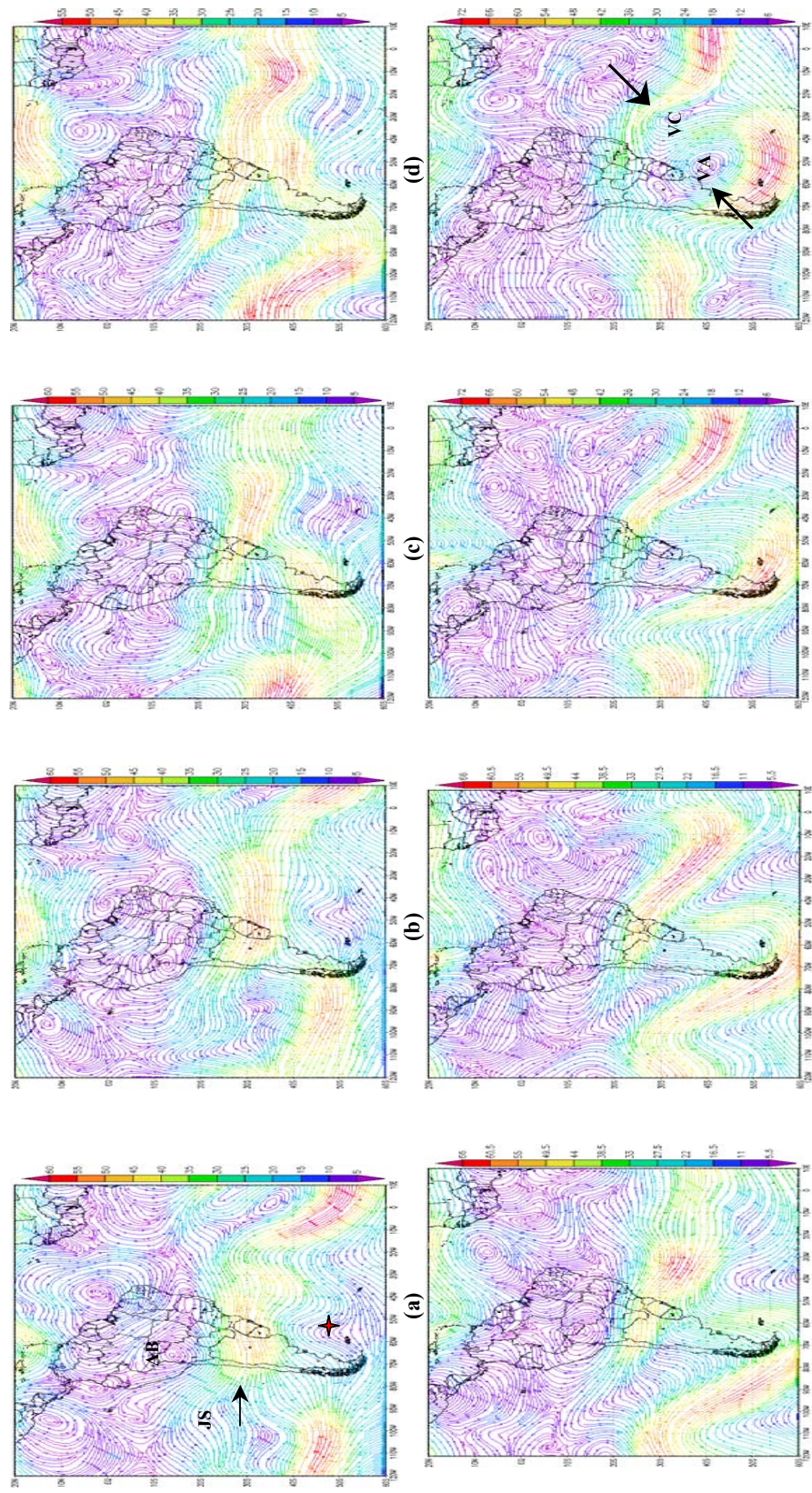
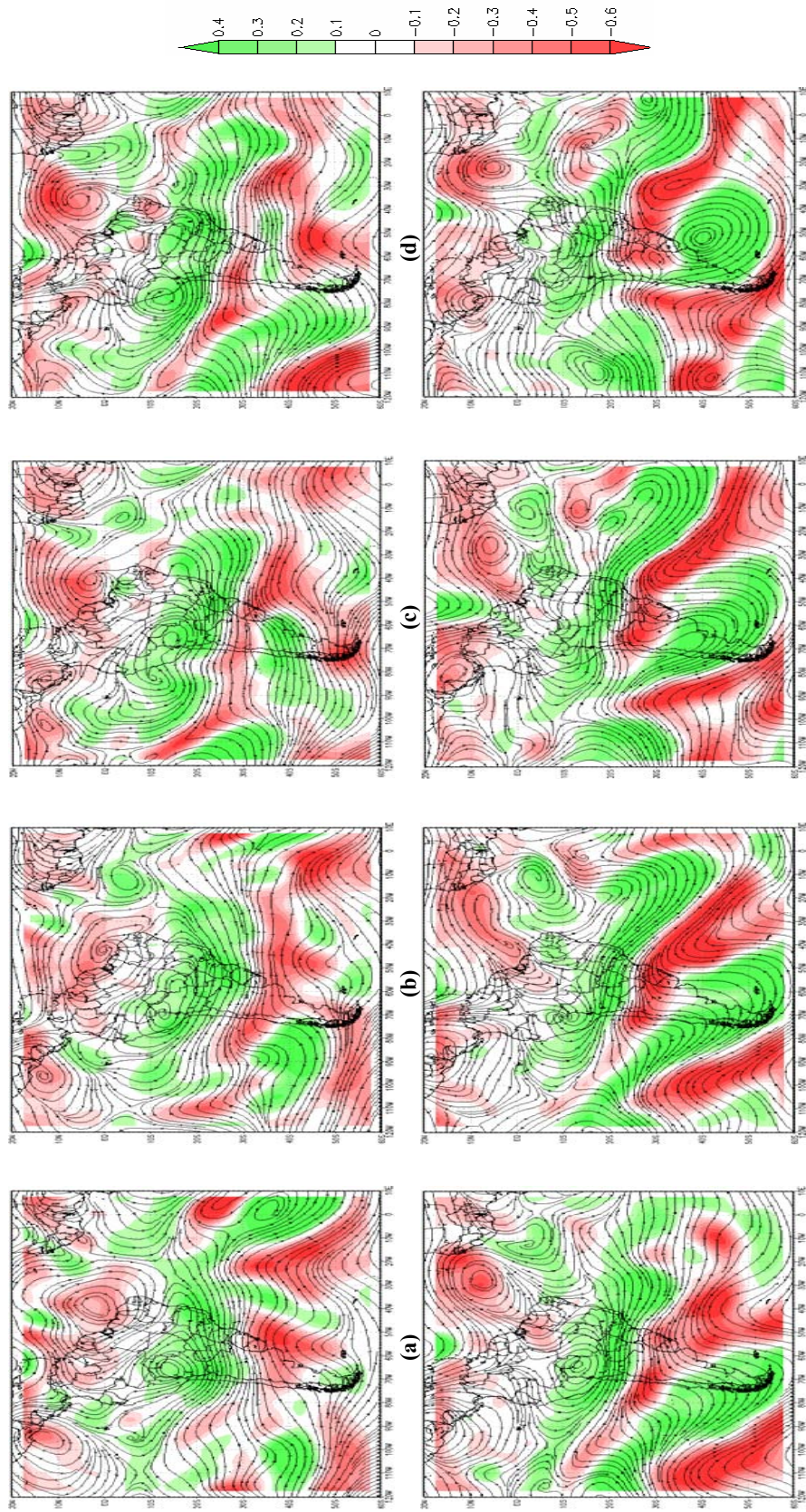


Figura 4.7 – Campos de LC e Magnitude do Vento ($m s^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 28/03/1998, b) 29/03/1998, c) 30/03/1998, d) 31/03/1998, e) 01/04/1998, f) 02/04/1998, g) 03/04/1998 e h) 04/04/1998.



(e) 03/04/1998, (f) 03/04/1998, (g) 03/04/1998, (h) 03/04/1998, (a) 28/03/1998, (b) 29/03/1998, (c) 30/03/1998, (d) 31/03/1998, (e) 01/04/1998, (f) 02/04/1998, (g) 03/04/1998 e h) 04/04/1998.

4.2.1.2 Evento 2: Período de 05 a 11/05/1999

O SF nomeado de Evento 2 atuou inicialmente no Rio Grande do Sul, em 05/05/1999, identificado na imagem de satélite por uma intensa banda de nebulosidade convectiva (Figura 4.9a) e nos campos meteorológicos, por uma região de confluência dos ventos (Figuras 4.12a) e ζ ciclônica ao longo do cavado bórico (Figura 4.10b), próximo de 40°S/50°W. Notou-se que o ciclone associado ao SF apresentou-se bastante intenso (975 hPa), próximo ao extremo sudeste da AS.

Nas regiões das altas subtropicais, notou-se que a ASPS apresentou-se inicialmente mais intensa que a ASAS e se deslocou para leste acompanhando o SF, padrão similar ao Evento 1. Em 09/05 as 0000UTC, verificou-se a formação de um anticiclone sobre a costa sudeste da AS, o qual se intensificou (apresentado-se como uma crista alongada meridionalmente) e se deslocou para leste, chegando a até a longitude de 30°W no final do evento, favorecendo o avanço do SF (Figuras 4.10f e 4.12f). Notou-se ainda no nível de 850 hPa um escoamento de norte na região do JBN, que se apresentou intenso até o dia 07/05 ($\approx 30 \text{ ms}^{-1}$) e enfraqueceu nos dias finais do evento (Figuras 4.11a a 4.11f). Estas características podem ter propiciado o avanço do SF, tendo em vista que em 05/05 e 06/05, o SF ainda estava presente no sul do Brasil, e o escoamento de norte adveceu calor e umidade na região a vanguarda da frente além de ter sido observado um escoamento frio de sul, a retaguarda, propiciado pela ASPS, provocando o encontro desses fluxos e assim criando condições favoráveis para a intensificação do SF (Figura 4.11a e b) (MARENGO E SOARES, 2002). Essas condições são favoráveis ao deslocamento do SF no início do evento, ou seja, quando ele ainda se encontra presente no sul do Brasil, mas quando o escoamento na região do JBN se encontra intenso durante todo evento desfavorece o avanço do SF para latitudes mais ao norte (ANDRADE, 2005).

Em 500 hPa e em 200 hPa, notou-se a presença do cavado associado ao SF em superfície, inicialmente próximo à costa leste da AS (40°S/55°W), o qual se intensificou e deslocou-se até a região da Bahia, nos dias 07, 08 e 09/05 e nos dias 10 e 11/05 se dirigiu para o OAS (Figuras 4.13a a 4.13f e 4.14a a 4.14f, respectivamente). Em 200 hPa, notou-se inicialmente a presença da AB, centrada sobre a Bolívia (15°S/70°W)

com intensos valores de ζ anticiclônica, da ordem de $0,4 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$, a qual se deslocou para oeste e enfraqueceu não se configurando nos dias 10 e 11/05 (Figuras 4.15a a 4.15f). Em 05/05, observou-se que o JS apresentou-se intenso na parte norte da Argentina (superior 60 ms^{-1}) (Figura 4.14a), associado a um JBN em 850 hPa, favorecendo uma circulação transversal e, conseqüentemente, provendo convergência em baixos níveis, e assim contribuindo para a formação de complexos convectivos de mesoescala na região sul do Brasil, como notado na imagem de satélite do dia 05/05 (Figura 4.9a). Nos outros dias, observou-se que o JS apresentou velocidades máximas apenas sobre o OAS, próximo de 35°S a 53° e 0° a 30°W , características que possivelmente tenha contribuído para o avanço do SF ao longo do continente, chegando a atingir valores acima de 72 ms^{-1} em 08/05 (Figura 4.14a a 4.14f). Em 08/05, devido o aumento de ζ positiva ao norte do JS houve o favorecimento para a formação de um vórtice anticiclônico em altos níveis, próximo de $35^{\circ}\text{S}/10^{\circ}\text{W}$ (Figura 4.15d).

Resumo das características sinóticas observadas durante o evento 2:

- No dia inicial o SF esteve associado a um intenso ciclone (975 hPa);
- Valores mais intensos de PNM na região da ASPS do que na ASAS, no dia inicial do evento, e seus deslocamentos para leste ao longo do evento;
- Intensificação do anticiclone pós-frontal;
- Ventos intensos de norte na região do JBN, nos dias iniciais do evento, que contribuiu para o transporte de calor e umidade favorecendo a intensificação do SF;
- Amplificação do cavado frontal se deslocando até a região da Bahia no terceiro, quarto e quinto dia do evento;
- Deslocamento da AB para oeste e seu enfraquecimento;
- Valores intensos do JS sobre o continente apenas nos dias iniciais.

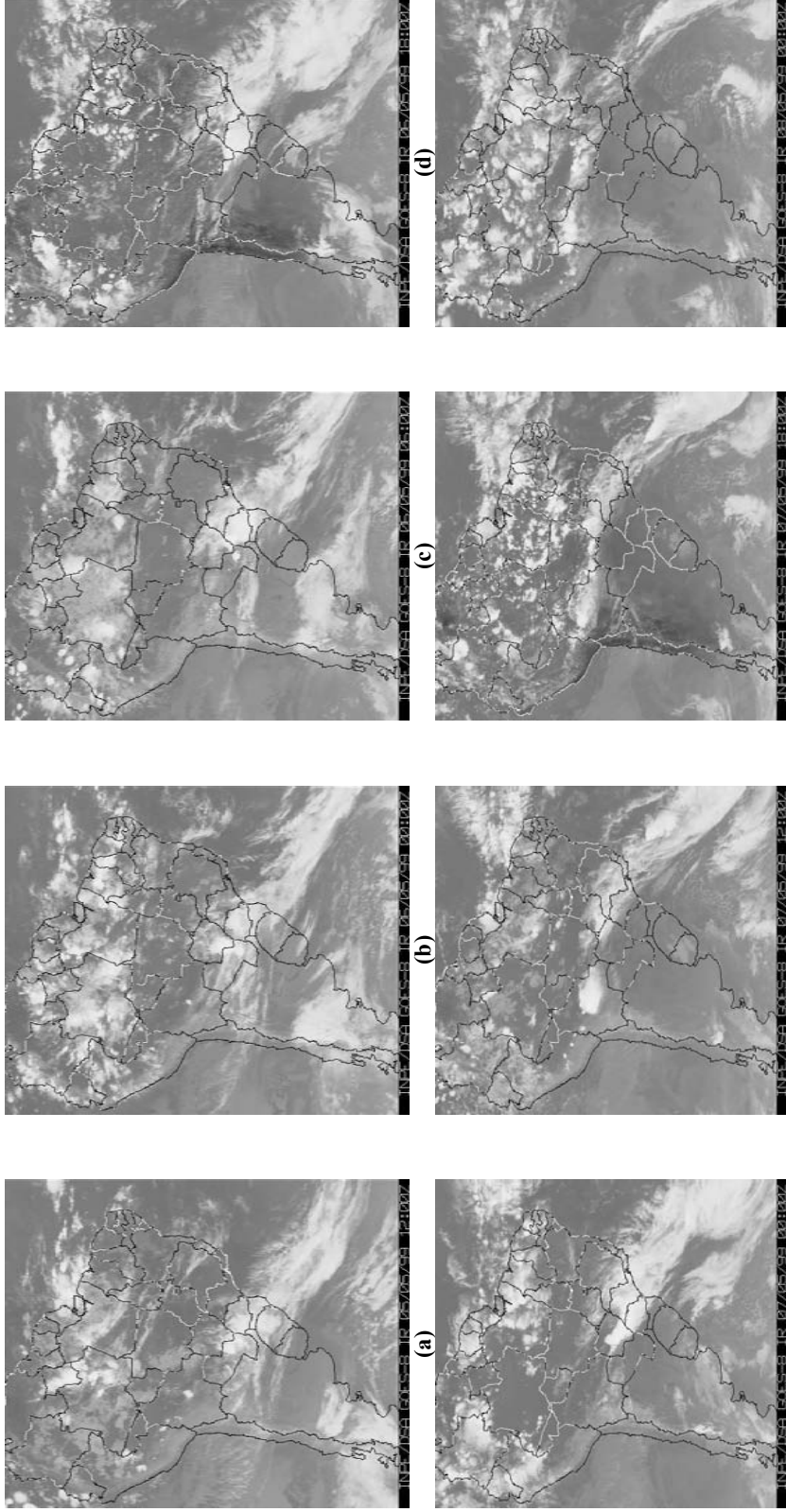


Figura 4.9 – Sequência de imagens do satélite GOES-8, canal infravermelho: a) 05/05/1999, as 1200UTC; b) 06/05/1999, as 0000UTC; c) 06/05/1999, as 0600UTC; d) 06/05/1999, as 1800UTC; e) 07/05/1999, as 0000UTC; f) 07/05/1999, as 1200UTC; g) 07/05/1999, as 1800UTC; h) 08/05/1999, as 0000UTC; i) 08/05/1999; j) 08/05/1999, as 1800UTC; l) 09/05/1999, as 0300UTC; m) 09/05/1999, as 1200UTC; n) 09/05/1999, as 1800UTC e o) 10/05/1999, as 0300UTC (continua).

Fonte: <http://satelite.cptec.impe.br/>.

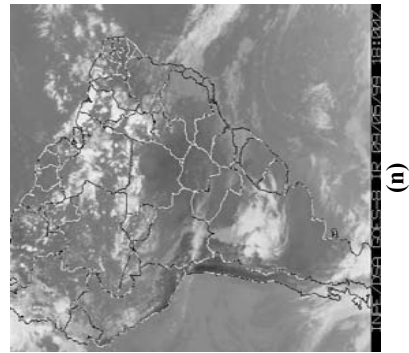
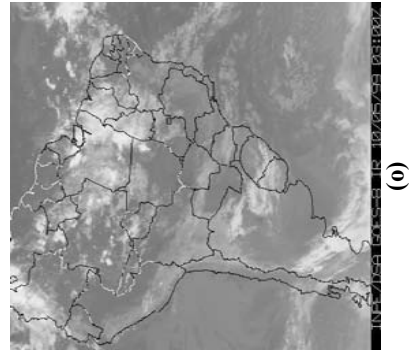
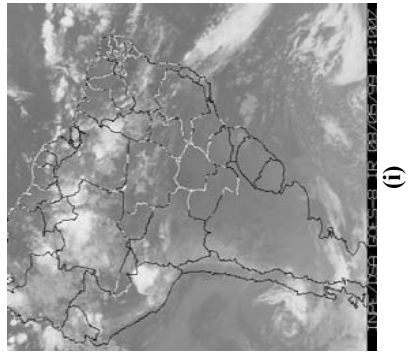
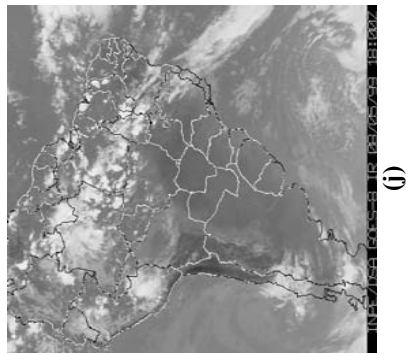
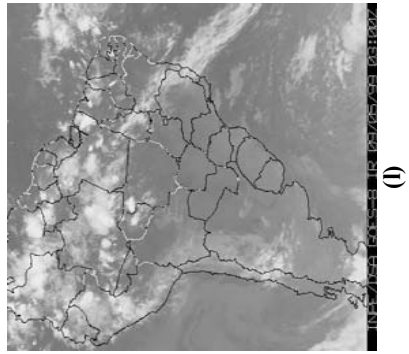
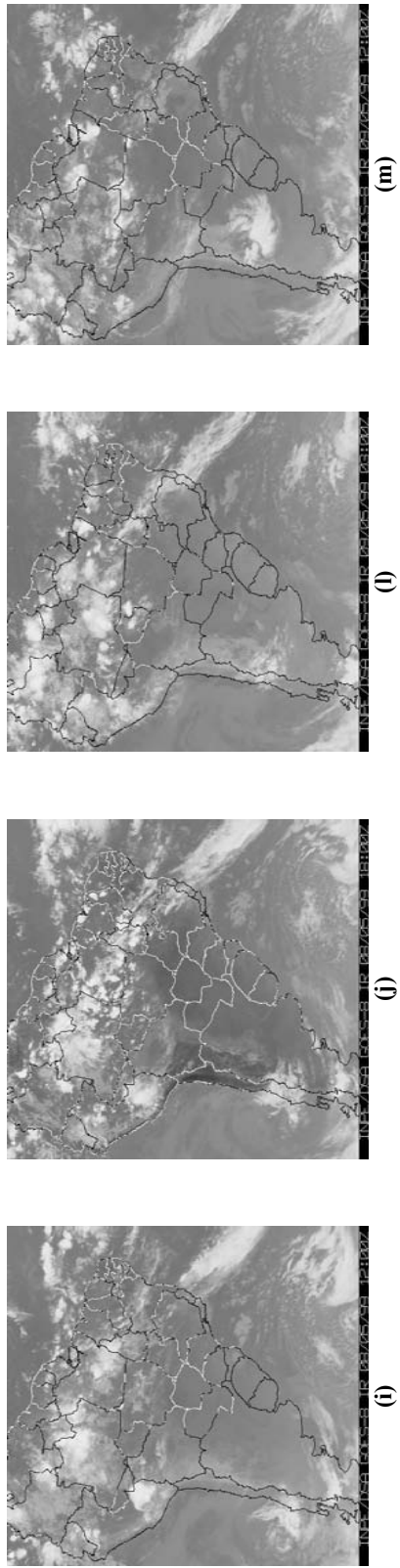


Figura 4.9 – Conclusão.

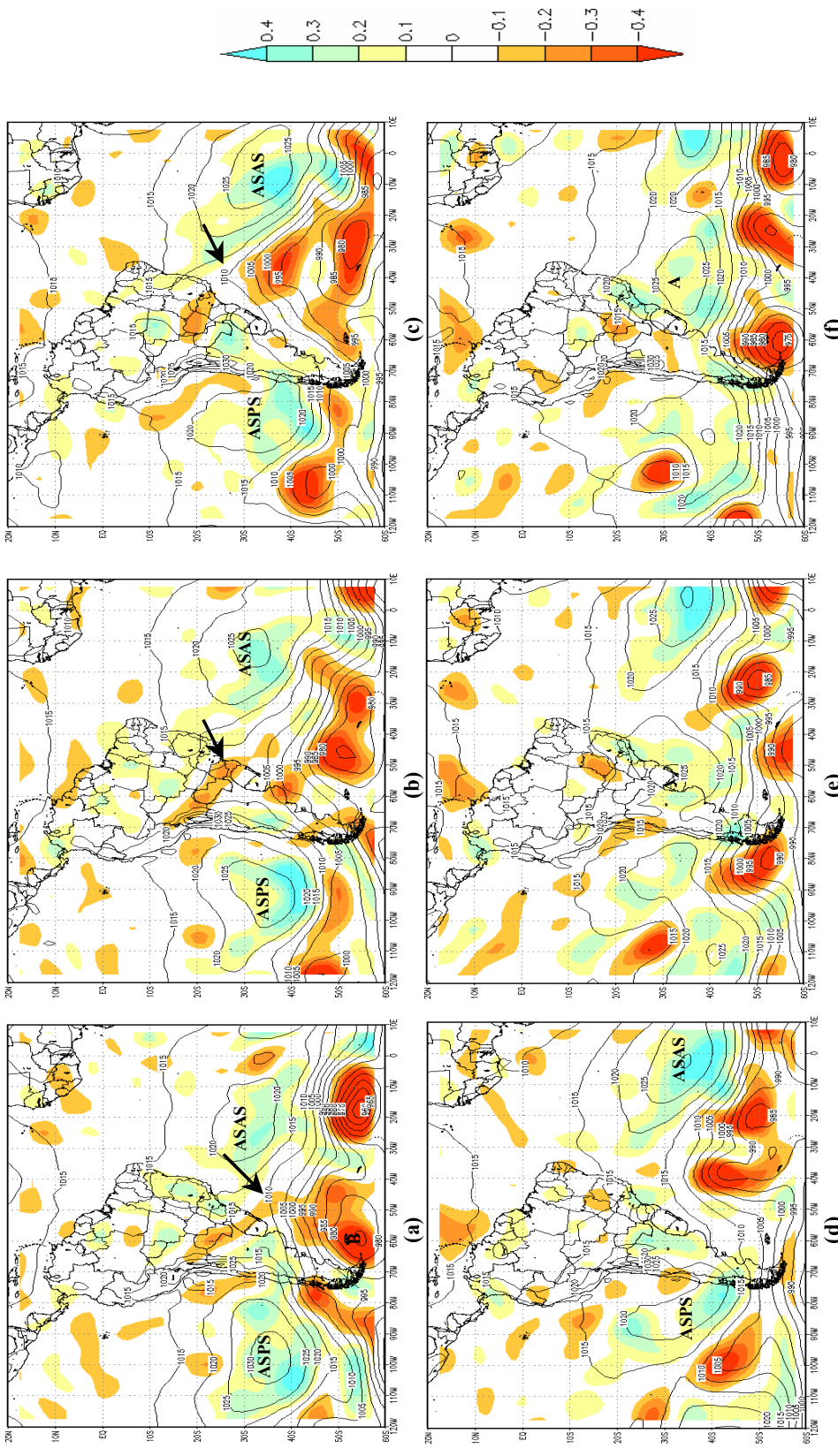


Figura 4.10 – Campos de ζ ($\times 10^{-4} s^{-1}$) no nível de 850 hPa (em cores) e PNM as 1200UTC para os dias: a) 05/05/1999, b) 06/05/1999, c) 07/05/1999, d) 08/05/1999, e) 09/05/1999, f) 10/05/1999.

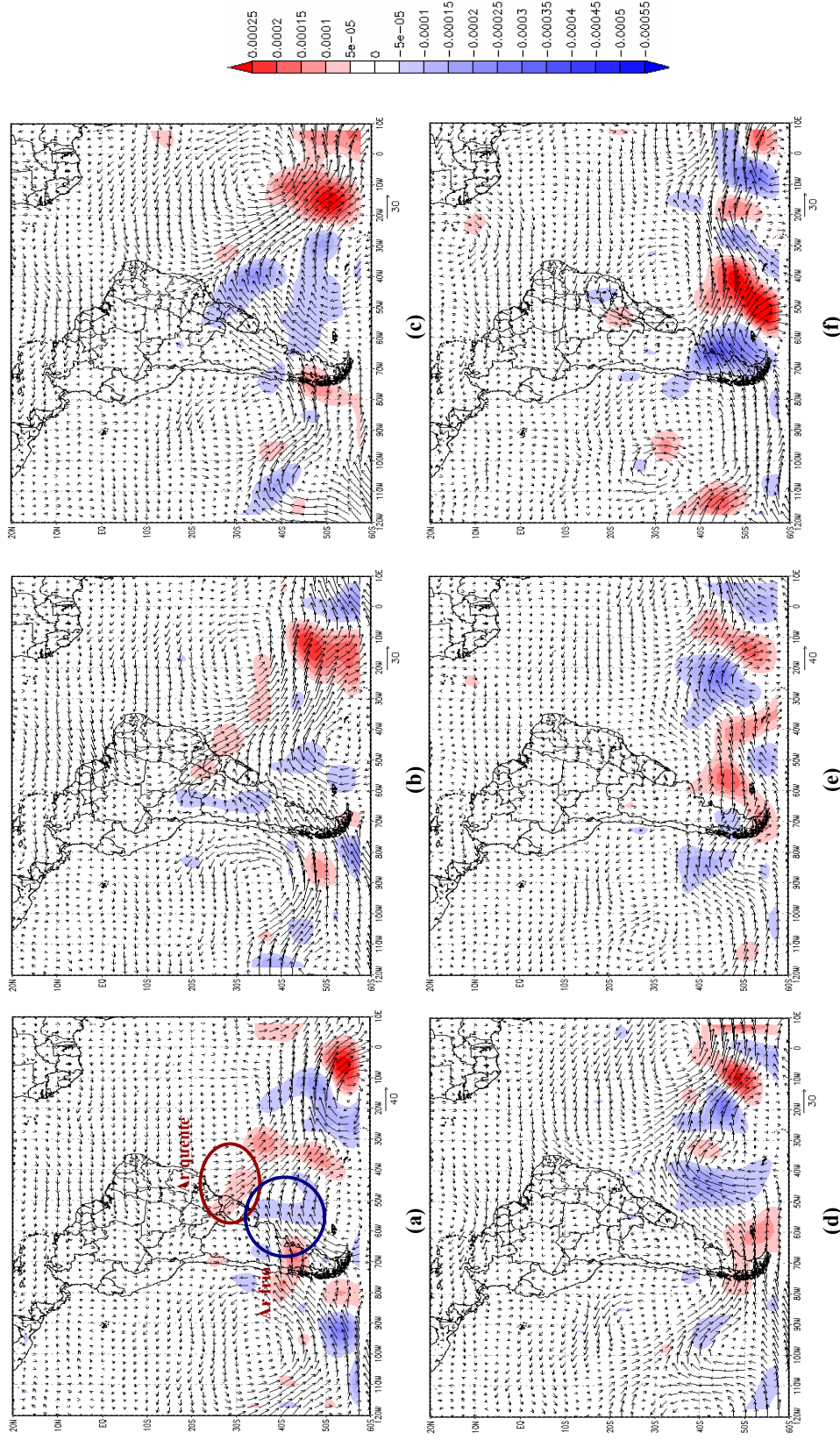


Figura 4.11 – Campos de Advecção de Temperatura ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$) e Vento em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 05/05/1999, b) 06/05/1999, c) 07/05/1999, d) 08/05/1999, e) 09/05/1999, f) 10/05/1999.

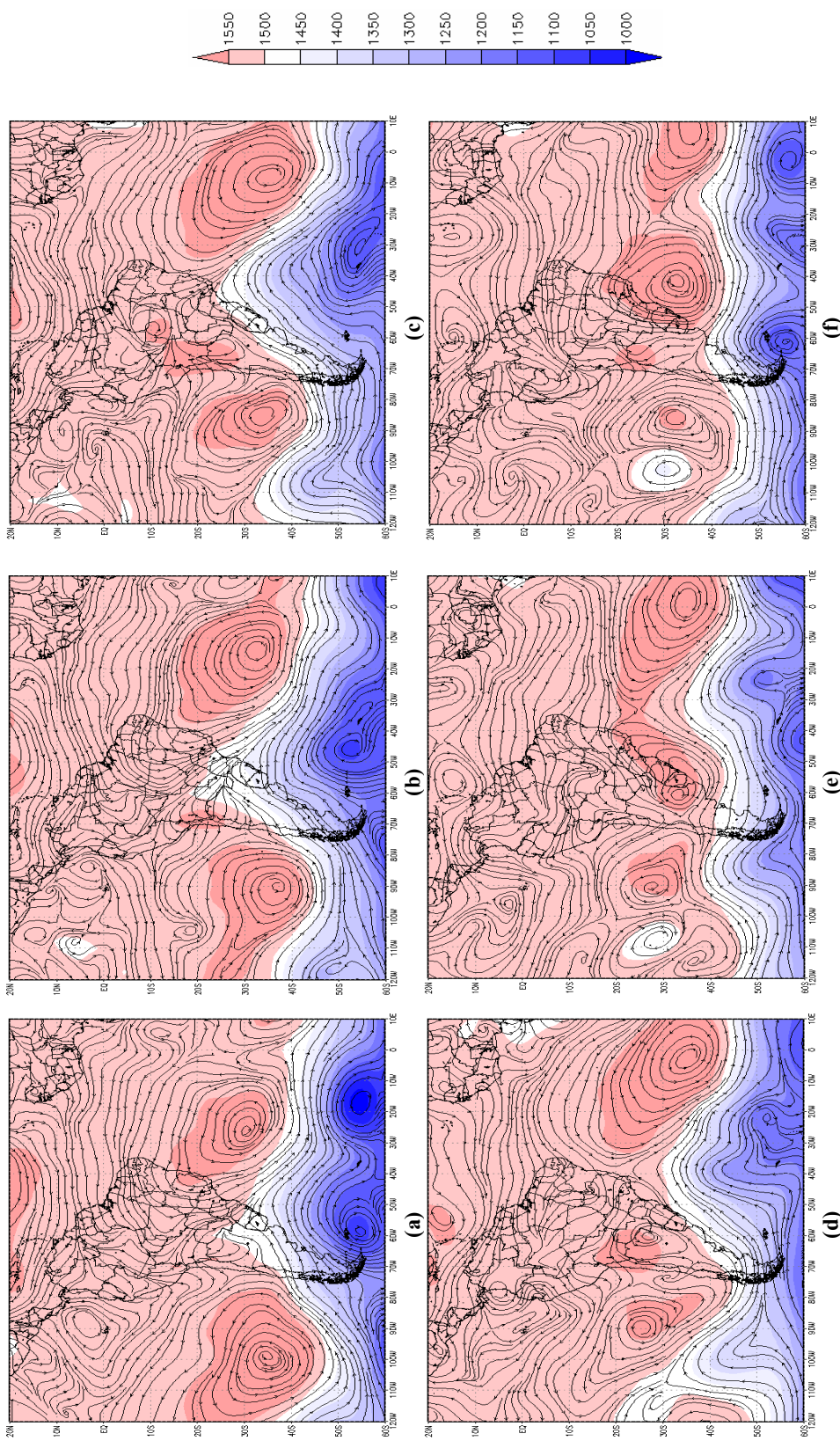


Figura 4.12 – Campos de LC e z em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 05/05/1999, b) 06/05/1999, c) 07/05/1999, d) 08/05/1999, e) 09/05/1999, f) 10/05/1999.

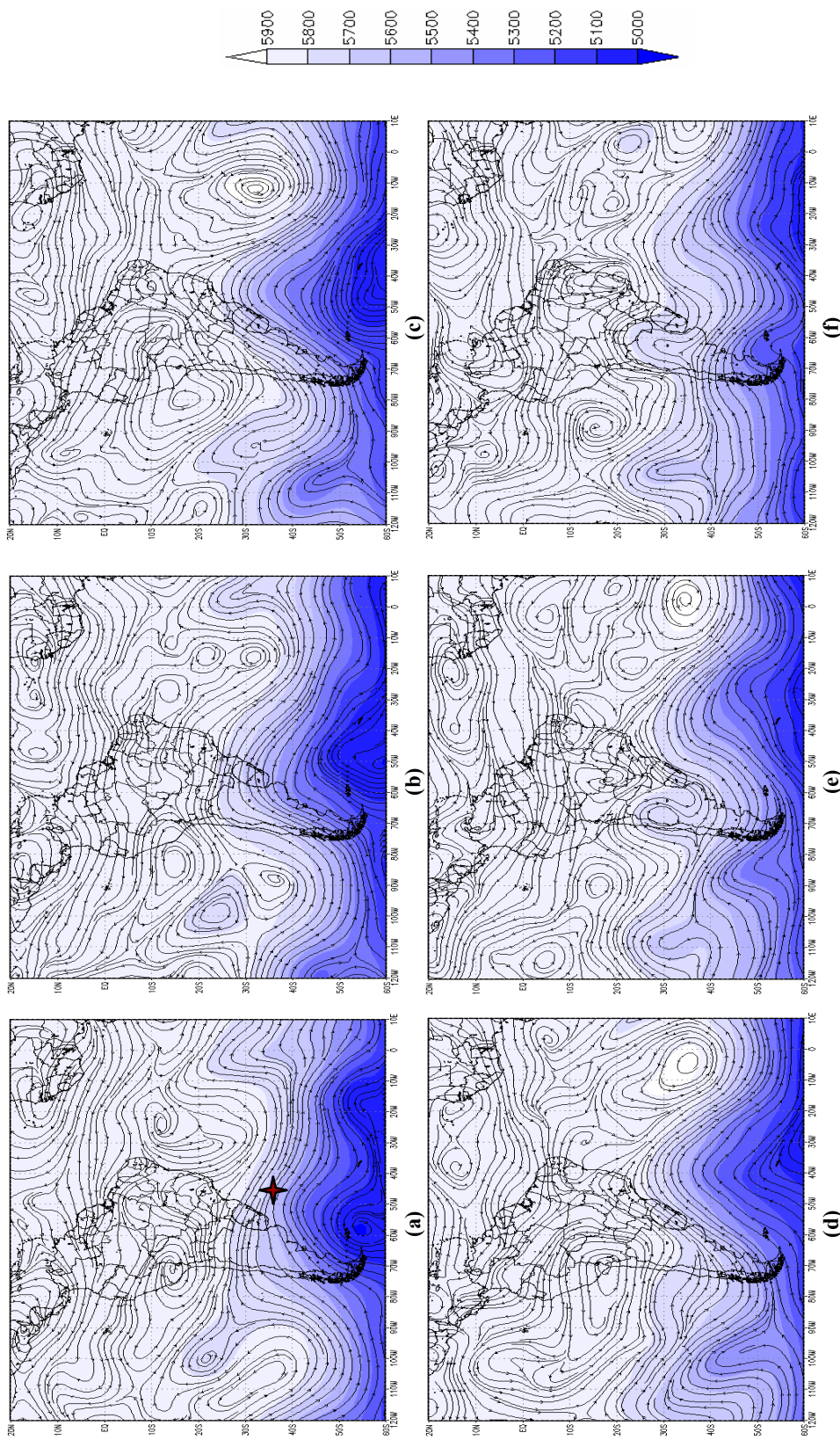


Figura 4.13 – Campos de LC e z em de 500 hPa as 1200UTC para os dias: a) 05/05/1999, b) 06/05/1999, c) 07/05/1999, d) 08/05/1999, e) 09/05/1999, f) 10/05/1999.

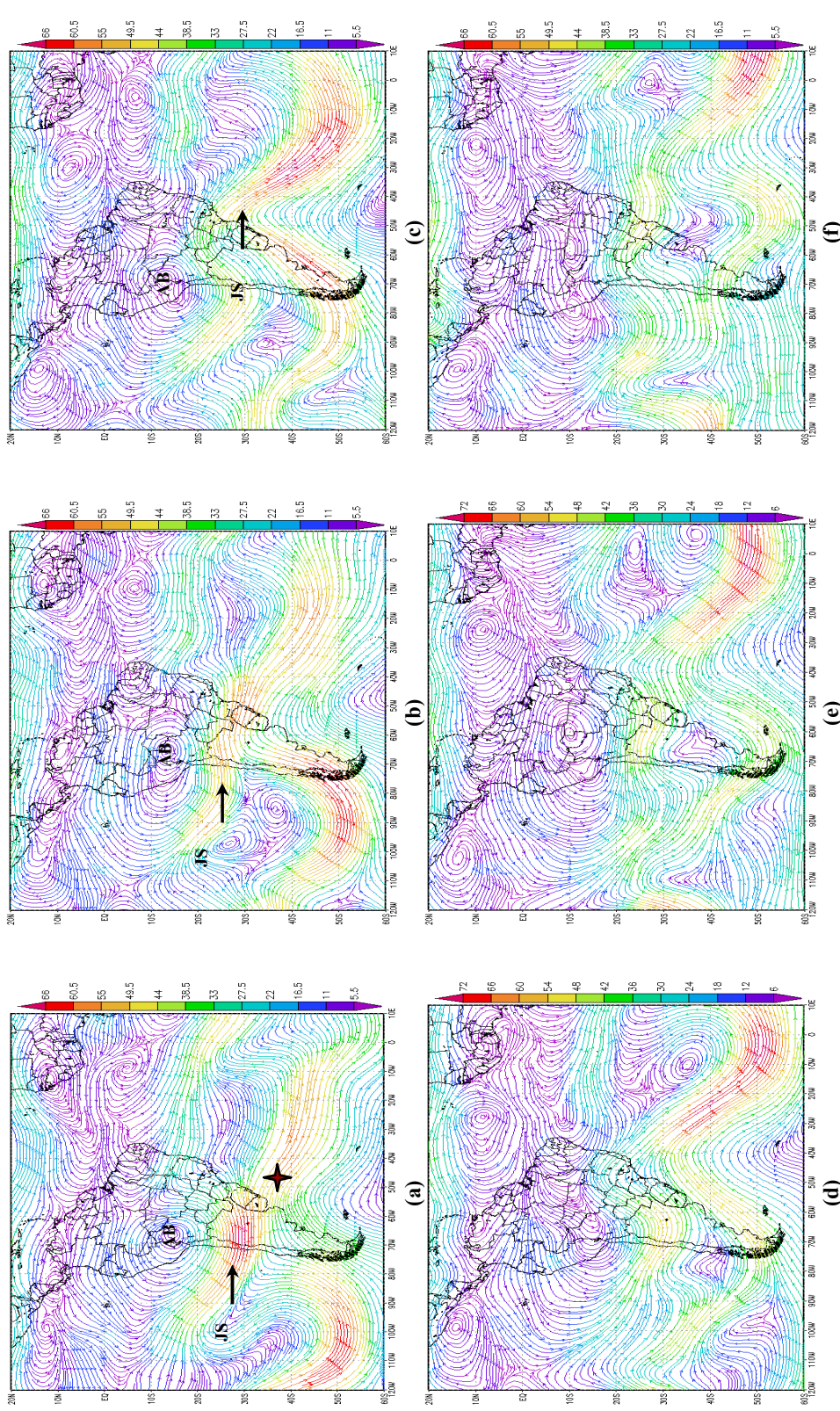


Figura 4.14 – Campos de LC e z em de 500 hPa as 1200UTC para os dias: a) 05/05/1999, b) 06/05/1999, c) 07/05/1999, d) 08/05/1999, e) 09/05/1999, f) 10/05/1999.

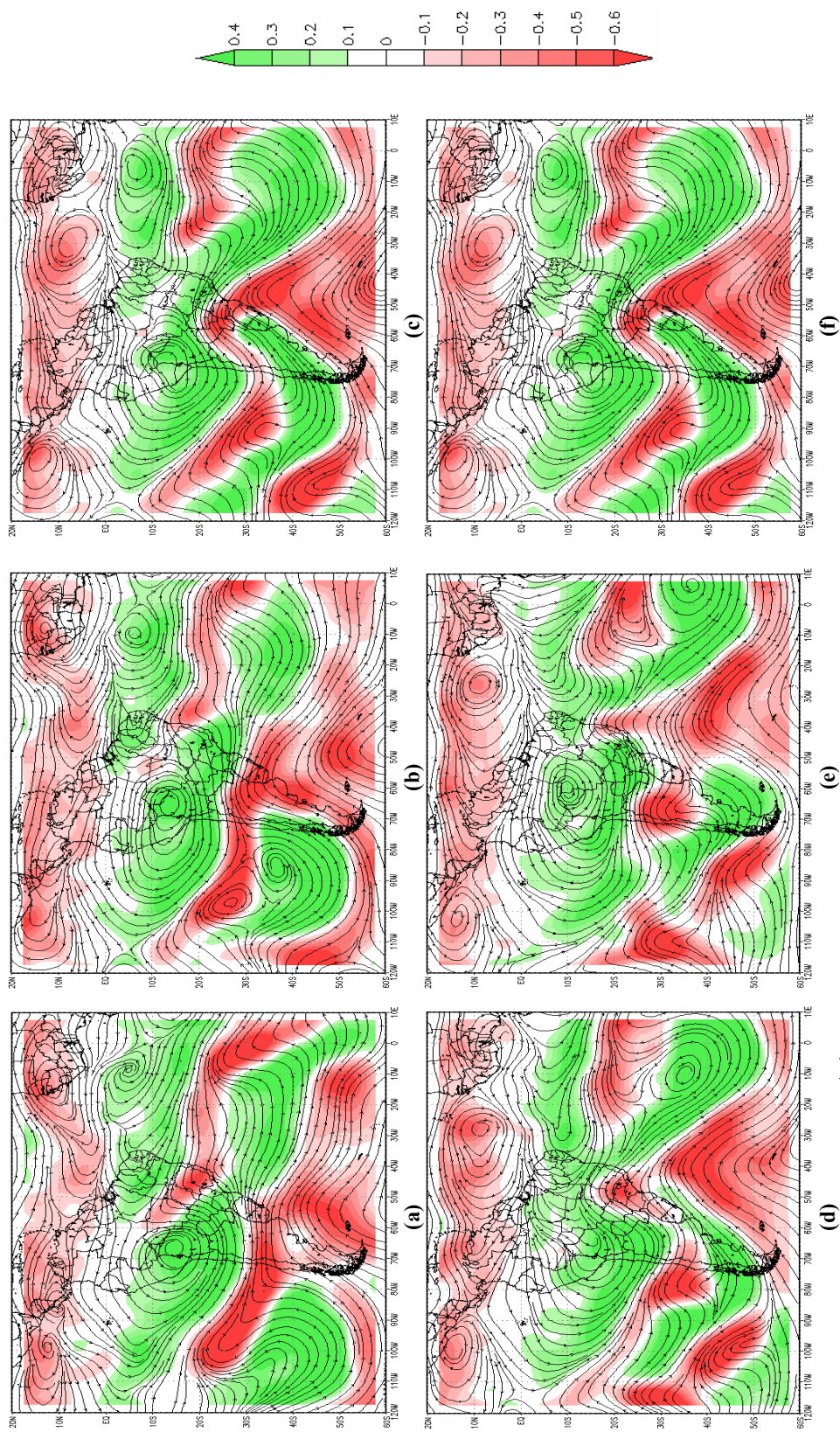


Figura 4.15 – Campos de LC e ζ ($\times 10^{-4} s^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 05/05/1999, b) 06/05/1999, c) 07/05/1999, d) 08/05/1999, e) 09/05/1999, f) 10/05/1999.

4.2.1.3 Evento 3: Período de 19 a 25/05/2002

O Evento 3 iniciou-se em 19/05/2002 sobre região de São Paulo e adquiriu uma trajetória tanto litorânea quanto continental, chegando se deslocar até o Rio Grande do Norte em 28/05. No primeiro dia do evento observou-se uma região de confluência com intensos ventos de norte (superior a 30 ms^{-1}) na região de saída do JBN, associado a ASAS, canalizados para sul devido à barreira topográfica dos Andes, e ventos de sul associado a ASPS (Figuras 4.18a e 4.19a). O ciclone associado ao SF apresentou-se próximo à costa leste da AS ($40^\circ\text{S}/45^\circ\text{W}$) com intensos valores de ζ , variando entre $-0,4$ e $-0,2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ (Figuras 4.17a). Observaram-se também intensos valores de advecção quente e fria na vanguarda e retaguarda do SF (Figura 4.18a), respectivamente, demarcando a localização do SF em superfície. Em 20/05, o ciclone se intensificou (985 hPa) e deslocou-se para sudeste, provocando o desprendimento de uma parte da extremidade da banda frontal, sobre a região de São Paulo (Figura 4.16b), a qual voltou a se reorganizar em 21/05 devido uma ciclogênese ocorrida sobre a costa leste de Santa Catarina, próximo de $30^\circ\text{S}/45^\circ\text{W}$ (Figura 4.17c). Em 22/05, observou-se a formação de um anticiclone, com intensos valores de PNM (1025 hPa) que posteriormente se intensificou, atingindo valores de 1030hPa (Figuras 4.17d e 4.19d). Este anticiclone (pós-frontal) persistiu com os mesmo valores de PNM até o final do Evento o que contribuindo para o avanço do SF para latitudes mais ao norte (Figuras 4.17f a 4.17j e 4.19f a 4.19j).

Durante o evento, o SF esteve associado, em 500 hPa e 200 hPa, a um cavado que se intensificou e estendeu-se desde as latitudes médias até o norte do NEB com uma inclinação meridional bem acentuada (Figuras 4.20a a 4.20j e 4.21a a 4.21j). Em 27/05, houve a formação de um vórtice ciclônico em 500 hPa, próximo de $24^\circ\text{S}/30^\circ\text{W}$, proporcionado pela meridionalidade do cavado, o qual se estendeu desde as latitudes médias até os subtrópicos (Figuras 4.20i). No dia seguinte, o vórtice ciclônico se estendeu até 200 hPa apresentando valores de ζ da ordem de $-0,4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ (Figuras 4.20i e 4.22i). A AB apresentou-se configurada apenas nos dias finais do evento (período de 26 a 28/05) (Figuras 4.21a a 4.21j, respectivamente). Entretanto o *jet streak* associado ao JS localizou-se sobre o OAS durante todo o evento, sendo que nos dias 24 a 28/05

este se apresentou deslocado para norte chegando a atingir o sul do NEB (Figuras 4.21a a 4.21j).

Resumindo, as principais características sinóticas foram as seguintes:

- No dia inicial o SF esteve associado a um intenso ciclone (985 hPa);
- Ventos intensos na região do JBN, nos dias iniciais do evento;
- Intensificação do anticiclone pós-frontal chegando a atingir valores de 1030hPa;
- Ciclogênese próximo à costa leste de Santa Catarina no terceiro dia do evento;
- Amplificação do cavado frontal;
- Configuração da AB apenas nos dias finais do evento.

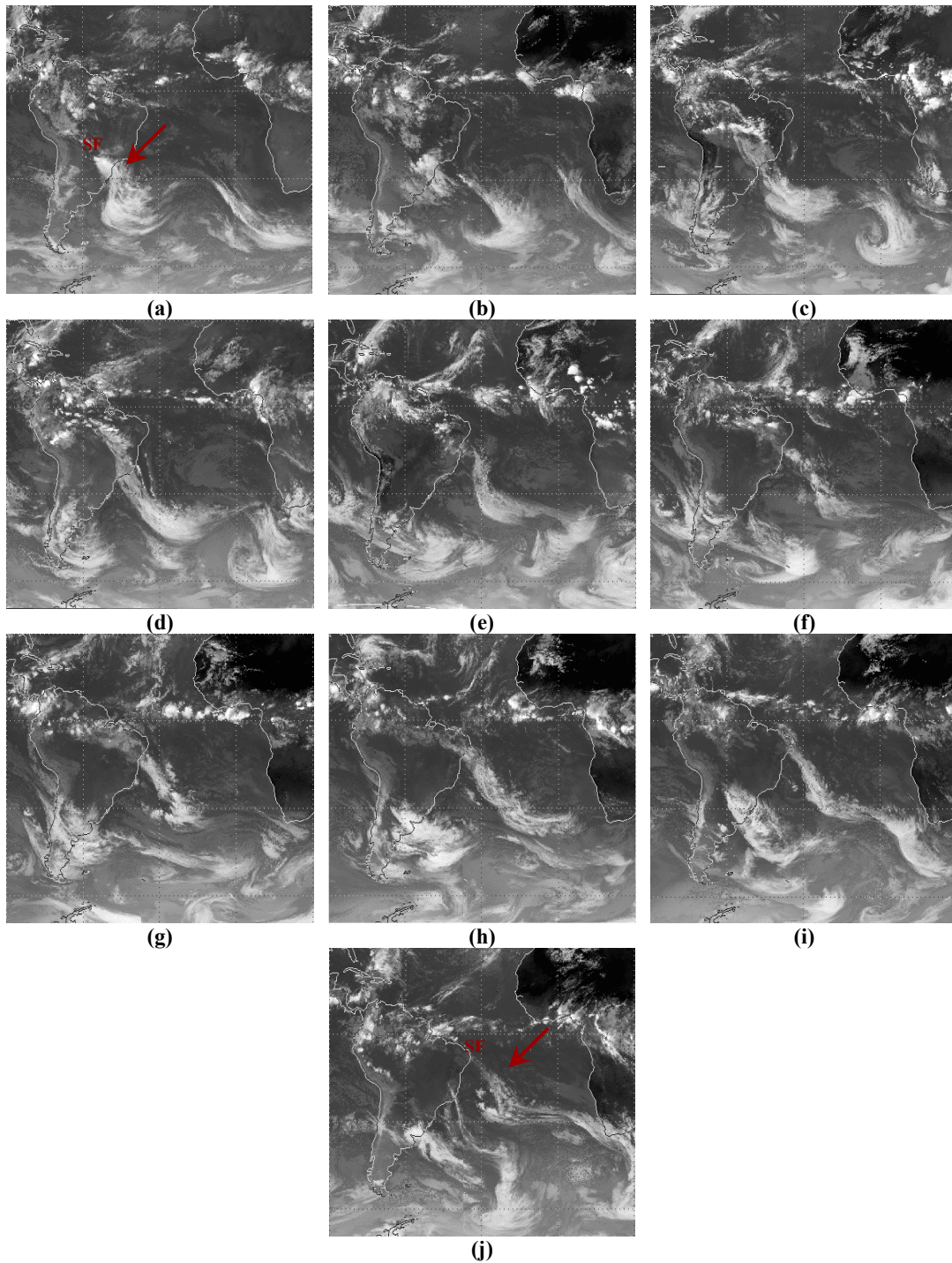


Figura 4.16 – Sequência de imagens do satélite GOES+Meteosat, canal infravermelho: a) 19/05/2002, b) 20/05/2002, c) 21/05/2002, d) 22/05/2002, e) 23/05/2002, f) 24/05/2002, g) 25/05/2002, h) 26/05/2002, i) 27/05/2002 e j) 28/05/2002.

Fonte: <http://satellite.cptec.inpe.br/>.

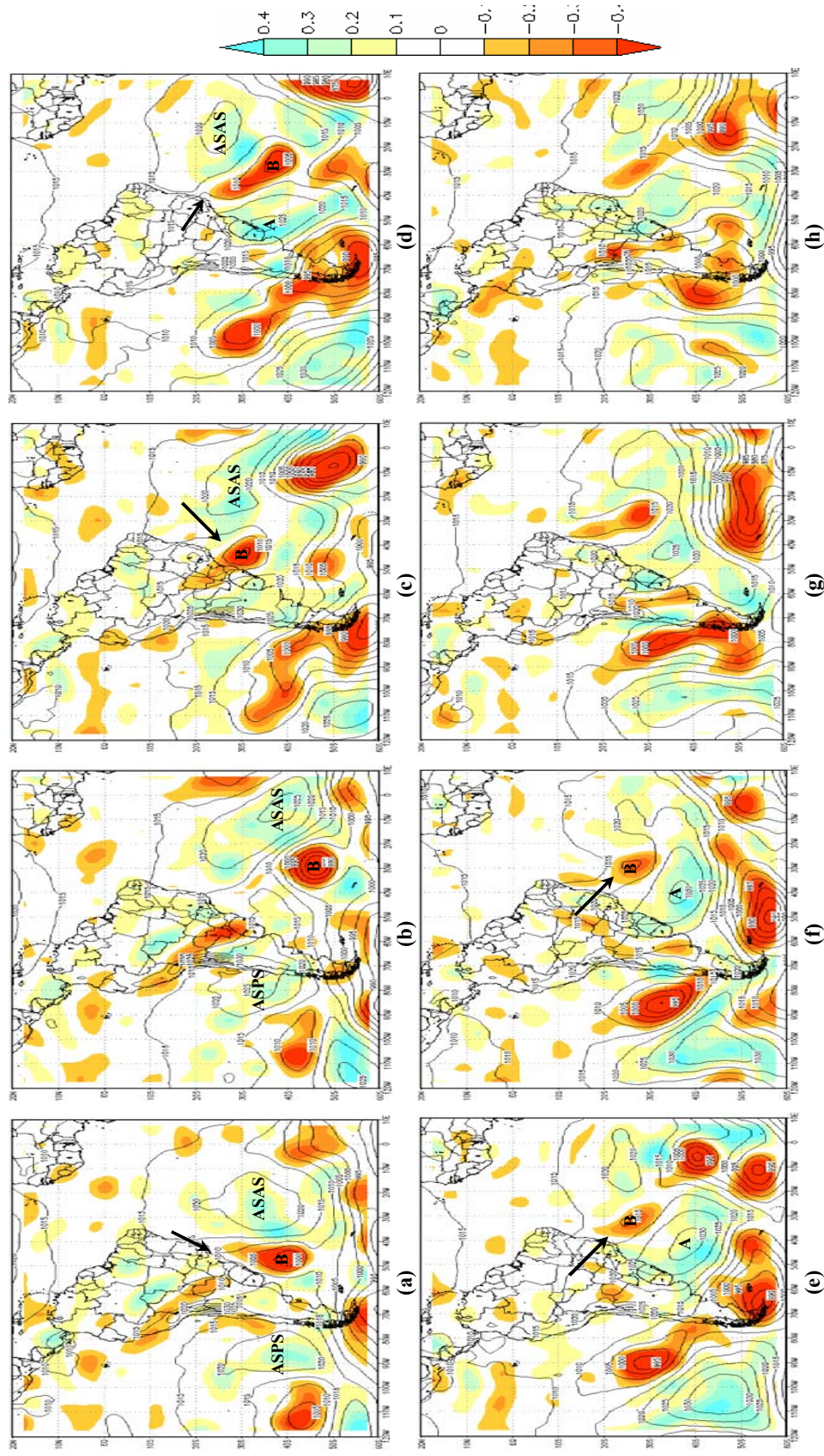
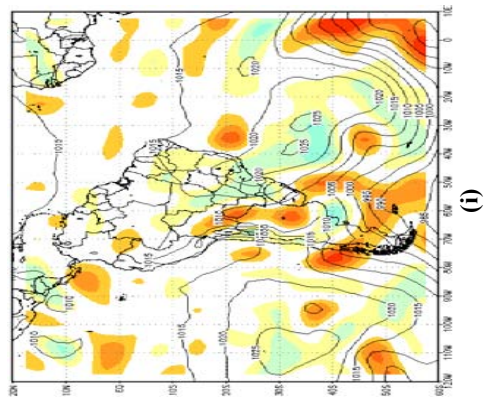
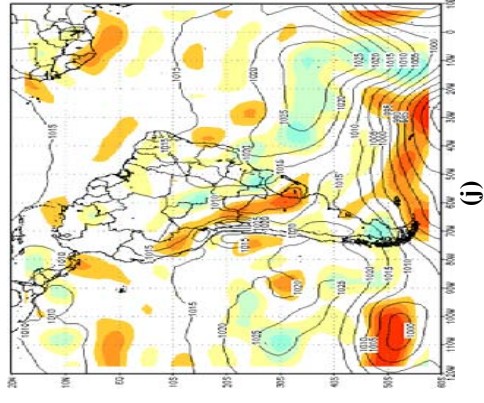


Figura 4.17 – Campos de ζ ($\times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) no nível de 850 hPa (em cores) e PNM as 1200UTC para os dias: a) 19/05/2002, b) 20/05/2002, c) 21/05/2002, d) 22/05/2002, e) 23/05/2002, f) 24/05/2002, g) 25/05/2002, h) 26/05/2002, i) 27/05/2002, j) 28/05/2002 (continua).



(a)



(b)

Figura 4.17 – Conclusão

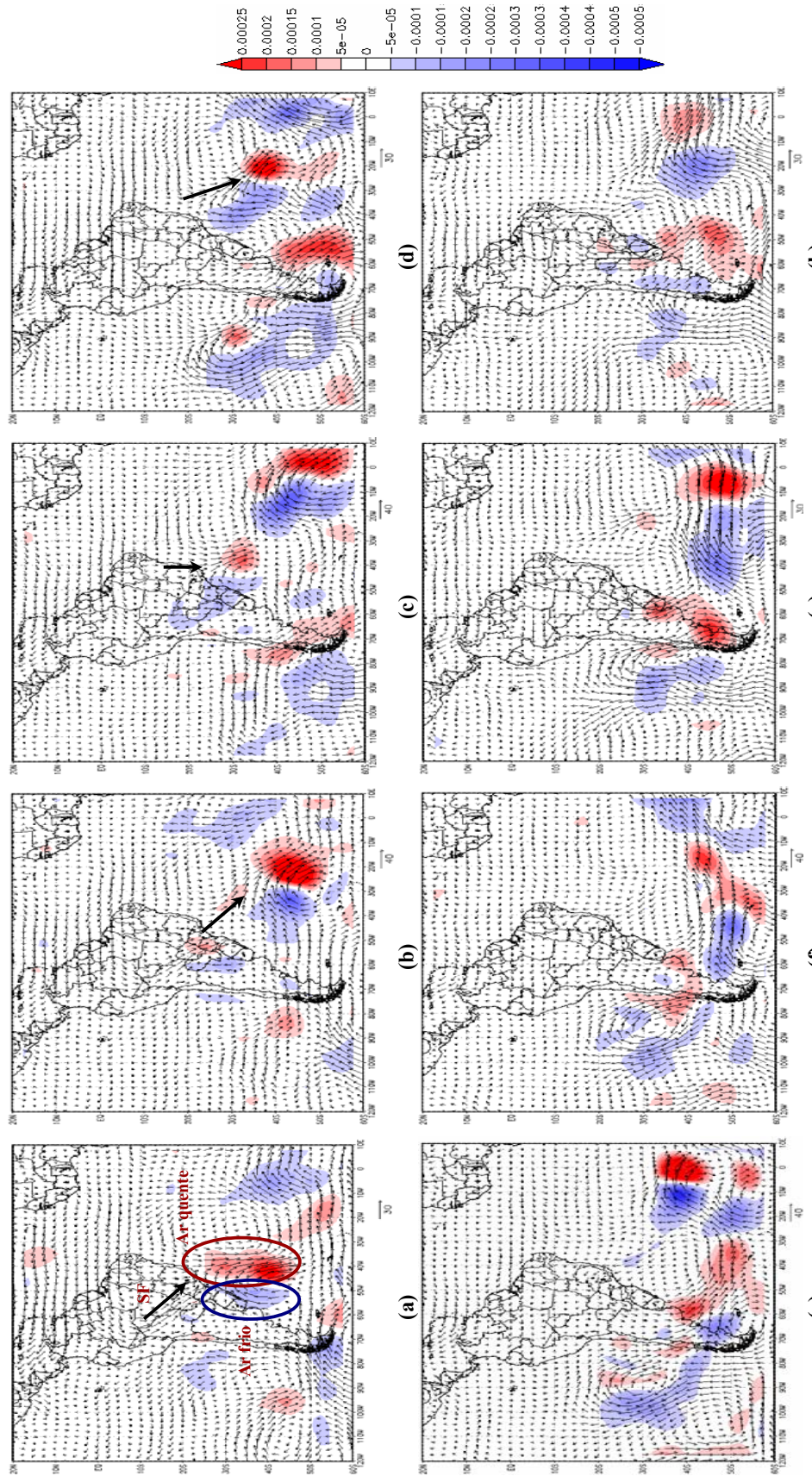
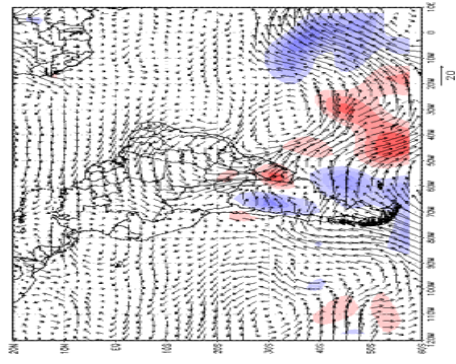
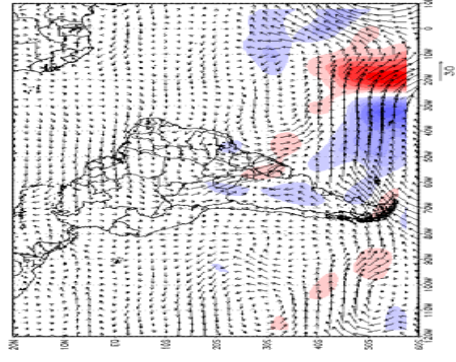


Figura 4.18 – Campos de Advecção de Temperatura ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$) e Vector Vento em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 19/05/2002, b) 20/05/2002, c) 21/05/2002, d) 22/05/2002, e) 23/05/2002, f) 24/05/2002, g) 25/05/2002, h) 26/05/2002, i) 27/05/2002 e j) 28/05/2002 (continua).



(i)



(f)

Figura 4.18 – Conclusão

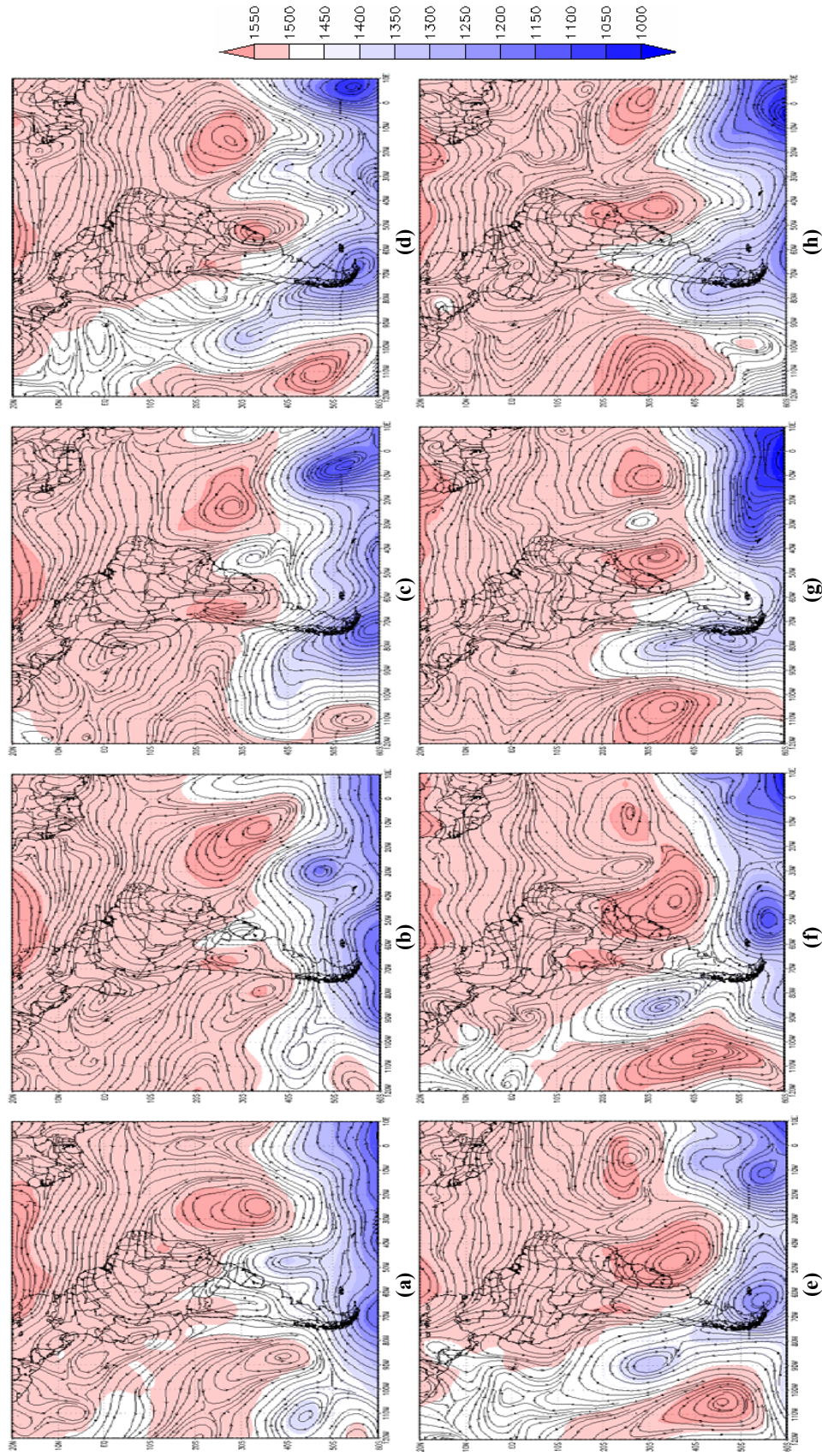


Figura 4.19 – Campos de LC e z em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 19/05/2002, b) 20/05/2002, c) 21/05/2002, d) 22/05/2002, e) 23/05/2002, f) 24/05/2002, g) 25/05/2002, h) 26/05/2002, i) 27/05/2002 e j) 28/05/2002 (continua).

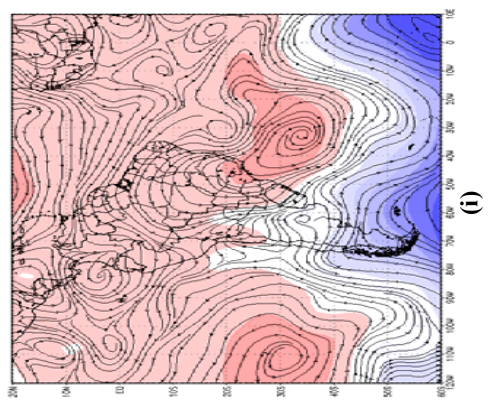
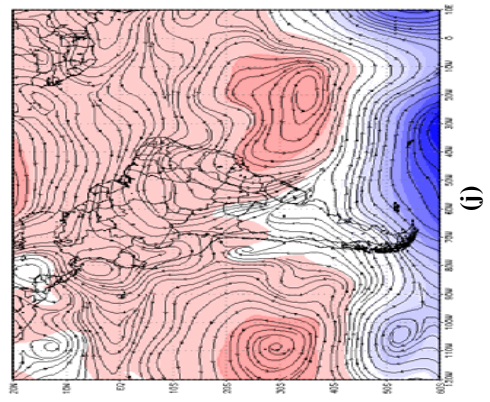


Figura 4.19 – Conclusão.

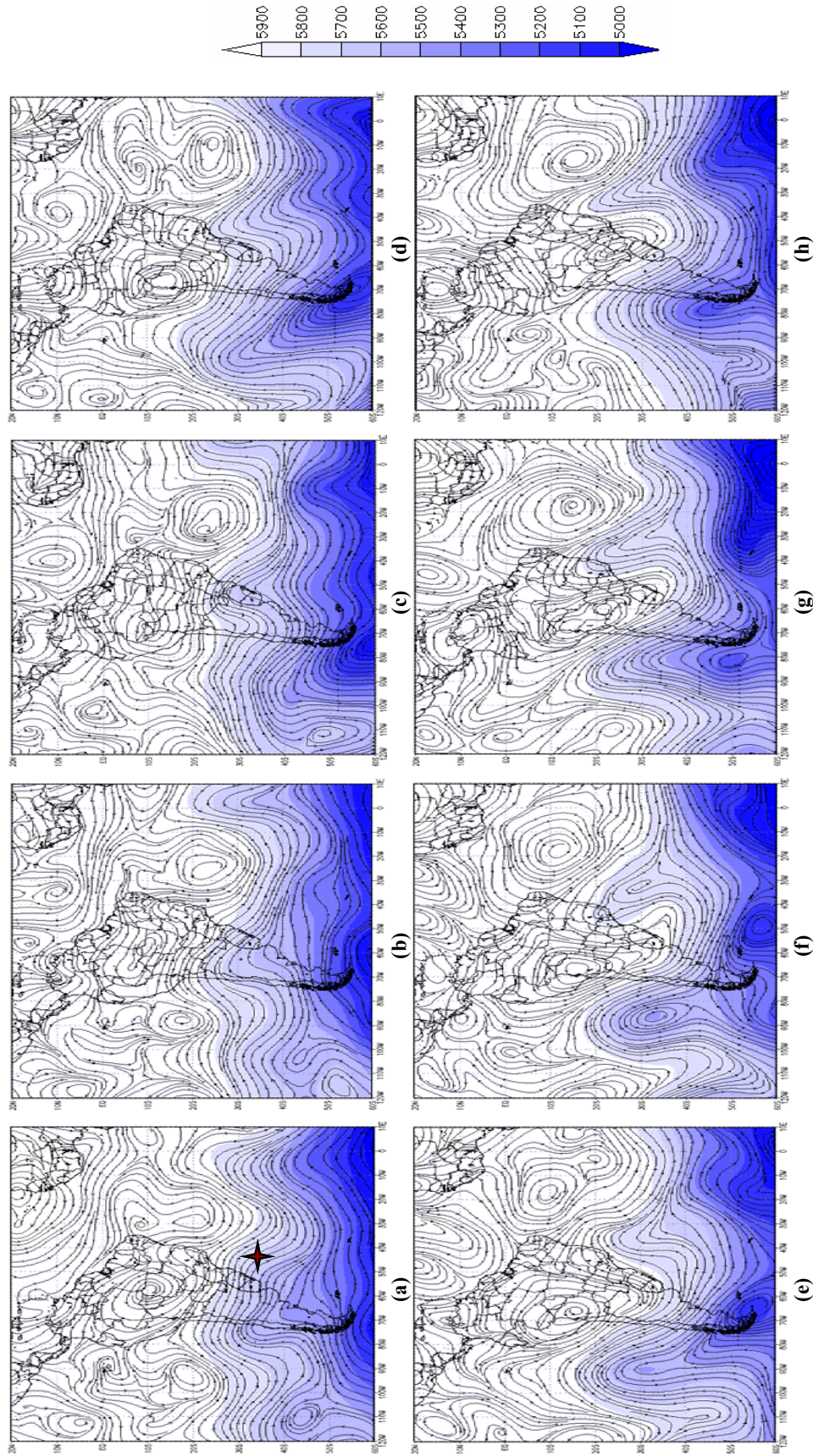
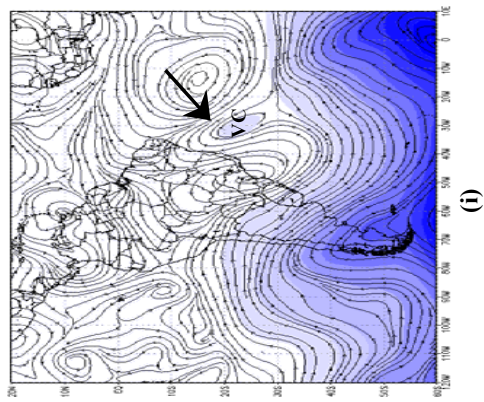
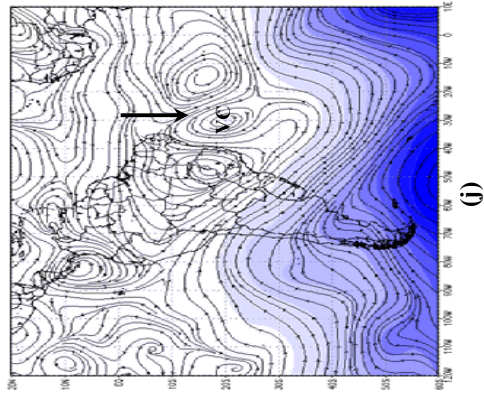


Figura 4.20 – Campos de LC e z em de 500 hPa as 1200UTC para os dias: a) 19/05/2002, b) 20/05/2002, c) 21/05/2002, d) 22/05/2002, e) 23/05/2002, f) 24/05/2002, g) 25/05/2002, h) 26/05/2002, i) 27/05/2002 e j) 28/05/2002 (continua).



(i)



(ii)

Figura 4.20 – Conclusão.

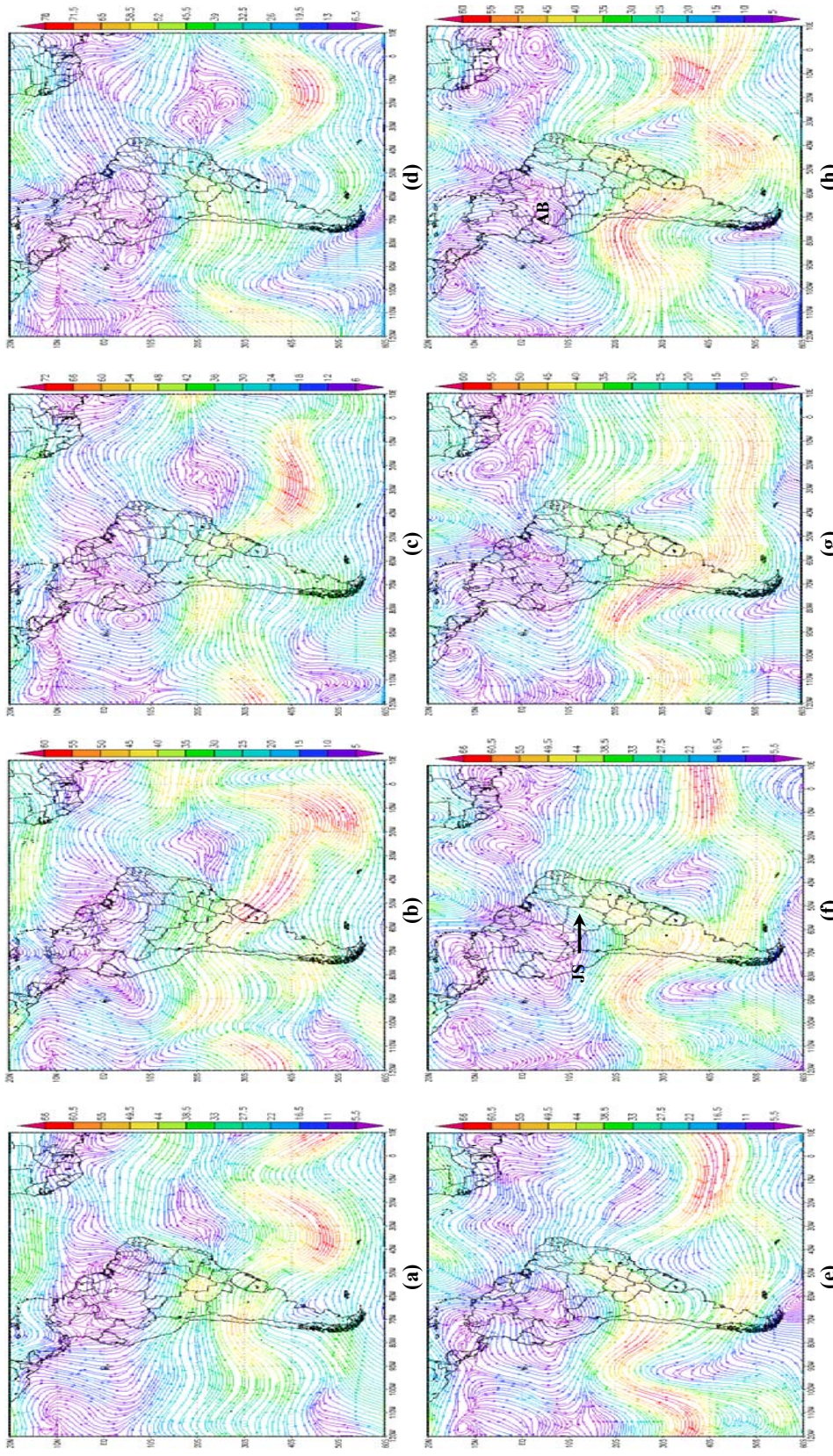


Figura 4.21 – Campos de LC e Magnitude do Vento ($m s^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 19/05/2002, b) 20/05/2002, c) 21/05/2002, d) 22/05/2002, e) 23/05/2002, f) 24/05/2002, g) 25/05/2002, h) 26/05/2002, i) 27/05/2002, j) 28/05/2002 (continua).

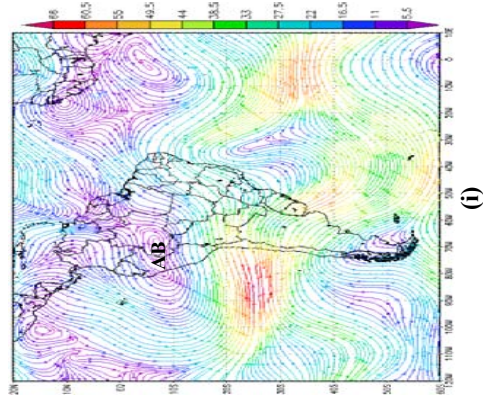
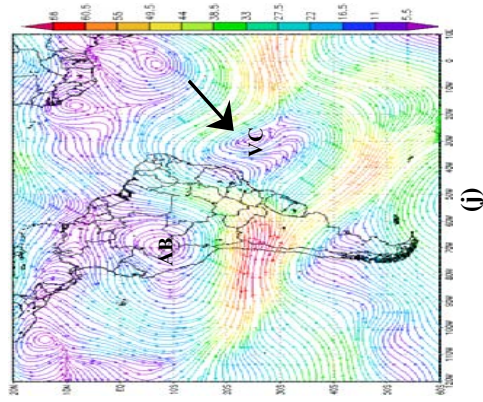


Figura 4.21 – Conclusão.

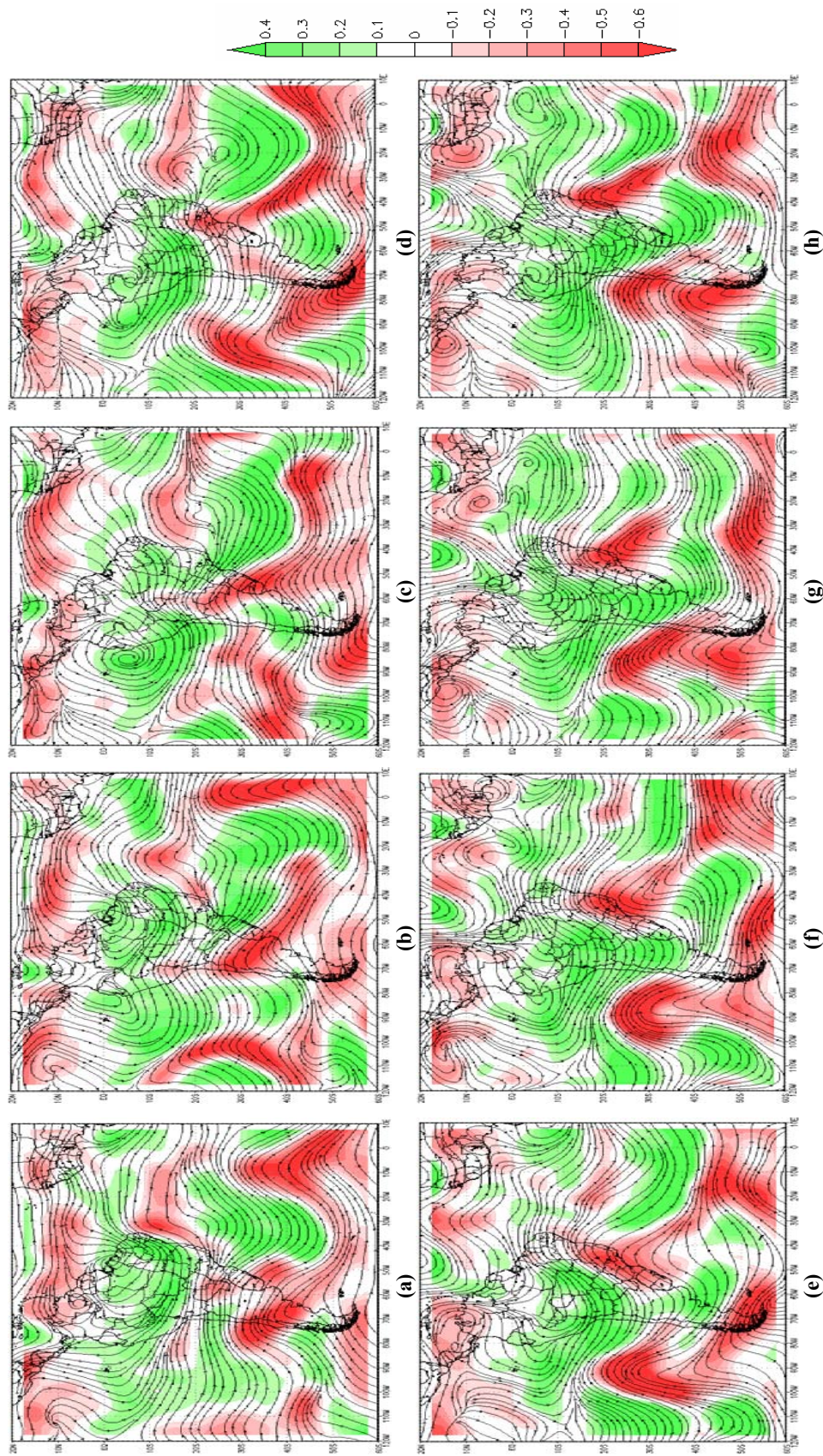
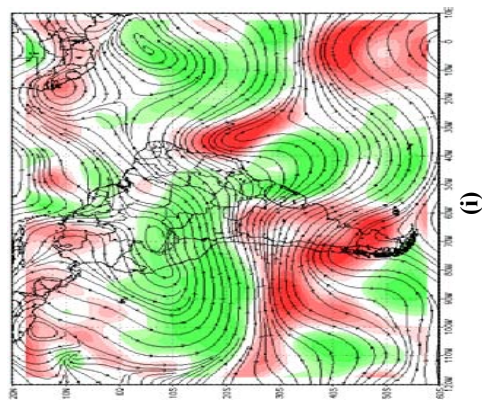
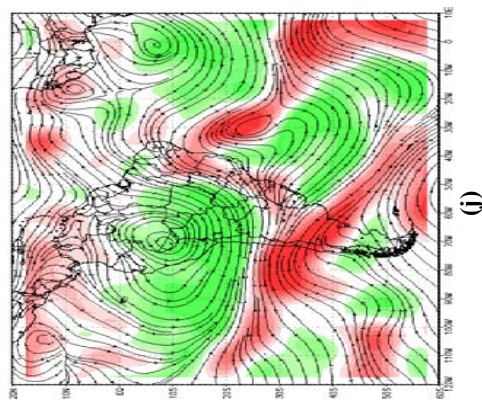


Figura 4.22 – Campos de LC e ζ ($\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 19/05/2002, b) 20/05/2002, c) 21/05/2002, d) 22/05/2002, e) 23/05/2002, f) 24/05/2002, g) 25/05/2002, h) 26/05/2002, i) 27/05/2002 e j) 28/05/2002 (continua).



(i)



(ii)

Figura 4.22 – Conclusão.

4.2.2 Evento do Inverno Austral

O evento 4 ocorreu em agosto de 2003, considerado o mês mais frio do inverno desse ano, e esteve associado a uma intensa massa de ar frio em sua retaguarda (CLIMANÁLISE, 2003). O SF se desenvolveu sobre a região de São Paulo, no dia 14/08, associado a um ciclone localizado próximo ao litoral do Rio Grande do Sul, e deslocou-se com uma trajetória litorânea e em apenas 3 dias já se encontrava em Caravelas/BA (Figura 4.23). A seguir serão apresentadas as imagens de satélite durante o período do evento e os campos de: PNM e ζ , advecção de temperatura e vetor vento, relativos ao nível de 850 hPa, LC e z nos níveis de 500 hPa, LC e magnitude do vento, LC e ζ em 200 hPa.

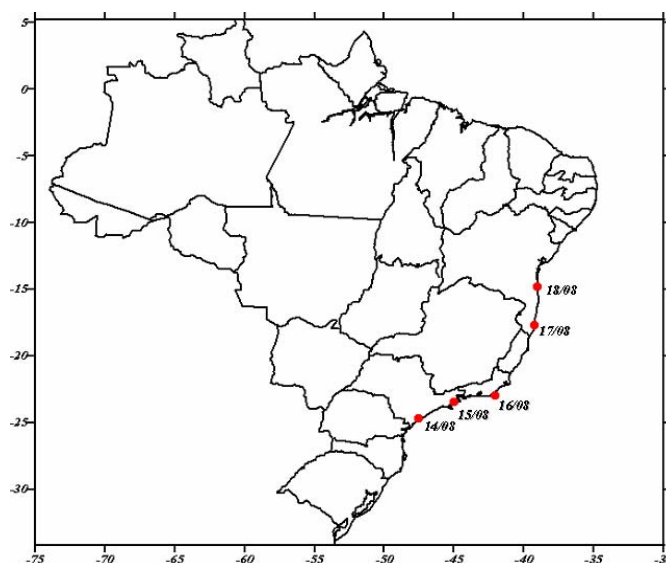


Figura 4.23 – Posição do SF em superfície as 1200UTC para o Evento 5 (14 a 18 de agosto de 2003).

Fonte: <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>.

A Figura 4.24 mostra a seqüência das imagens para o período de 14 a 18 de agosto de 2003. Em 14/08, o SF analisado esteve associado a uma banda de nebulosidade que se estendeu desde a região sudeste do Brasil até o oceano adjacente e notou-se sobre a região da Argentina a presença de uma massa de nuvens com curvatura anticiclônica (Figura 4.24a). Em 15/08, observou-se que o SF se deslocou para a região norte de São Paulo e a banda de nebulosidade enfraqueceu (Figura 4.24d). O SF foi reorganizado pela aproximação da massa de nuvens, que estava presente no início do evento sobre a

Argentina, que favoreceu frontogênese no dia 16/08 sobre a região do Rio de Janeiro (Figura 4.24f). Em 17/08, o SF deslocou-se para latitudes mais baixas atingindo a localidade de Caravelas/BA, onde o sistema já se apresentou em estágio maduro e se dissipando em 19/08 (Figuras 4.24i a 4.24m).

A análise do campo de PNM sobreposto ao de ζ relativa no dia 14/08 (Figura 4.25a), nota que o SF esteve associada a uma baixa pressão (centro de 1015 hPa) próximo de 45°S/45°W. Em 15/08, a baixa pressão associada ao SF se deslocou para sudeste e se intensificou apresentando valores de 1005 hPa e valores de ζ ciclônica mais intensa (entre $-0,4 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ e $-0,3 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$) (Figura 4.25b) se desprendendo do sistema as 1800 UTC (campo não apresentando). O SF se reorganizou possivelmente associado a uma ciclogênese, ocorrida próxima à costa leste do Rio Grande do Sul (Figura 4.25c). Foram identificadas características frontogênicas (intensificação do SF) no campo de advecção de temperatura através do reaparecimento das regiões de advecção de ar frio e ar quente na retaguarda e vanguarda do SF, respectivamente (Figura 4.26c). Em 17/08, o ciclone frontal se intensificou, chegando a valores de 1000 hPa (Figuras 4.25d), apresentando valores mais baixos de geopotencial em seu centro (ar mais frio) (Figuras 4.27d).

No campo de advecção de temperatura, neste mesmo dia (17/08), observou-se à intensificação das regiões de advecção de ar quente e ar frio na vanguarda e retaguarda do SF, respectivamente (Figura 4.26d). Em 18/08, o ciclone frontal se deslocou para sudeste, ainda com os mesmos valores de PNM (Figura 4.25e), perdendo intensidade a partir das 1800 UTC e se dissipando as 0600 UTC do dia 19/08 (figuras não apresentadas). Em 14/08 a partir das 1200UTC observou-se à formação de um anticiclone sobre o continente (Figura 4.25a e 4.27a), que se intensificou em 16/08 (Figura 4.25c) e continuou a se deslocar para leste, chegando a atingir valores de 1035 hPa em 18/08 as 0000 UTC (figura não apresentada). A intensificação do anticiclone pós-frontal (16/08) contribuiu para incursão de ar frio nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo e Mato Grosso do Sul, como observado no campo de advecção de temperatura (Figura 4.26c).

Em 500 hPa (Figuras 4.28a a 4.28e) e 200 hPa (Figura 4.29a a 4.29e), durante a ocorrência desse evento observou-se a presença do cavado associado ao SF em superfície, o qual se apresentou mais intenso nos dias 17/08 e 18/08. Em 200 hPa, o JS esteve presente durante todo o evento com intensidade fraca (velocidade entre 38 ms^{-1} e 44 ms^{-1}), apresentando um *jet streak* próximo à costa oeste da Argentina (Figuras 4.29a a 4.29e).

Neste evento, as características sinóticas observadas foram as seguintes:

- Intensificação do ciclone associado ao SF;
- Ciclogênese nas costa leste do Rio Grande do Sul;
- Intensificação do anticiclone pós-frontal, o qual chegou a atingir valores de 1030hPa;
- Amplificação do cavado frontal;
- Fraca intensidade do JS.

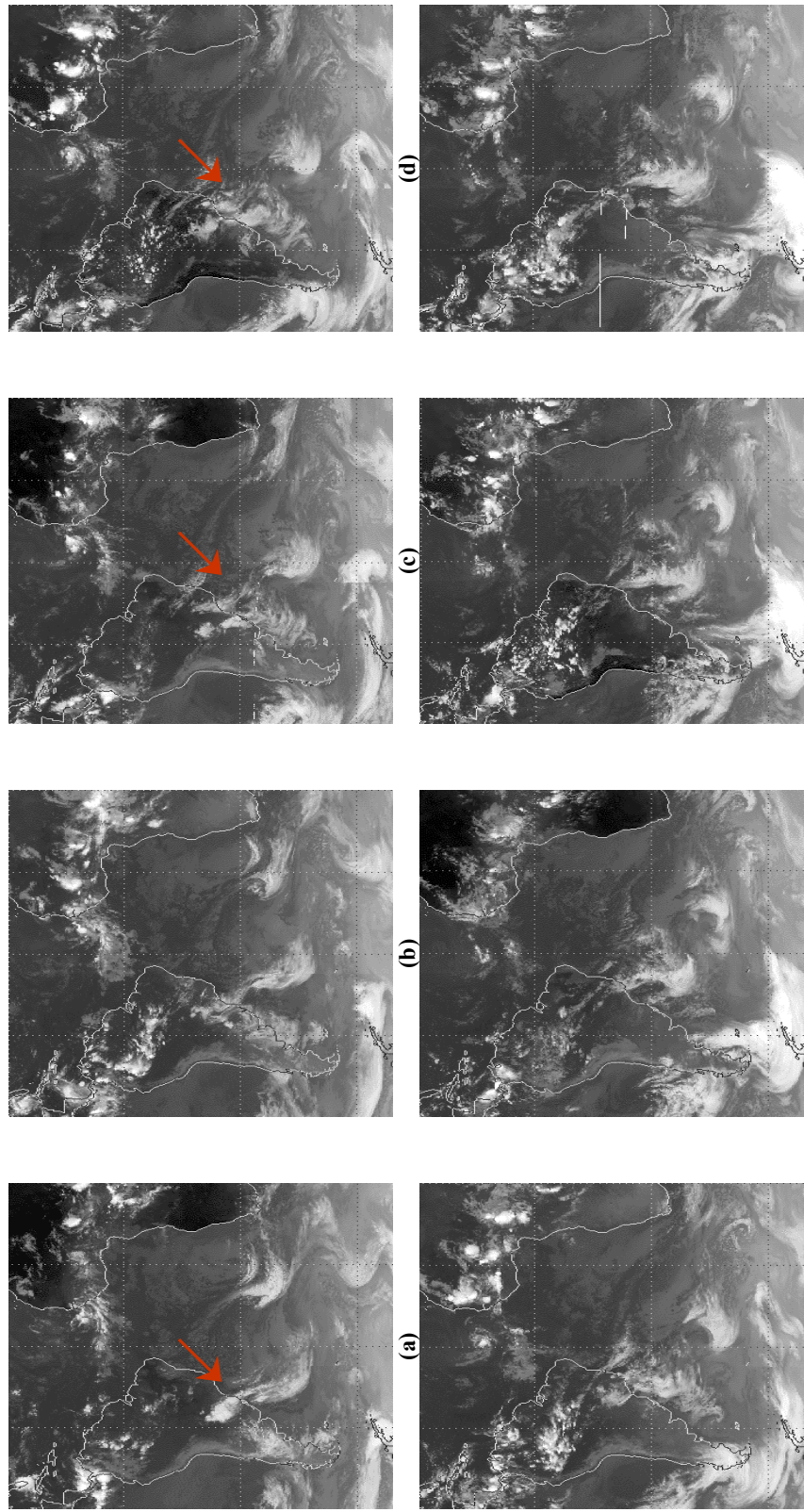
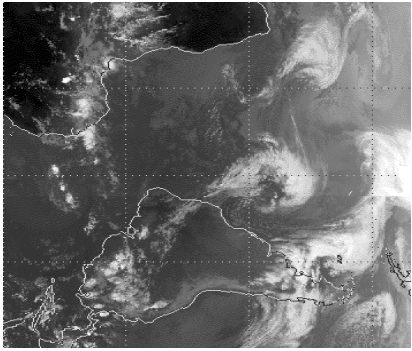
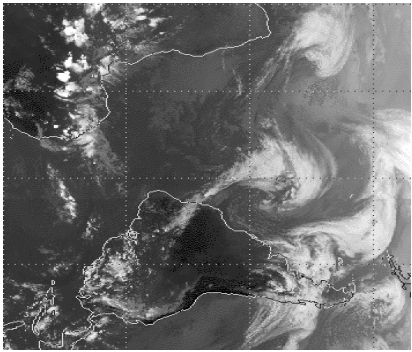


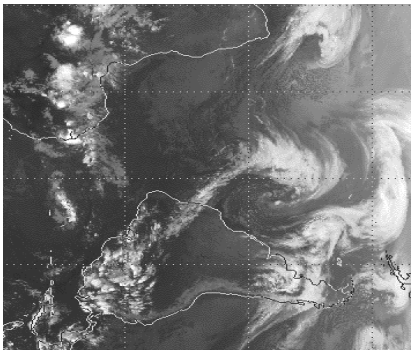
Figura 4.24 – Sequência de imagens do satélite GOES+Meteosat, canal infravermelho: a) 14/08/2003, as 1200UTC; b) 15/08/2003, as 0000UTC; c) 15/08/2003, as 1200UTC; d) 15/08/2003, as 1800UTC; e) 16/08/2003, as 0000UTC; f) 16/08/2003, as 1200UTC; g) 16/08/2003, as 1800UTC; h) 17/08/2003, as 0000UTC; i) 17/08/2003, as 1200UTC; j) 17/08/2003, as 1800UTC; l) 18/08/2003, as 0000UTC e m) 18/08/2003, as 1200UTC (continua).
 Fonte: <http://satelite.cptec.inpe.br/>.



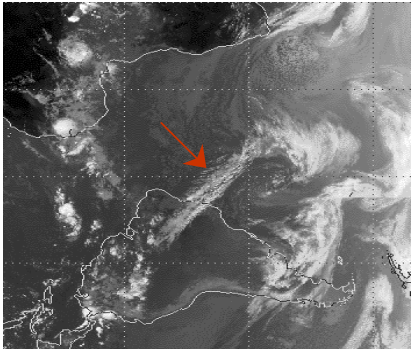
(i)



(j)



(k)



(m)

Figura 4.24 – Conclusão.

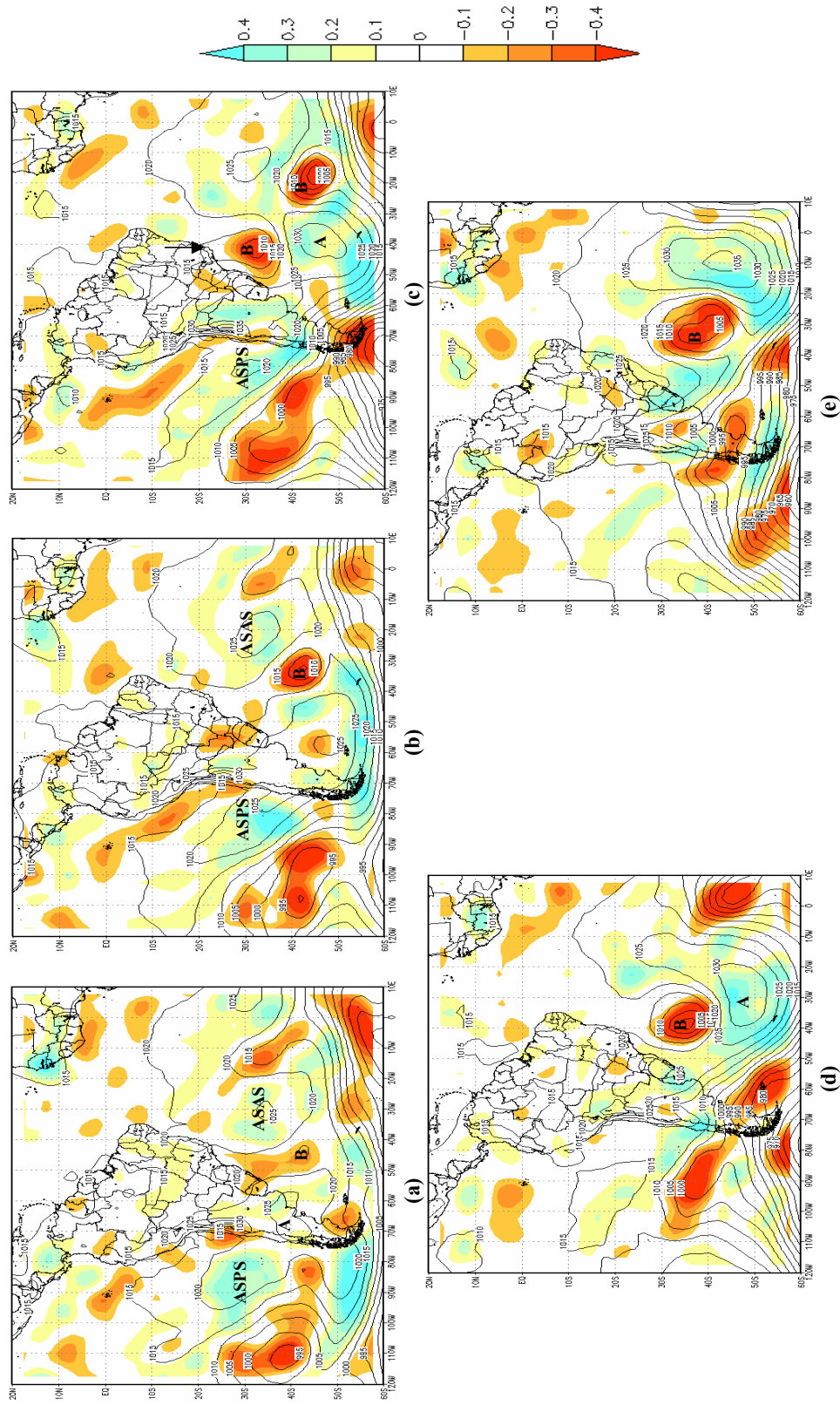


Figura 4.25 – Campos de ζ ($\times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) no nível de 850 hPa (em cores) e PNM as 1200UTC para os dias: a) 14/08/2003, b) 15/08/2003, c) 16/08/2003, d) 17/08/2003 e e) 18/08/2003.

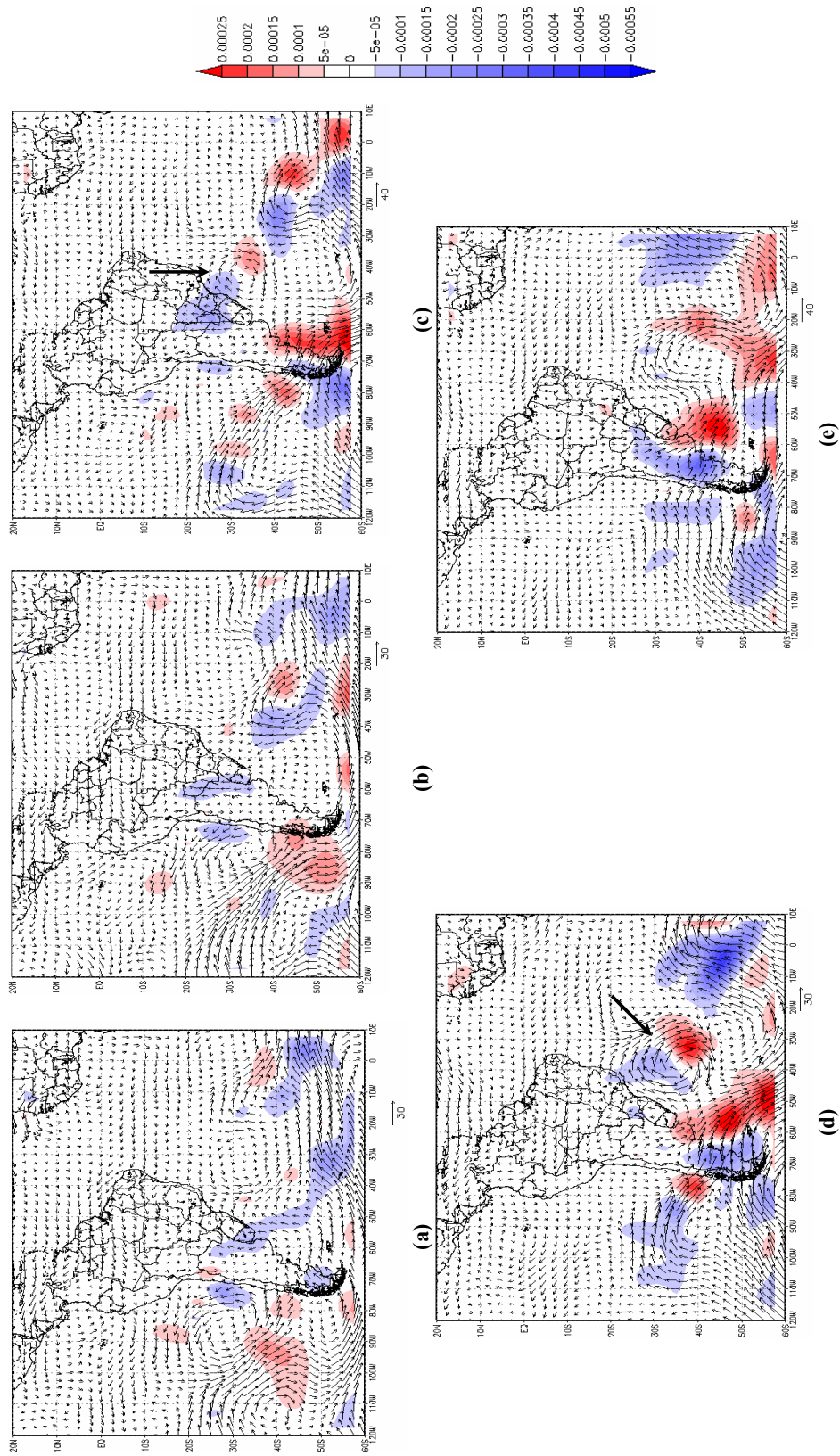


Figura 4.26 – Campos de Advecção de Temperatura ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$) e Vento em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 14/08/2003, b) 15/08/2003, c) 16/08/2003, d) 17/08/2003 e e) 18/08/2003.

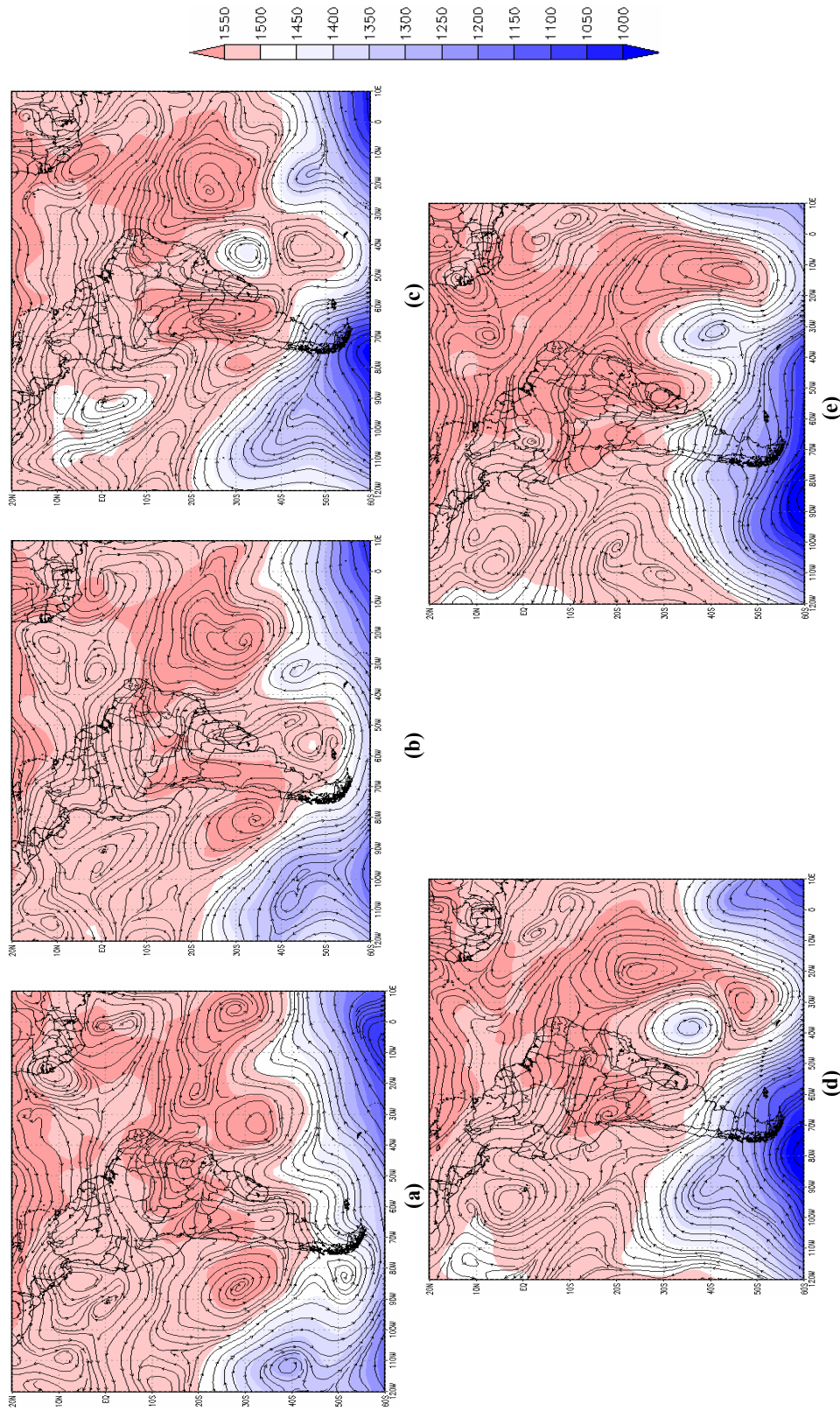


Figura 4.27 – Campos de LC e z em 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 14/08/2003, b) 15/08/2003, c) 16/08/2003, d) 17/08/2003 e e) 18/08/2003.

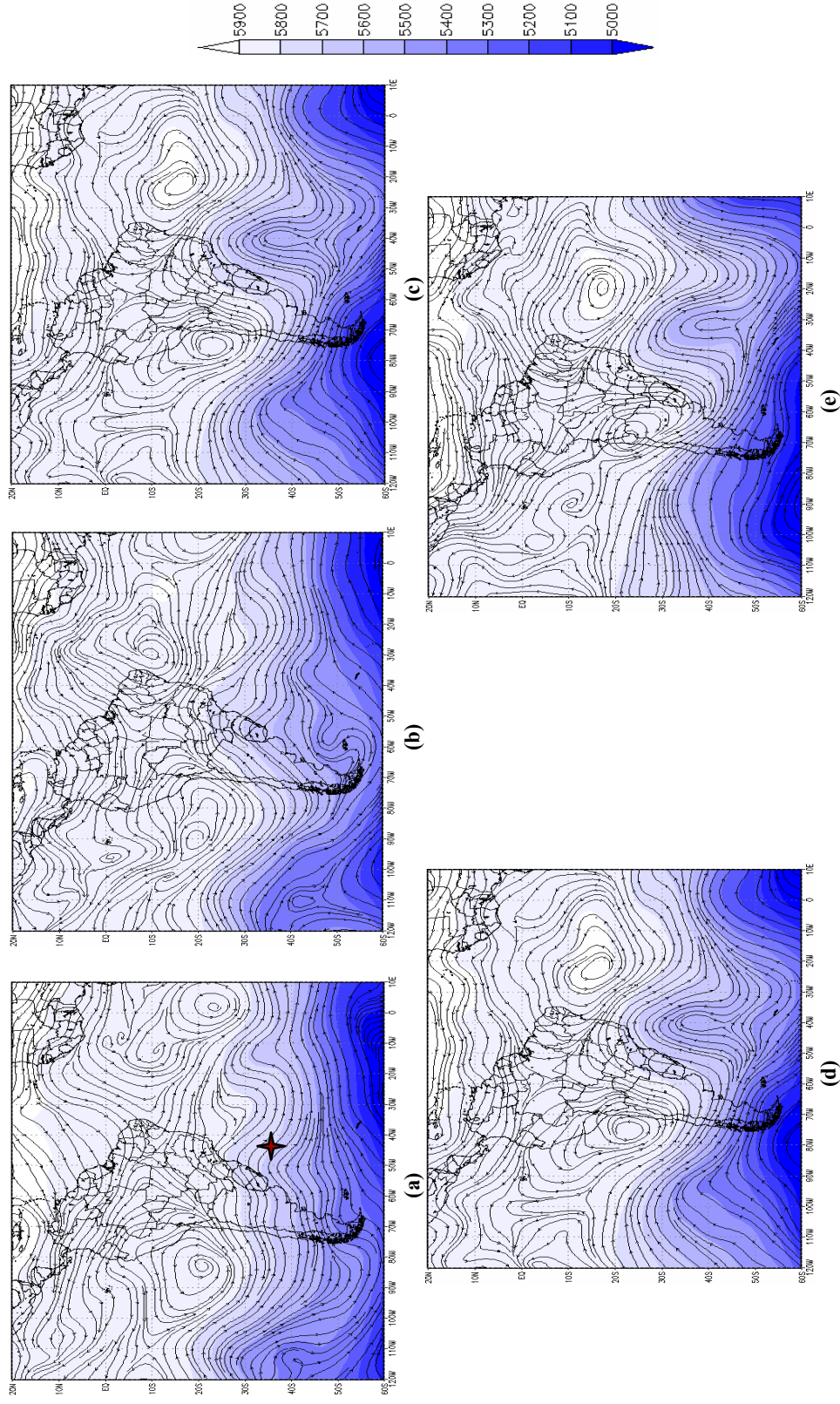


Figura 4.28 – Campos de LC e z em 500 hPa as 1200UTC para os dias: a) 14/08/2003, b) 15/08/2003, c) 16/08/2003, d) 17/08/2003 e e) 18/08/2003.

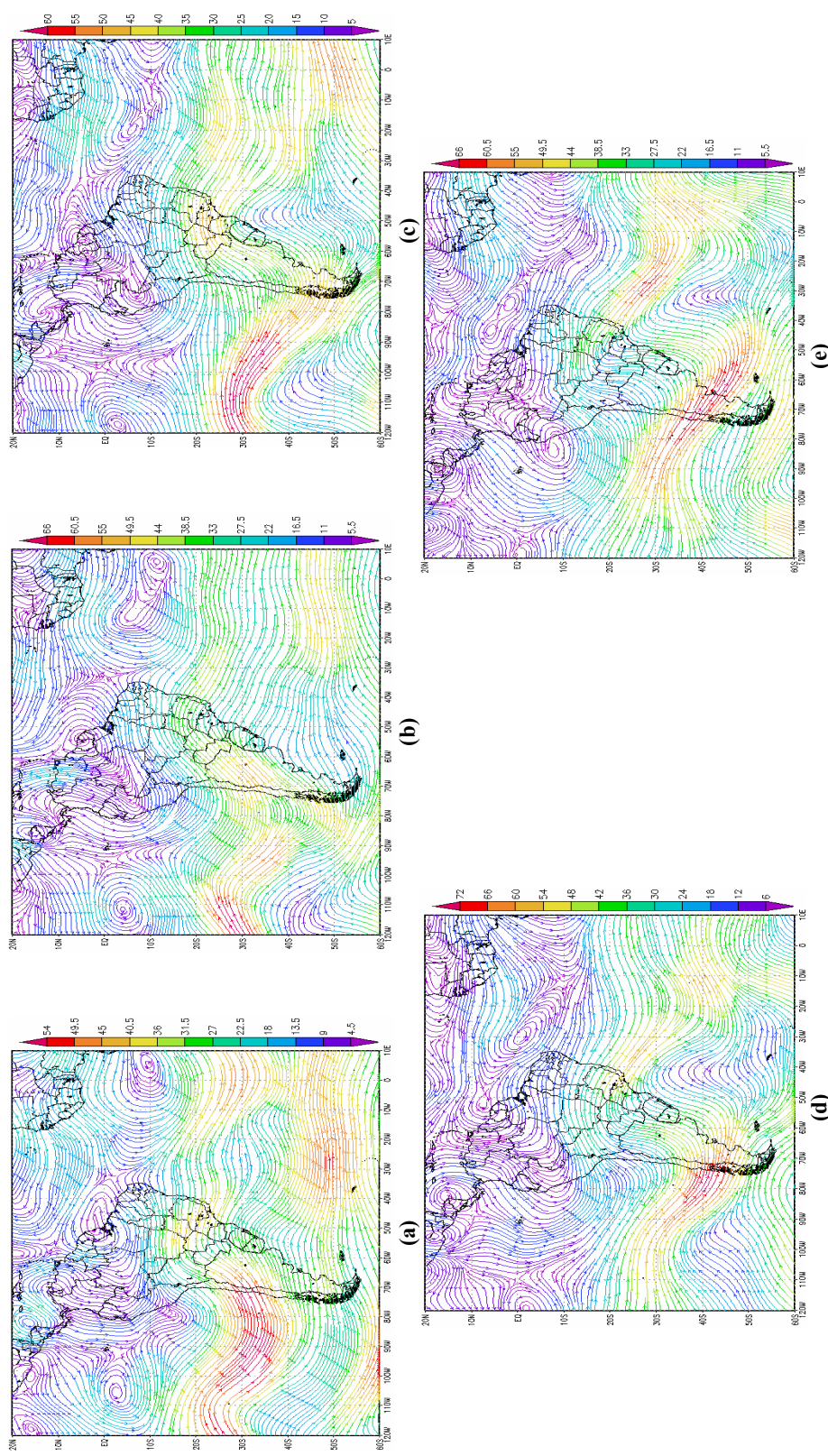


Figura 4.29 – Campos de LC e Magnitude do Vento ($m s^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 14/08/2003, b) 15/08/2003, c) 16/08/2003, d) 17/08/2003 e e) 18/08/2003.

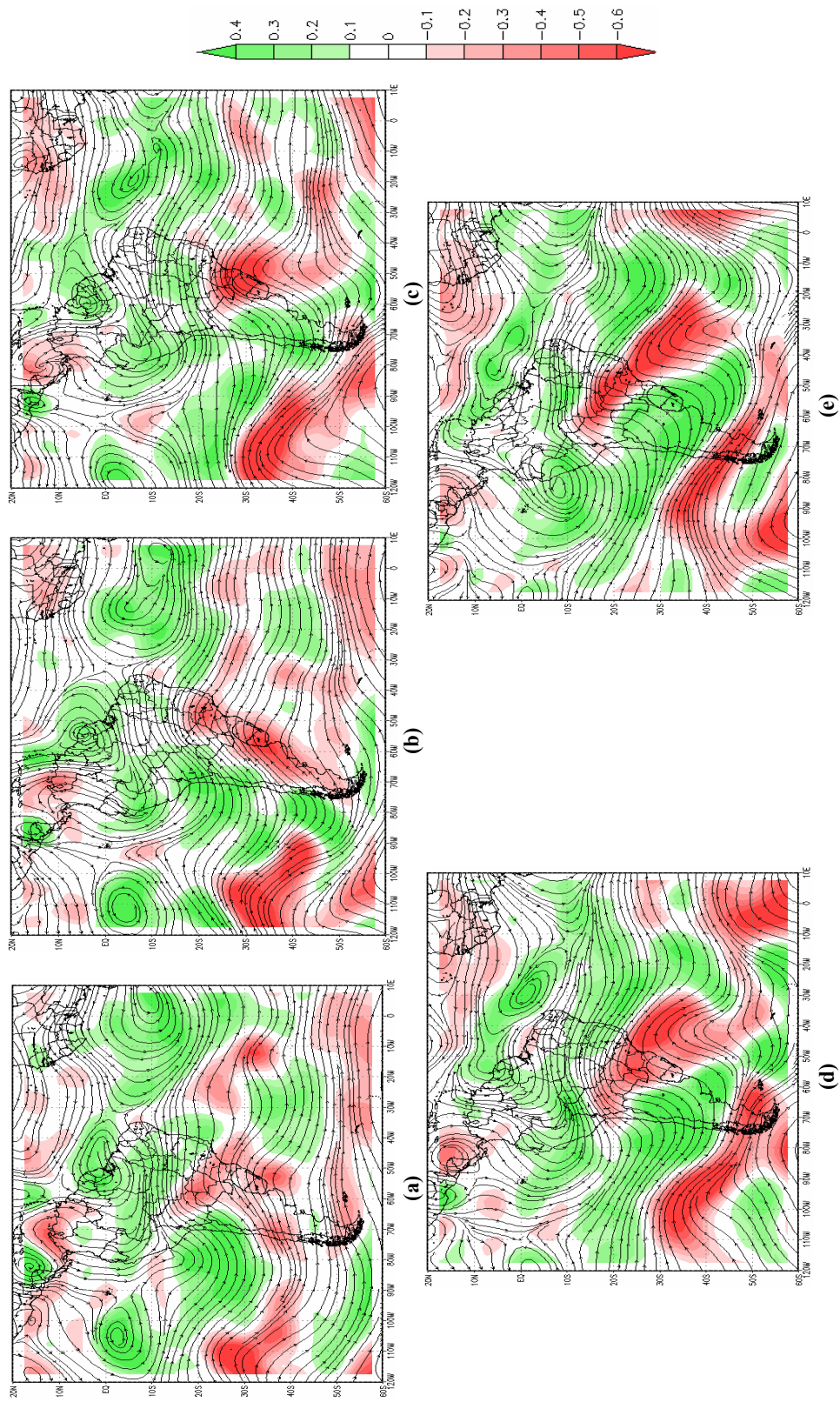


Figura 4.30 – Campos de LC e ζ ($\times 10^{-4} s^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 14/08/2003, b) 15/08/2003, c) 16/08/2003, d) 17/08/2003 e e) 18/08/2003.

4.2.3 Evento da Primavera Austral

O evento selecionado para a primavera austral (evento 5) ocorreu em novembro de 1999, onde o SF incursionou na estação de Porto Alegre, em 13/11 e deslocou-se tanto pelo interior quanto pelo litoral, atingindo o estado de Alagoas em 17/11 e permanecendo atuante no NEB até 20/11 (Figura 4.31).

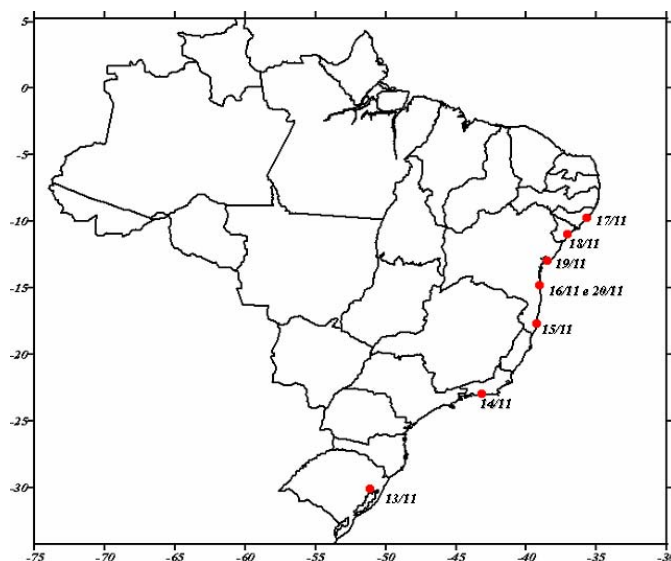


Figura 4.31 – Posição do SF em superfície as 1200UTC para o Evento 4 (13 a 20 de novembro de 1999).
Fonte: <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>.

A Figura 4.23 mostra a seqüência das imagens do satélite para o período de 13 a 20 de novembro de 1999. Em 13/11 (Figura 4.32a), o SF incursionou no sul do Brasil associado a uma banda de nebulosidade fraca e um ciclone em estágio maduro sobre o OAS. Também se observou uma ZCAS em dissipação atuando na região Sudeste a qual o SF estudado interagiu no dia 14/11 as 0600UTC (Figura 4.32g), sobre os estados de São Paulo e Paraná, favorecendo a intensificação da banda de nebulosidade frontal. Nos dias seguintes, o SF tornou a se deslocar para latitudes mais ao norte, chegando até a região de Alagoas em 17/11 (Figura 4.322n). A partir desse dia, o SF permaneceu semi-estacionário no NEB, dando início a formação da ZCAS que continuou atuante na região até o dia 20/11 (Figuras 4.32n a 4.32s) e foi retroalimentado em 22/11 pela aproximação de outro SF, que incursionou no sul do Brasil em 20/11.

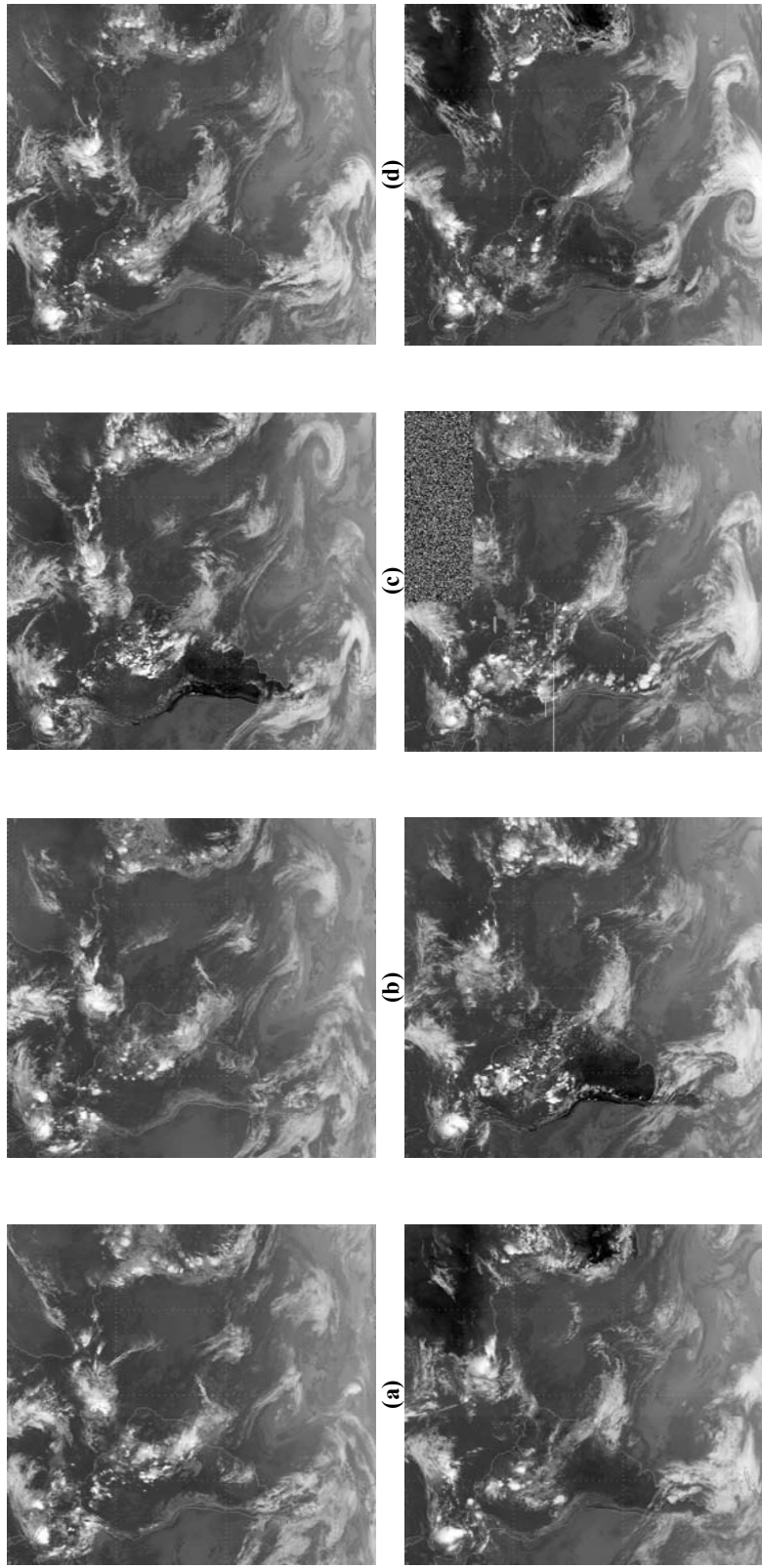
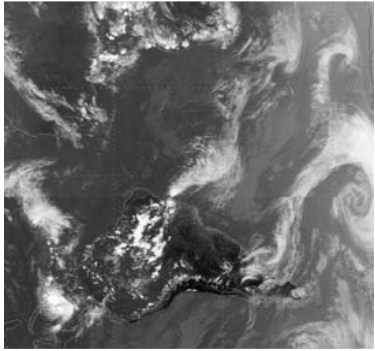
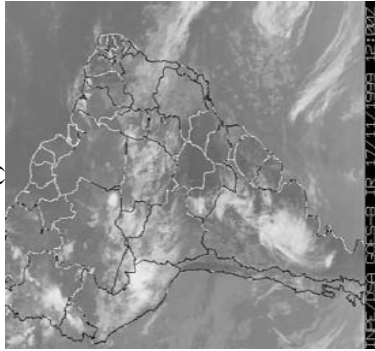


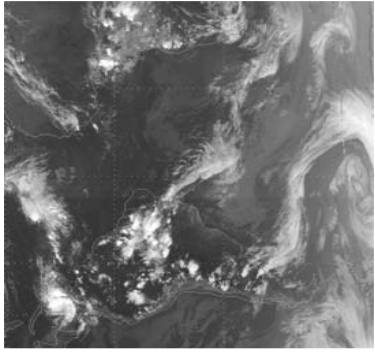
Figura 4.32 – Sequência de imagens do satélite GOES-8 e GOES+Meteosat, canal infravermelho: a) 13/11/1999, as 0000UTC; b) 13/11/1999, as 0600UTC; c) 13/11/1999, as 1800UTC; d) 14/11/1999, as 1200UTC; e) 14/11/1999, as 0600UTC; f) 14/11/1999, as 1800UTC; g) 15/11/1999, as 0000UTC; h) 15/11/1999, as 1200UTC; i) 15/11/1999, as 1800UTC; j) 16/11/1999, as 0000UTC; k) 16/11/1999, as 0600UTC; l) 16/11/1999, as 1200UTC; m) 17/11/1999, as 1200UTC; n) 17/11/1999, as 1800UTC; o) 18/11/1999, as 0900UTC; p) 19/11/1999, as 0000UTC; q) 19/11/1999, as 0600UTC; r) 19/11/1999, as 1200UTC e s) 20/11/1999, as 1200UTC (continua).
 Fonte: <http://satelite.cptec.inpe.br/>.



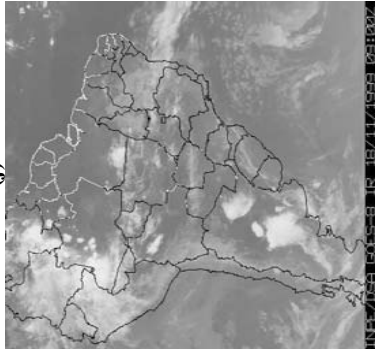
(i)



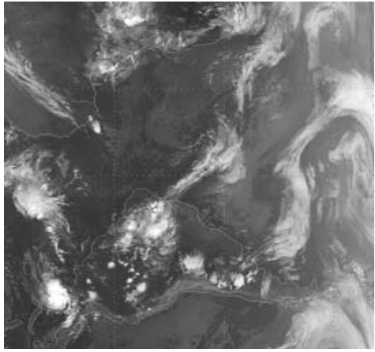
(n)



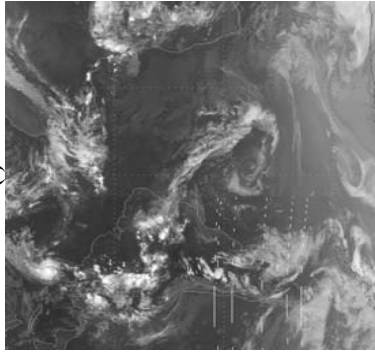
(j)



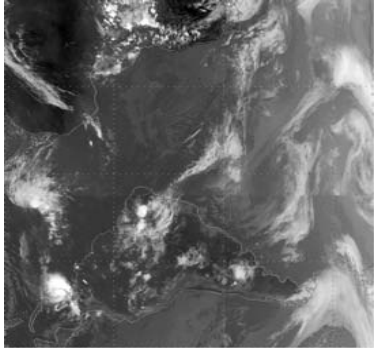
(o)



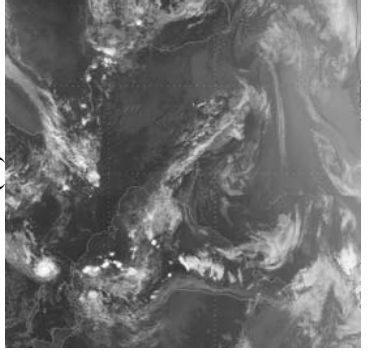
(k)



(p)

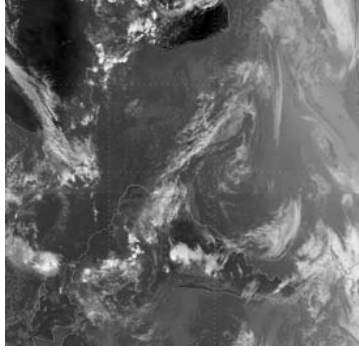


(l)



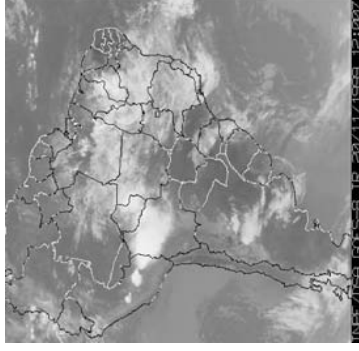
(q)

Figura 4.32 – Continua.



(r)

Figura 4.32 – Conclusão.



(s)

4.2.3.1 Escoamento em baixos níveis

No dia inicial do evento (13/11), o SF esteve associado a uma baixa pressão sobre OAS, próximo de $45^{\circ}\text{S}/25^{\circ}\text{W}$, onde apresentou ζ ciclônica variando entre $-0,4 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ e $-0,3 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ (Figura 4.33a). Nos dias subsequentes o ciclone frontal se deslocou para sudeste chegando a se desprender do sistema em 15/11 e se dissipando em 16/11 (Figura 4.33b-c). O SF foi reorganizado em 16/11 por uma ciclogênese ocorrida na costa leste do Espírito Santo, próximo de $23^{\circ}\text{S}/35^{\circ}\text{W}$, favorecido por um centro de advecção de ar quente detectada na região no dia anterior (Figuras 4.33c e 4.34b). O processo frontogenético foi confirmado no campo de advecção de temperatura pela reorganização das regiões de advecção de ar quente e ar frio na vanguarda e retaguarda do SF, respectivamente, favorecendo o deslocamento do SF (Figuras 4.34c). Entre os dias 13/11 e 14/11, observou-se que o SF teve um rápido deslocamento do Rio Grande do Sul para o estado do Rio Janeiro, possivelmente devido à intensificação da alta pós-frontal que apresentou valores de 1030 hPa (Figuras 4.33a-b e 4.35a-b). Em 18/11, a alta pós-frontal enfraqueceu (1020 hPa) e propiciou o deslocamento do ciclone frontal para sudeste, o qual se desintensificou em 20/11 (Figuras 4.33f a 4.33h). Neste mesmo dia, notou-se que a ASAS se intensificou e deslocou-se para leste, apresentando os mesmos valores de PNM (1020 hPa) até o final do evento (Figuras 4.33f a 4.33h e 4.35f a 4.35h).

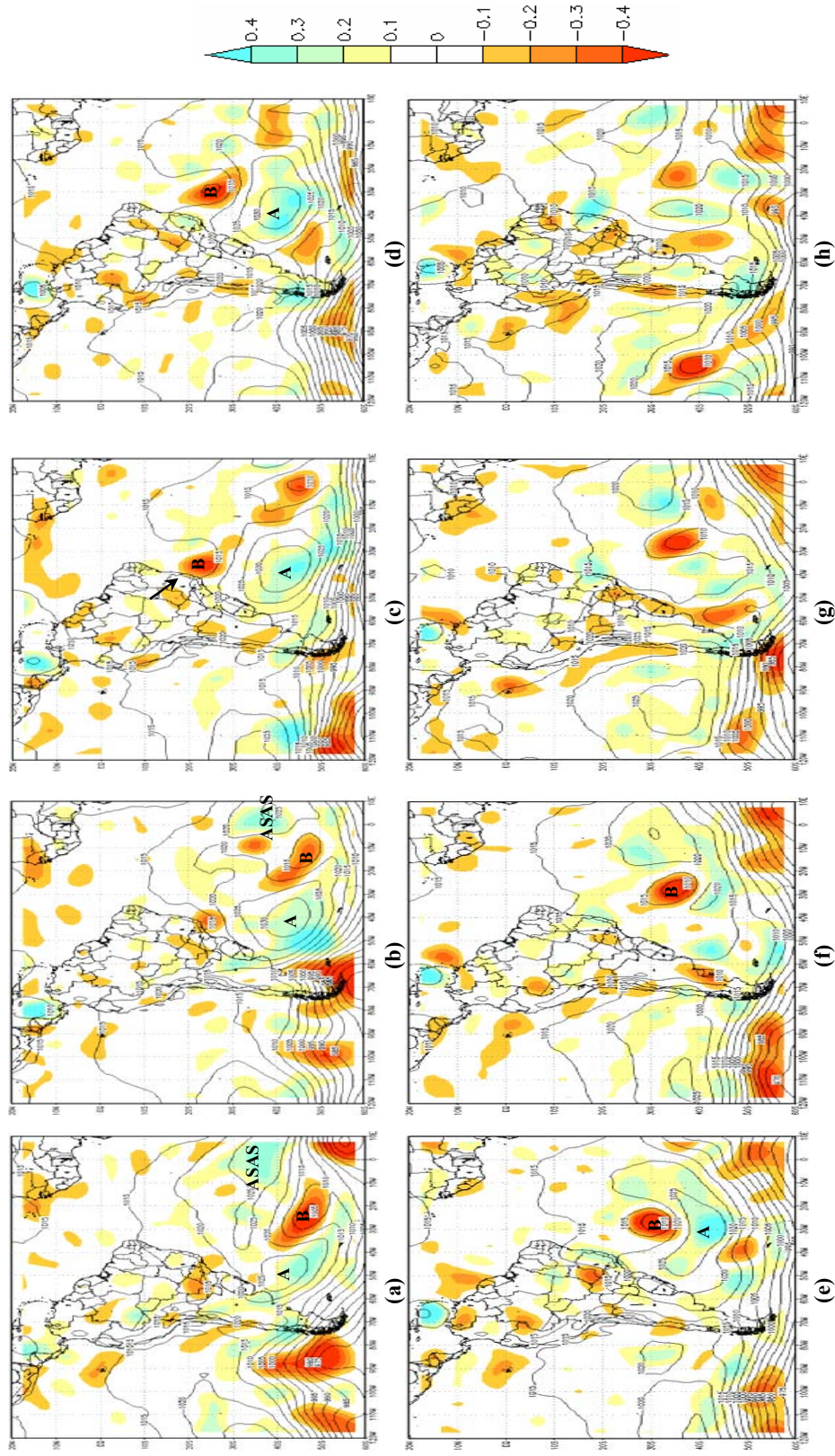


Figura 4.33 – Campos de ζ ($\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$) no nível de 850 hPa (em cores) e PNM para os dias: a) 13/11/1999, b) 14/11/1999, c) 15/11/1999, d) 16/11/1999, e) 17/11/1999, f) 18/11/1999, g) 19/11/1999 e h) 20/11/1999.

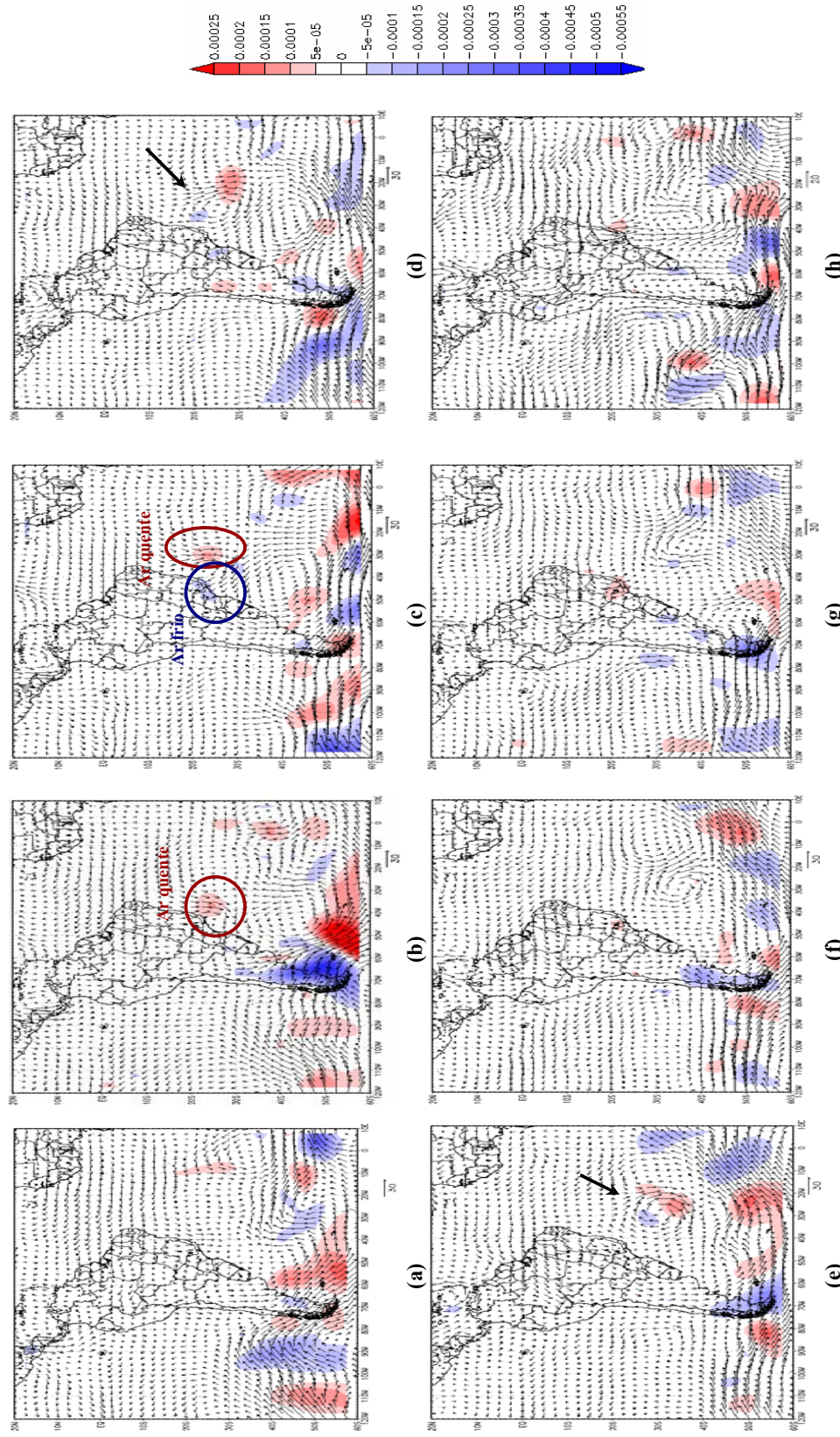


Figura 4.34 – Campos de Advecção de Temperatura ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$) e Vento em 850 hPa para os dias: a) 13/11/1999, b) 14/11/1999, c) 15/11/1999, d) 16/11/1999, e) 17/11/1999, f) 18/11/1999, g) 19/11/1999 e h) 20/11/1999.

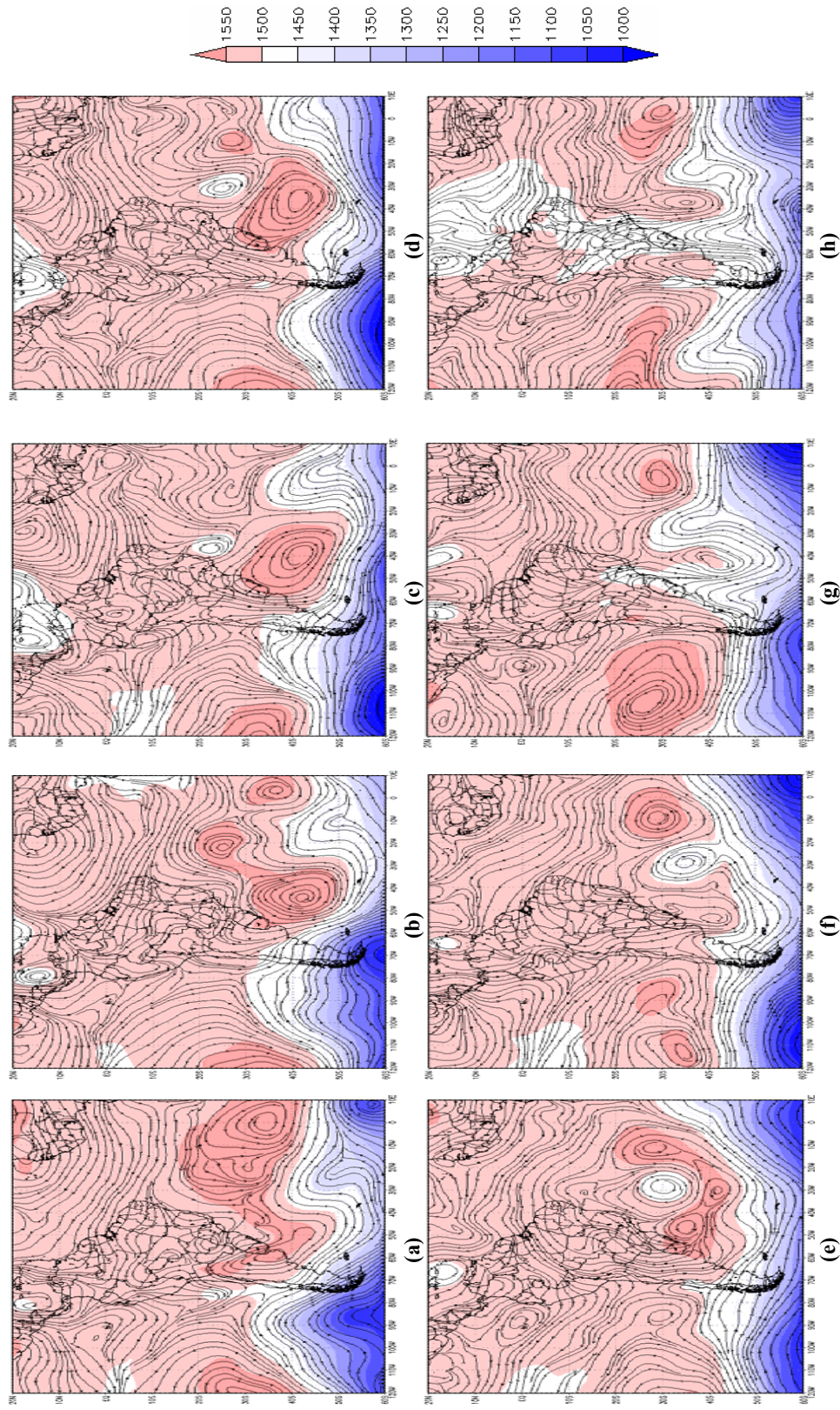


Figura 4.35 – Campos de LC e z em de 850 hPa para os dias: a) 13/11/1999, b) 14/11/1999, c) 15/11/1999, d) 16/11/1999, e) 17/11/1999, f) 18/11/1999, g) 19/11/1999 e h) 20/11/1999.

4.2.3.2 Escoamento em médios níveis e altos níveis

Em 500 hPa, em 13/11 o SF esteve associado a um cavado frio presente desde o OAS, próximo de 25°S/45°W, até o sul do Brasil, deslocado para oeste em relação ao sistema em superfície (Figura 4.36a). Nos dias subsequentes, o cavado acentuou-se meridionalmente, com uma inclinação para noroeste, chegando a atingir a região sul do NEB em 16/11 (Figuras 4.36b a 4.36d). Devido a meridionalidade do cavado, observou-se a formação de um vórtice ciclônico frio em 16/11, próximo de 30°S/35°W, associada a uma baixa fria em superfície, que se estendeu até 200 hPa, com uma inclinação na vertical para oeste, mostrando uma estrutura baroclínica (Figuras 4.35d e 4.36d). Em 200 hPa (Figura 4.37d), notou-se que ao norte do vórtice ciclônico o JS apresentou *jet streak* com valores acima de 48ms^{-1} , favorecendo ao aumento de ζ ciclônica no seu lado polar. Em 17/11, o vórtice ciclônico apresentou-se barotrópico equivalente, ou seja, aprofundou-se desde 200 hPa a até baixos níveis, sem inclinação na vertical, com intensidade diferente entre os níveis, dando indícios do estágio de decaimento do sistema, o qual se dissipou em 19/11 (Figuras 4.35e a 4.35g e 4.36e a 4.36g). Estágio do vórtice visualizado também na imagem de satélite associado a uma banda de nebulosidade típica de um ciclone extratropical maduro (STRETEN E TROUP, 1973). Em 200 hPa, verificou-se nos dias finais do evento (18/11 a 20/11) a configuração da AB e do VCAN, que atuam nas proximidades do NEB, os quais propiciaram a semi-estacionaridade da banda frontal sobre o NEB e contribuiu para a configuração da ZCAS (Figuras 4.37f a 4.37h). Ao longo da banda de nebulosidade associada a ZCAS observou-se valores de ζ positiva, em 200 hPa (Figuras 4.38f a 4.38h), baixos valores de radiação de onda longa (campos não apresentados) e uma faixa de valores significativos de água precipitável, variando entre 35 mm e 50 mm (campos não apresentados), contribuindo para chuvas acima da média climatológica no sul do NEB (CLIMANÁLISE, 1999).

Resumindo, as características sinóticas observadas neste evento foram:

- Intensificação do SF sobre a região sudeste devido sua interação com outro SF presente sobre a região;
- Intensificação da alta pós-frontal;
- Ciclogênese próxima à costa do Espírito Santo;
- Amplificação do cavado frontal;
- Ventos intensos na região do JS sobre o continente apenas nos dias iniciais.
- Configuração do padrão AB e VCAN, apenas nos dias finais dos eventos, quando o SF já estava atuando no NEB, contribuindo para a sua semi-estacionaridade na região;

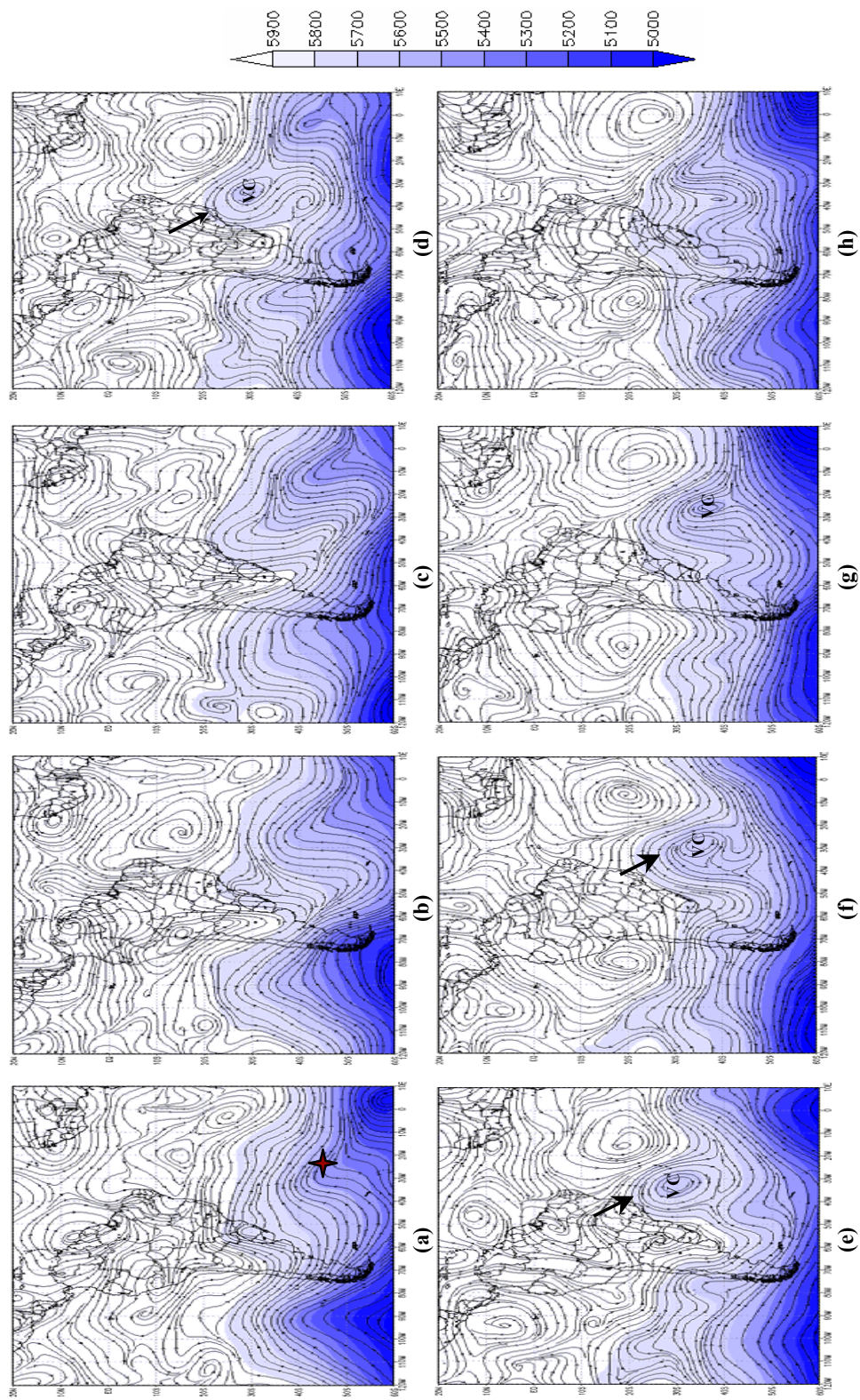


Figura 4.36 – Campos de LC e z em 500 hPa para os dias: a) 13/11/1999, b) 14/11/1999, c) 15/11/1999, d) 16/11/1999, e) 17/11/1999, f) 18/11/1999, g) 19/11/1999 e h) 20/11/1999.

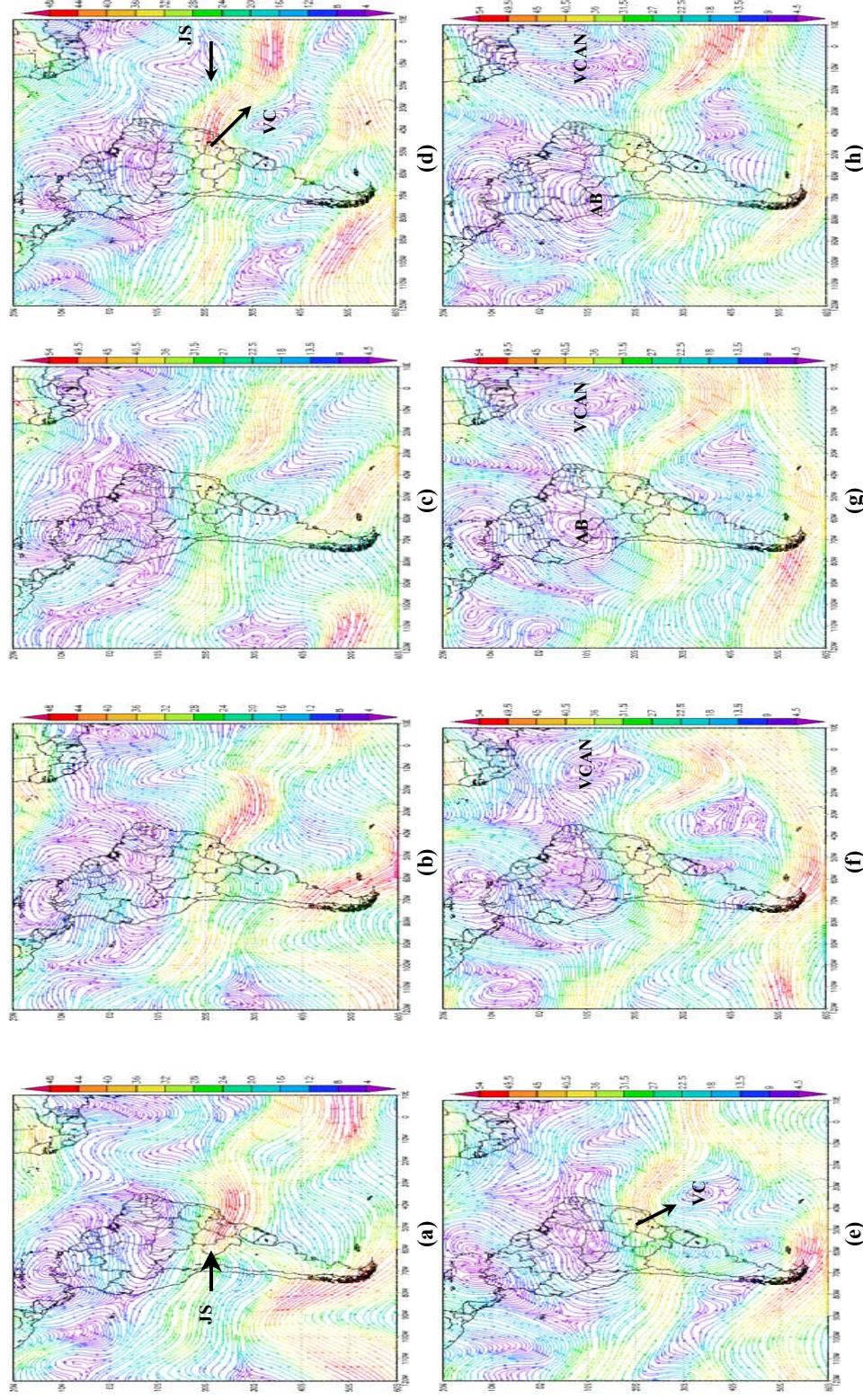


Figura 4.37 – Campos de LC e Magnitude do Vento ($m s^{-1}$) em 200 hPa para os dias: a) 13/11/1999, b) 14/11/1999, c) 15/11/1999, d) 16/11/1999, e) 17/11/1999, f) 18/11/1999, g) 19/11/1999 e h) 20/11/1999.

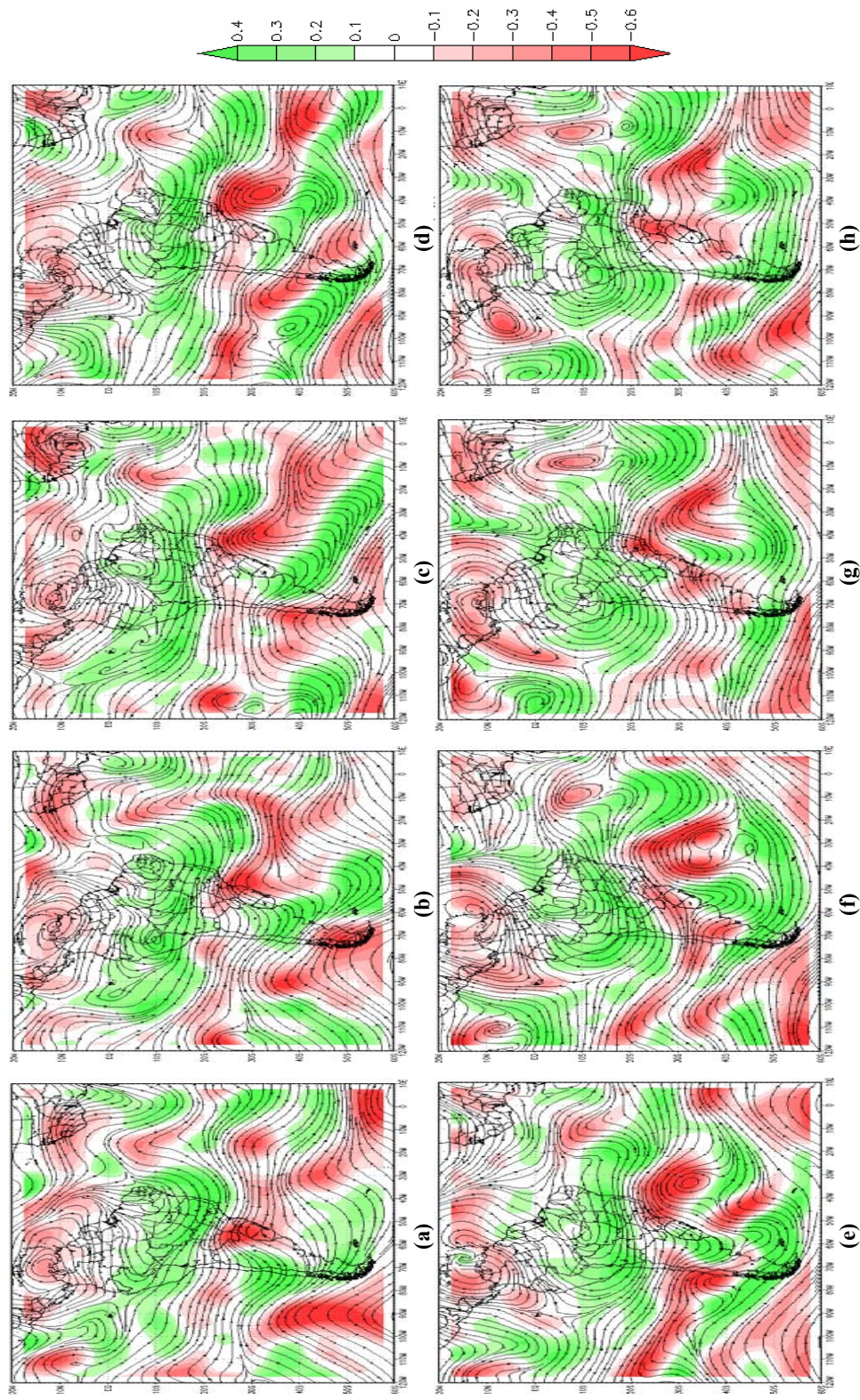


Figura 4.38 – Campos de LC e ζ ($\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$) em 200 hPa para os dias: a) 13/11/1999, b) 14/11/1999, c) 15/11/1999, d) 16/11/1999, e) 17/11/1999, f) 18/11/1999, g) 19/11/1999 e h) 20/11/1999.

4.2.4 Eventos do Verão Austral

Os eventos selecionados para o verão austral (eventos 6 e 7) apresentaram padrões típicos desta estação, com as configurações da AB e do VCAN, e no momento de aparecimento destes sistemas observou-se que os SFs permaneceram semi-estacionários propiciando a formação da ZCAS. O evento 6 iniciou-se com a chegada de um SF sobre o estado do Paraná em 13/12, em 14/12 observou-se, através de imagem de satélite, que o SF se associou com restos de outro SF localizado sobre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, e continuou a se deslocar para latitudes mais baixas (Figura 4.39a). Em 16/12, esse SF atingiu o NEB e permaneceu semi-estacionário sobre a região até o dia 20/12, configurando a ZCAS. A ZCAS favoreceu a ocorrência de chuvas significativas no NEB, principalmente no Maranhão, sul de Piauí, oeste de Pernambuco e em todo o estado da Bahia (CLIMANÁLISE, 1999).

O evento 7 ocorreu no período de 17 a 22 de fevereiro de 2005 (Figura 4.39b). O SF incursionou na região sul do Brasil, em 17/02, adquiriu uma trajetória tanto litorânea quanto continental atingindo o sul da Bahia no dia 22/02, deslocando-se para o OAS em 23/02 (Figura 4.39b). Vale ressaltar que, em fevereiro de 2005, as chuvas no NEB foram acima da média climatológica no norte do Maranhão, sudeste do Piauí, sudoeste de Pernambuco, leste de Alagoas e sul de Aracajú (CLIMANÁLISE, 2005). As quais foram atribuídas a ZCAS, que foi registrada a partir de 13/02 pelo Climanálise, com a formação de um ciclone extratropical que se configurou desde a superfície, permanecendo estacionário e barotrópico sobre o OAS no período de 12 a 16/02, enfraquecendo a partir de 17/02 e voltando a se restabelecer com a chegada do SF estudado (evento 7).

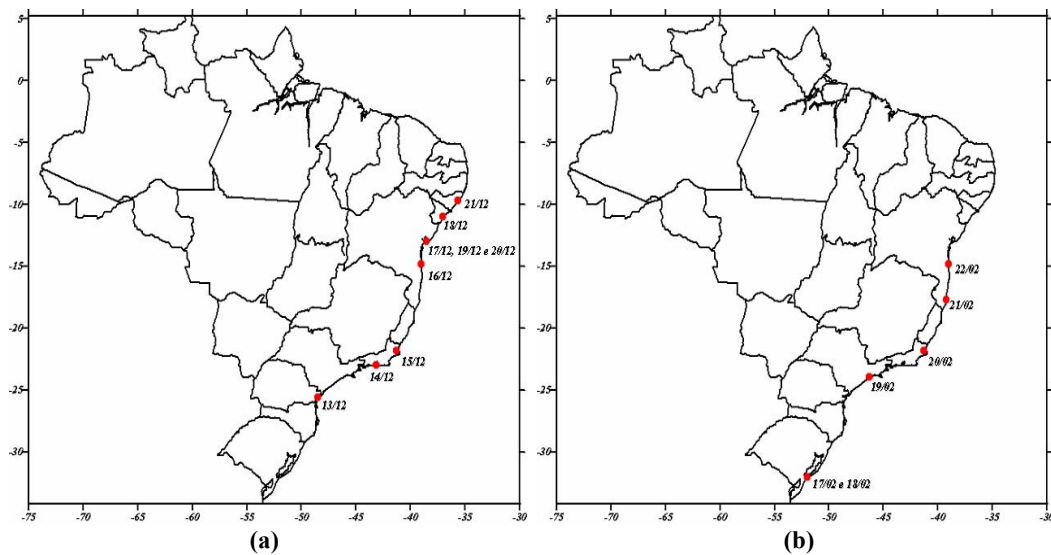


Figura 4.39 – Posição do SF em superfície as 1200UTC para os Eventos: a) 6 (13 a 21 de dezembro de 1999) e b) 7 (17 a 22 de fevereiro de 2005).

Fonte: <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/>.

4.2.4.1 Evento 6: Período de 13 a 21/12/1999

Na seqüência das imagens de satélite, do período de 13 a 21 de dezembro de 1999 (Figuras 4.31a a 4.31i), observou-se que quando o SF incursionou em Paranaguá/PR havia a presença de outro SF na região Sudeste (Figura 4.40a). Em 14/12, esses SFs interagiram e o primeiro sistema continuou a se deslocar para latitudes mais baixas apresentando uma banda de nebulosidade enfraquecida até o dia 15/12 (Figura 4.40b). No dia 16/12, a banda de nebulosidade frontal se reorganizou sobre o NEB, onde permaneceu semi-estacionária até o dia 20/12, organizando a ZCAS (Figuras 4.40d a 4.40h). O evento foi finalizado em 21/12 (Figura 4.40i). A seguir analisa-se o padrão sinótico configurado em 850 hPa, 500 hPa e 200 hPa.

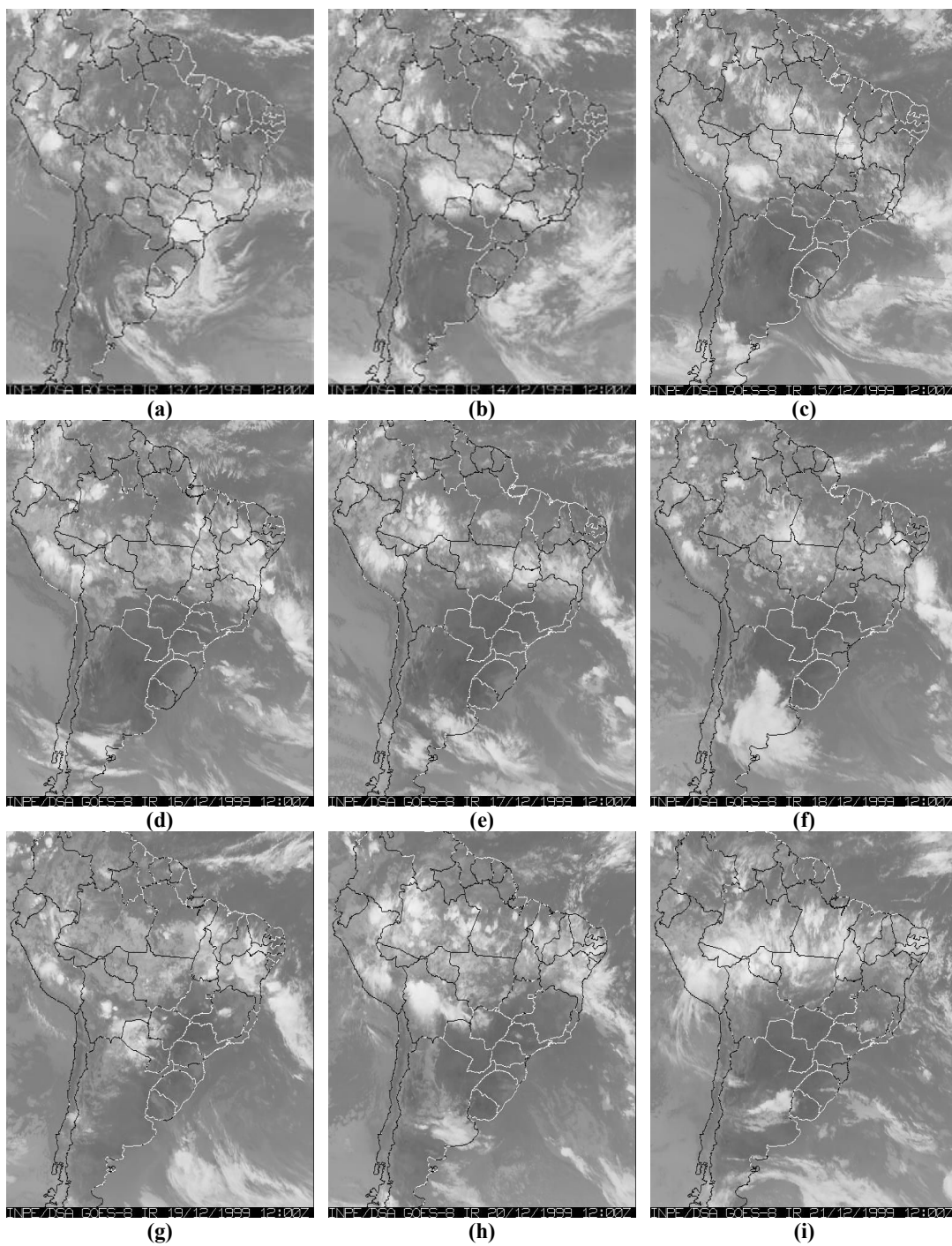


Figura 4.40 - Seqüência de imagens do satélite GOES-8, canal infravermelho, as 1200UTC: a) 13/12/1999, b) 14/12/1999, c) 15/12/1999, d) 16/12/1999, e) 17/12/1999, f) 18/12/1999, g) 19/12/1999, h) 20/12/1999 e i) 21/12/1999.

Fonte: <http://satelite.cptec.inpe.br/>.

4.2.4.1.1 Escoamento em baixos níveis

No campo de PNM e de ζ em 850 hPa, notou-se que o SF, em 13/12, estava associado a região de ζ ciclônica, com centros (entre $-0,4 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ e $-0,3 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$) localizados no sul do Uruguai e no Paraná (Figuras 4.41a). No campo de vetor vento a atuação do SF foi demarcado por uma região de confluências dos ventos no OAS próximo à costa leste de Santa Catarina (Figura 4.42a). Em 14/12, a região de ζ negativa se estendeu sobre a costa leste da AS, desde o sul do Uruguai até o Rio de Janeiro, onde se observou a formação de um ciclone com um centro de 1000 hPa (Figura 4.41b). Nos dias subseqüentes, o ciclone frontal deslocou-se para leste, provavelmente devido a presença da ASAS que apresentou-se bem configurada próximo de 35°S e 30°W , com valores de 1020 hPa, e perdeu intensidade no dia 17/12 (Figuras 4.41c a 4.41f). Em relação a ASPS, observou-se que em 13/12 esteve configurada no sul da costa oeste da AS adentrando o continente (Figura 4.41a). Nos dias subseqüentes, observou-se a formação de um anticiclone sobre o continente sul-americano (15/12) o qual no dia 16/12 apresentou um escoamento mais intenso, visualizado através do campo de linhas de corrente, e contribuiu, provavelmente, para o rápido deslocamento do SF para o NEB, ocorrido entre os dias 15 e 16/12 (Figura 4.43d). Perdendo intensidade nos dias subseqüentes e se dissipando em 19/12 (Figuras 4.43e a 4.43g).

Outra característica observada em 850 hPa foi a intensidade do escoamento de norte na região do JBN, apresentando-se bastante intenso nos dias iniciais do evento ($\approx 30 \text{ms}^{-1}$) (Figuras 4.42a a 4.42h). Em 13/12, notou-se que o escoamento de norte na região do JBN advectou ar quente na região a vanguarda da frente, que estava localizada sobre o sul do Brasil, e a ASPS propiciou um escoamento frio de sul, a retaguarda, favorecendo sobre a região condições favoráveis para intensificação do SF (Figura 4.43a). A partir de 16/12, o escoamento de norte na região do JBN enfraqueceu e, provavelmente, junto com a intensificação da alta pós-frontal contribuíram para o rápido deslocamento do SF para o NEB observado entre os dias 15 e 16/12 (Figuras 4.43d a 4.43h).

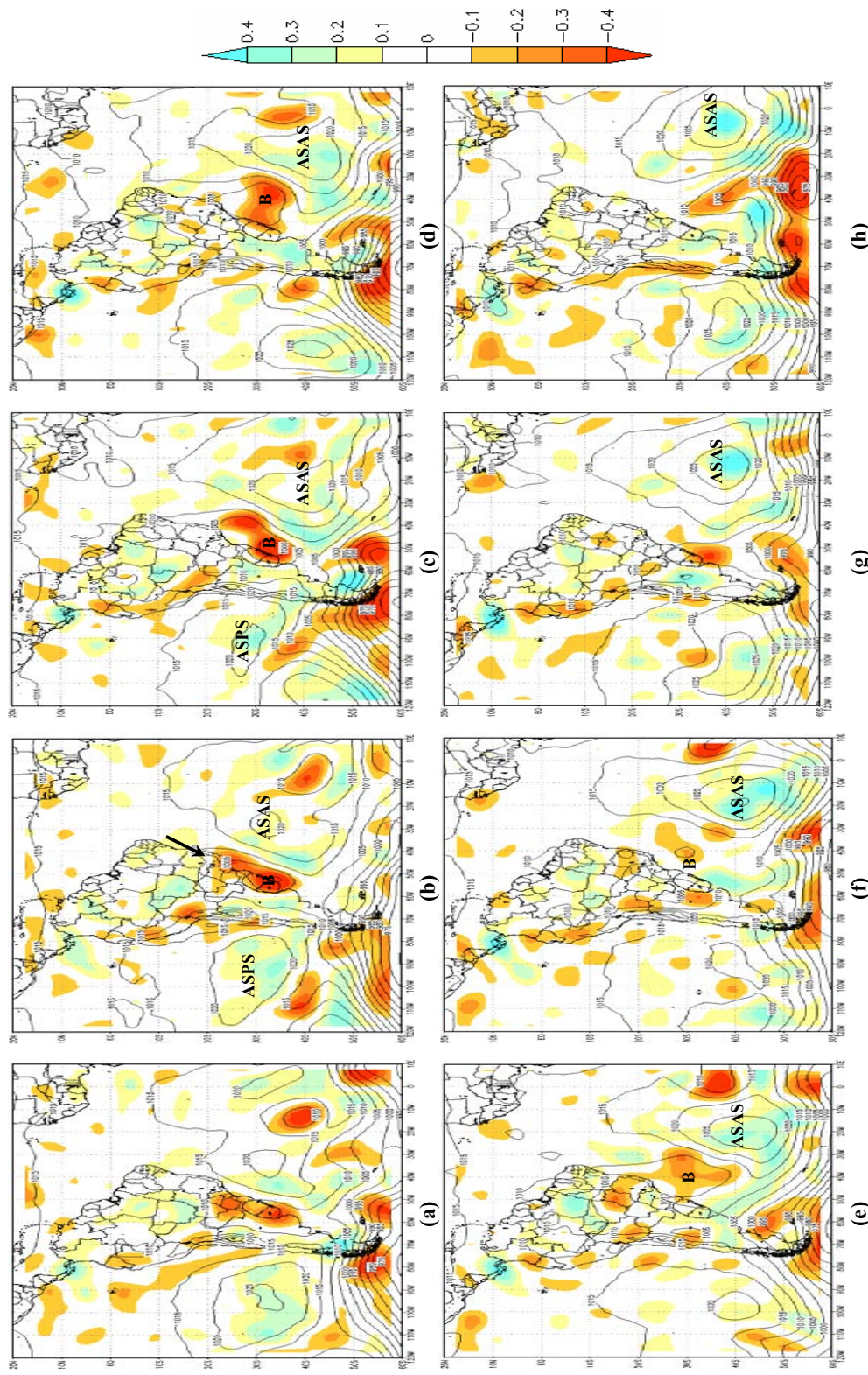
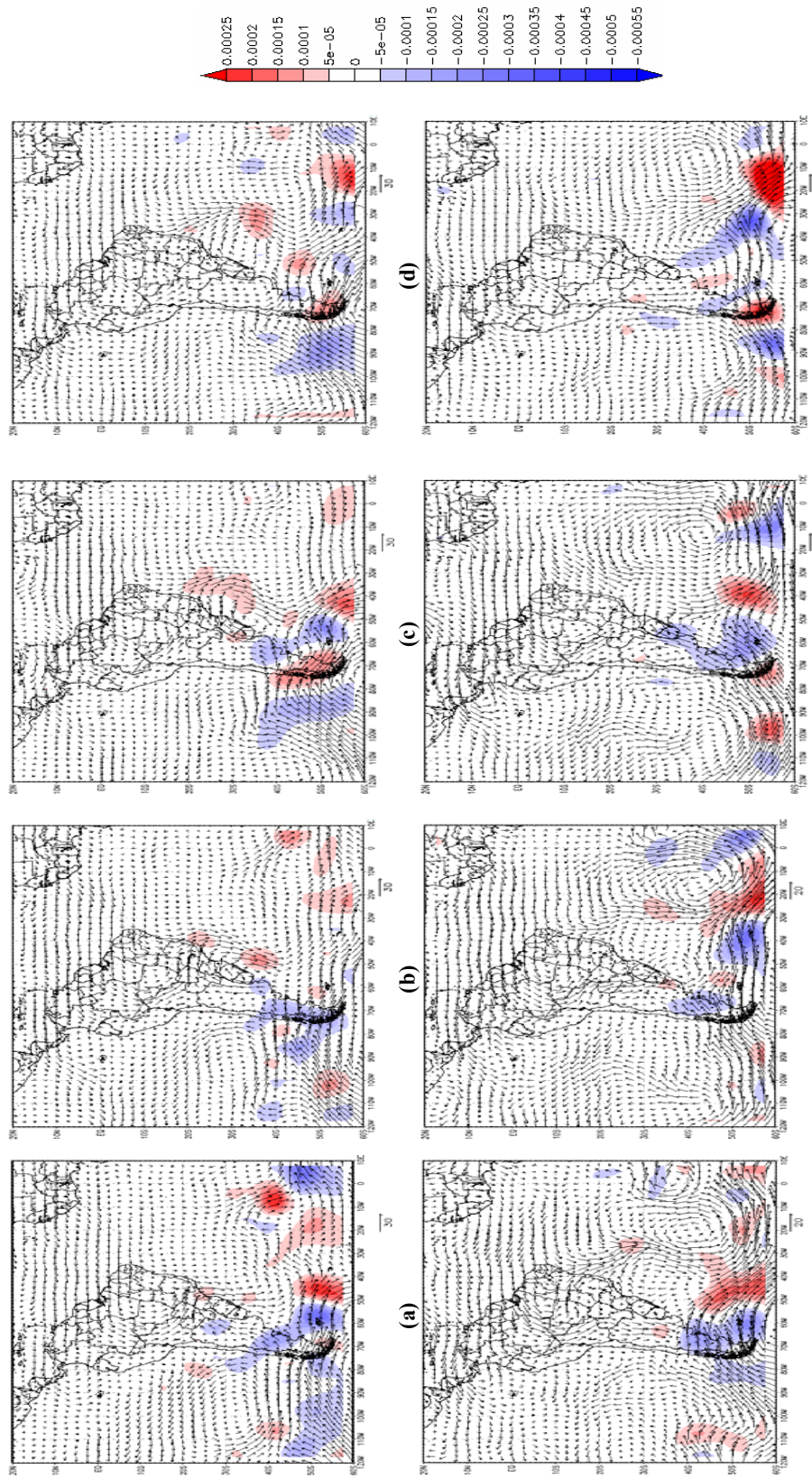


Figura 4.41 – Campos de ζ ($\times 10^{-4} s^{-1}$) no nível de 850 hPa (em cores) e PNM as 1200UTC para os dias: a) 13/12/1999, b) 14/12/1999, c) 15/12/1999, d) 16/12/1999, e) 17/12/1999, f) 18/12/1999, g) 19/12/1999 e h) 20/12/1999.



(e) Campos de Advecção de Temperatura ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$) e Vento em de 850 hPa as 1200UTC para os dias: a) 13/12/1999, b) 14/12/1999, c) 15/12/1999, d) 16/12/1999, e) 17/12/1999, f) 18/12/1999, g) 19/12/1999 e h) 20/12/1999.

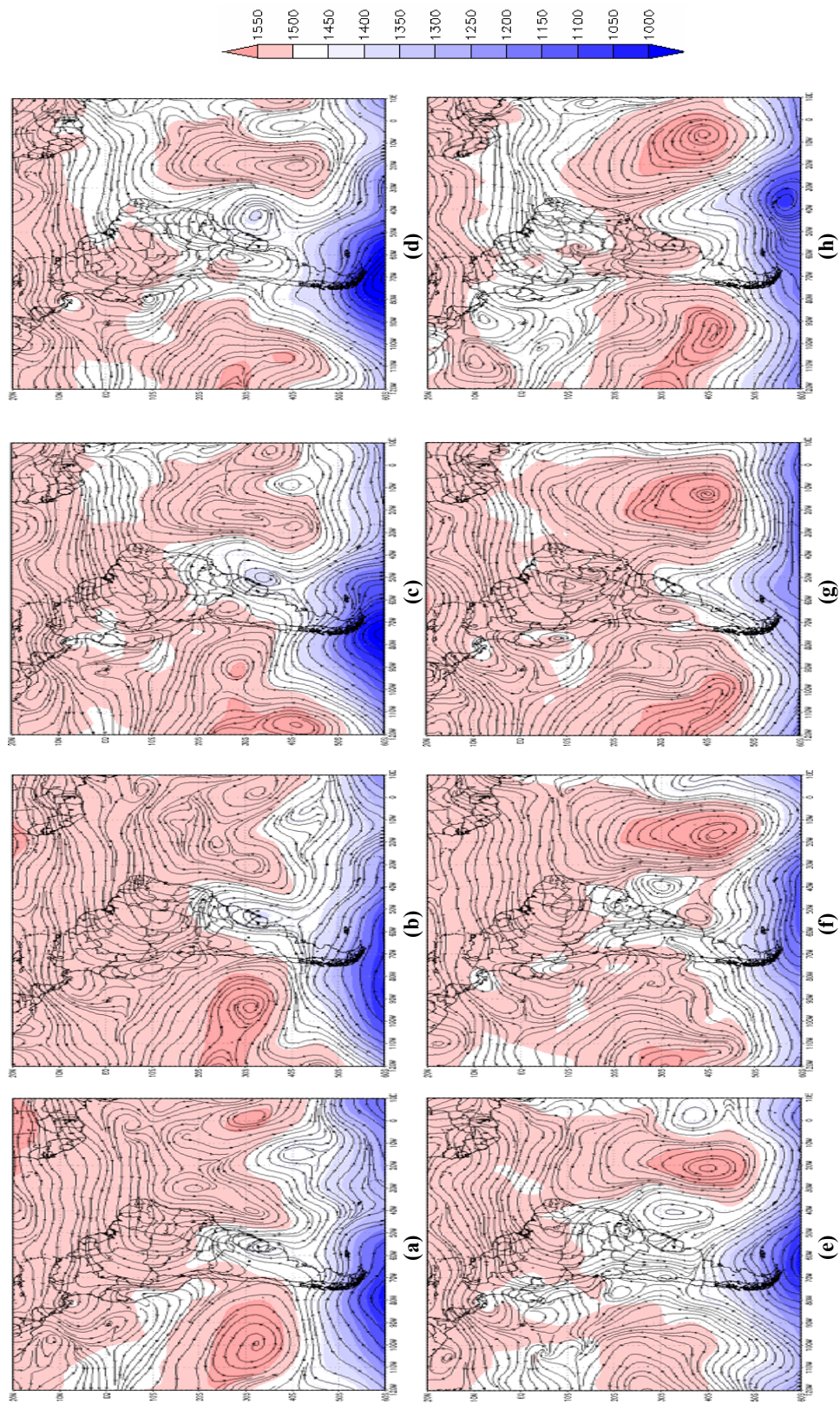


Figura 4.43 – Campos de ζ no nível de 850 hPa (em cores) e PNM as 1200UTC para os dias: a) 13/12/1999, b) 14/12/1999, c) 15/12/1999, d) 16/12/1999, e) 17/12/1999, f) 18/12/1999, g) 19/12/1999 e h) 20/12/1999.

4.2.4.1.2 Escoamento em médios níveis e altos níveis

O padrão sinótico configurado em 500 hPa apresentou características similares aos observados no Evento 4, que consistiu também de um caso de ZCAS deslocada para norte. Em 13/12 o SF esteve associado a um cavado frio presente sobre o sul do Brasil, próximo de 25°S/35°S e 50°W/70°W, configurado também em 200 hPa com intensos valores de ζ negativa da ordem de $-0,6 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ (Figuras 4.44a e 4.45a). Esta região de ζ ciclônica em 200 hPa foi identificada desde o dia 11/12 e se estendeu para o nível de 850 hPa a partir do dia 12/12 (figuras não apresentadas), propiciando ciclogênese em superfície em 14/12 (Figura 4.41b). Características como estas foram ressaltadas por Gan e Rao (1996). Nos dias subsequentes, observou-se que o cavado associado ao SF acentuou-se meridionalmente e se deslocou lentamente para leste (Figuras 4.44b a 4.44h e 4.45b a 4.45h). Em 15/12, notou-se a formação de um vórtice ciclônico em 500 hPa, próximo de 34°S/50°W (Figura 4.44c), que se estendeu desde a superfície até 200 hPa com uma estrutura barotrópica equivalente, associado a intensos valores de velocidade do vento, (superiores 48 ms^{-1}), em 200 hPa, no seu lado norte, na região do JS (Figura 4.45c). Em 200 hPa, a AB apresentou-se configurada em aproximadamente, 15°S/75°W, com valores de ζ anticiclônica variando entre $0,3 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ e $0,4 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ desde o início do evento (13/12) (Figura 4.46a). No dia 16/12, houve a intensificação da crista associada à AB e por conservação de vorticidade absoluta propiciou a intensificação do cavado localizado no OAS, nas proximidades do NEB, contribuindo para a formação do VCAN em 17/12 (Figuras 4.46d e 4.46e) (GAN, 1982). A intensificação da AB pode estar relacionada ao aumento do ζ anticiclônica associado ao cisalhamento do escoamento na região do JS que se apresentou bastante intenso entre os dias 15/12 e 16/12 (CARVALHO, 1989) (Figuras 4.45c e 4.45d). O SF permaneceu semi-estacionário no NEB desde o dia 17/12, favorecido, possivelmente, pela presença do VCAN no OAS (Figuras 4.45e a 4.45h) (FIGUEROA, 1997). A formação do padrão VCAN - SF favoreceu a organização da ZCAS que permaneceu atuante no NEB até o dia 20/12, associada a uma faixa de nebulosidade convectiva orientada de NW-SE (Figuras 4.40e a 4.40i), valores de ζ positiva, em 200 hPa (Figuras 4.46e a 4.46h) e intensos valores de água precipitável, variando entre 45 e 55 mm (figuras não mostradas).

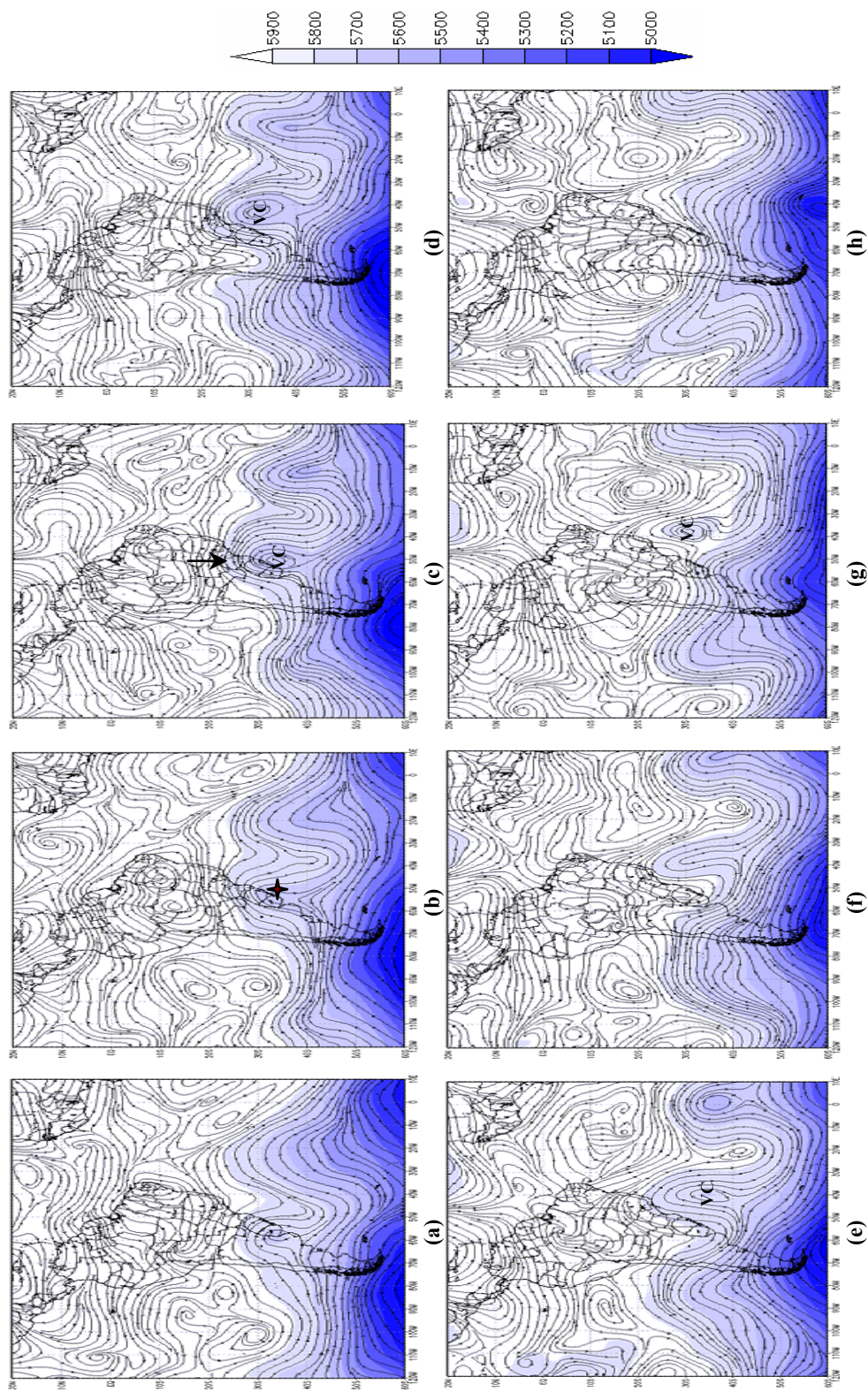


Figura 4.44 – Campos de LC e z em 500 hPa as 1200UTC para os dias: a) 13/12/1999, b) 14/12/1999, c) 15/12/1999, d) 16/12/1999, e) 17/12/1999, f) 18/12/1999, g) 19/12/1999 e h) 20/12/1999.

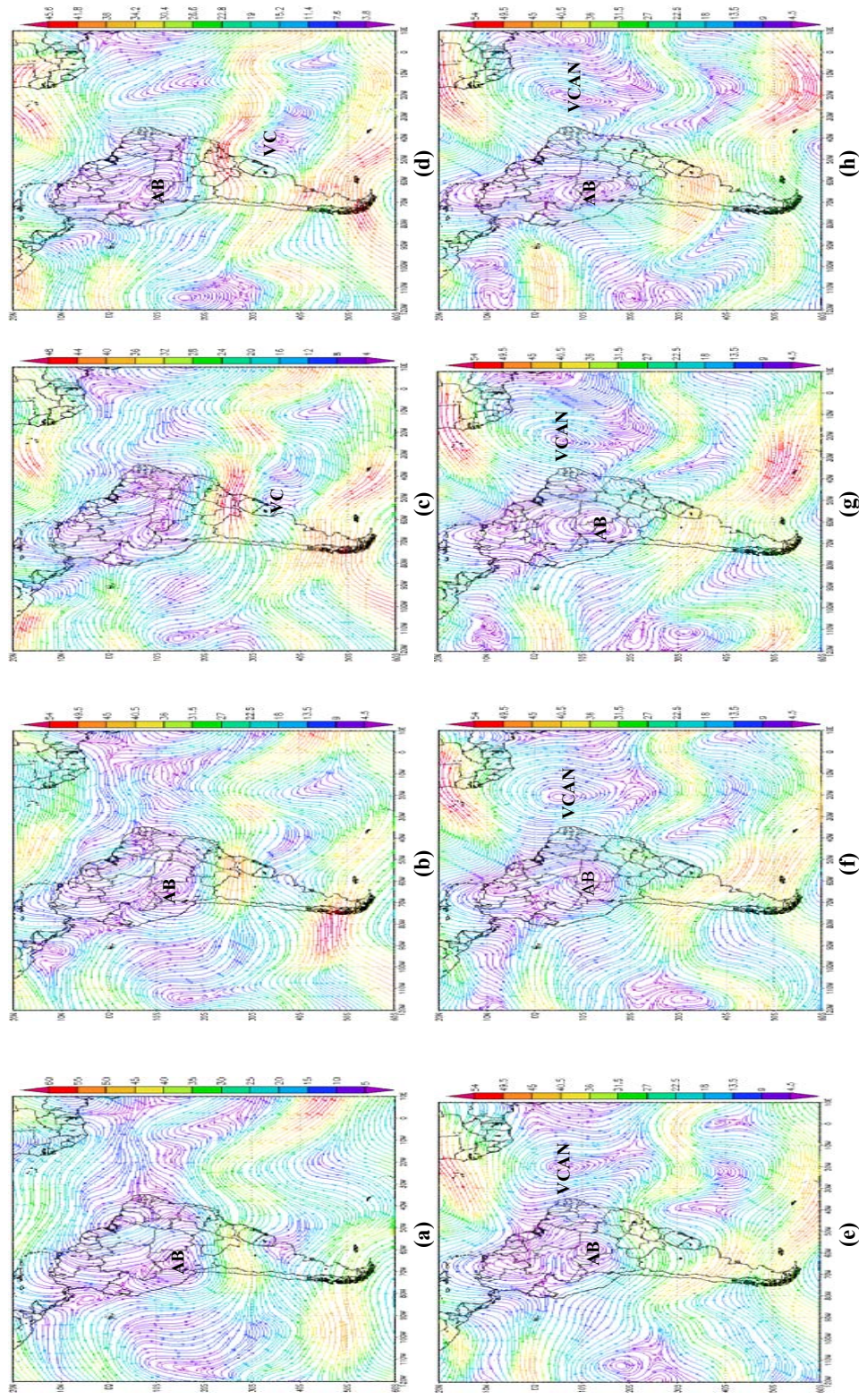


Figura 4.45 – Campos de LC e Magnitude do Vento ($m s^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 13/12/1999, b) 14/12/1999, c) 15/12/1999, d) 16/12/1999, e) 17/12/1999, f) 18/12/1999, g) 19/12/1999 e h) 20/12/1999.

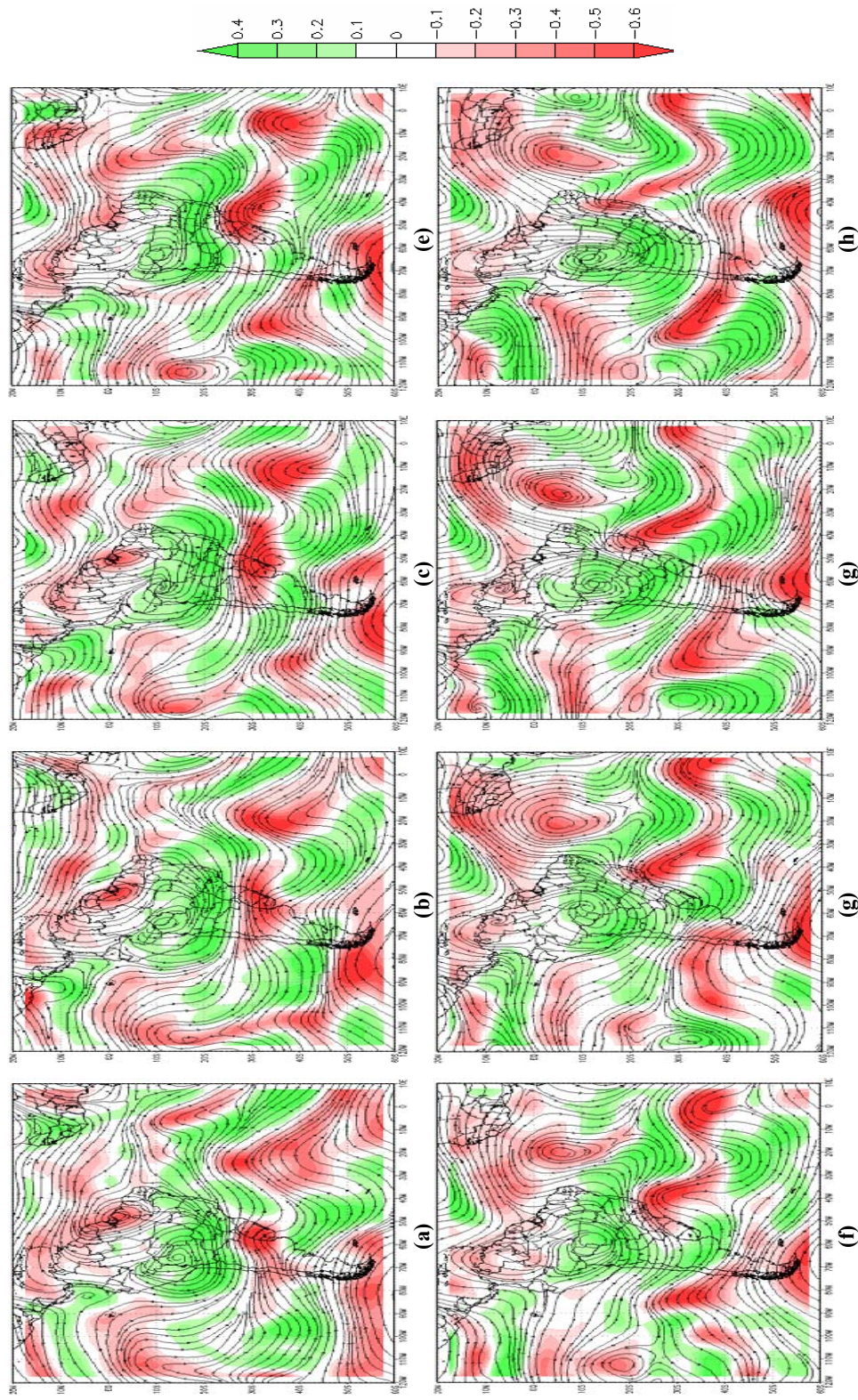


Figura 4.46 – Campos de LC e ζ ($\times 10^4 \text{s}^{-1}$) em 200 hPa as 1200UTC para os dias: a) 13/12/1999, b) 14/12/1999, c) 15/12/1999, d) 16/12/1999, e) 17/12/1999, f) 18/12/1999, g) 19/12/1999 e h) 20/12/1999.

4.2.4.2 Evento 7: Período de 17 a 22/02/2005

A análise da seqüência das imagens de satélite do período de 17 a 22 de fevereiro de 2005 mostra que o SF incursionou no sul da Brasil apresentando nebulosidade pouco definida (Figura 4.47). A sua localização foi mais bem observada nos campos meteorológicos apresentados nas Figuras 4.48 e 4.49. A região de confluência dos ventos no sul de Brasil (Figura 4.49a) e o centro de ζ ciclônica (variando entre $-0,2 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ e $-0,4 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$), localizados no sul do Rio Grande do Sul e no OAS, ao longo de um cavado invertido (Figura 4.48a) configuram a presença do SF. No dia da incursão do SF (17/02) havia também uma banda de nebulosidade convectiva no NEB associada à presença de uma ZCAS em dissipação (Figura 4.47a). O SF interagiu com a ZCAS no dia 20/02, sobre a região do Rio de Janeiro, intensificando-a e promovendo a sua reorganização (Figura 4.47d). Nas regiões das altas subtropicais, observou-se que a ASAS se apresentou inicialmente (17/02) mais intensa (1030 hPa) que a ASPS (1020 hPa) (Figura 4.48a) e nos dias subseqüentes enfraqueceu chegando a valor de 1020 hPa, nos dias 20/02 e 21/02 (Figuras 4.48b a 4.48f). Ao contrário da ASAS que se apresentou praticamente semi-estacionária sobre a faixa de 0° - 20° W/ 30° S- 40° W, a ASPS apresentou deslocamento para leste em 19/02 adentrando o extremo sul da AS (Figura 4.48c) contribuindo em 20/12 para uma anticiclogênese (Figura 4.48d), padrão semelhante aos eventos anteriores. Entretanto, o anticiclone formado não se intensificou, mas acompanhou o deslocamento do SF chegando até a longitude de 40° W em 22/02 (Figura 4.48f). Enquanto que a ASPS apresentou-se configurada próximo à costa oeste da AS no final do evento (Figuras 4.48c a 4.48f).

Em 500 hPa, verificou-se que o evento foi marcado pela presença da AB, inicialmente configurada próximo de 24° S/ 75° W, e um cavado pronunciado a leste dos Andes (Figura 4.51a). Nos dias subseqüentes observou-se que AB se deslocou para leste e apresentou-se mais intensificada no dia 20/02 (Figura 4.51d), favorecida pelo aumento da velocidade do vento na região do JS (superiores a 45ms^{-1}) que produz aumento de ζ anticiclônica em seu lado norte (Figura 4.52d e 4.53d). Por conservação de vorticidade absoluta houve a amplificação do cavado localizado sobre o OAS, que se estendeu até região do NEB (Figura 4.51d). A partir desse dia até o final do evento, notou-se que o

cavado permaneceu semi-estacionário no NEB e a AB deslocou-se para norte atingindo o sul do Mato Grosso no final do evento (22/02) (Figuras 4.51e e 4.51f). Em 200 hPa, notou-se a formação do padrão de circulação VCAN e AB, em 22/02, configurados sobre OAS (18°S/20°W) e norte da Bolívia, respectivamente (Figuras 4.52f). O estabelecimento do padrão, AB - VCAN - ZCAS favoreceu o aumento da convecção contribuindo para chuvas acima da média histórica no NEB e especialmente na Bahia (CLIMANÁLISE, 2005).

Durante os eventos 6 e 7 as características sinóticas observadas foram as seguintes:

- Os SFs apresentaram-se fracos no dia em que incursionaram no sul do Brasil e posteriormente se intensificaram nas proximidades dos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro;
- Valores mais intensos de PNM na região da ASPS do que na ASAS, no dia inicial do evento, e seus deslocamentos para leste ao longo do evento;
- Ventos intensos na região do JBN, nos dias iniciais do evento, que contribuiu para o transporte de calor e umidade favorecendo a intensificação do SF (E6);
- Configuração do padrão AB e VCAN, apenas nos dias finais dos eventos, quando os SFs já estavam atuando no NEB, contribuindo para a sua semi-estacionaridade na região;

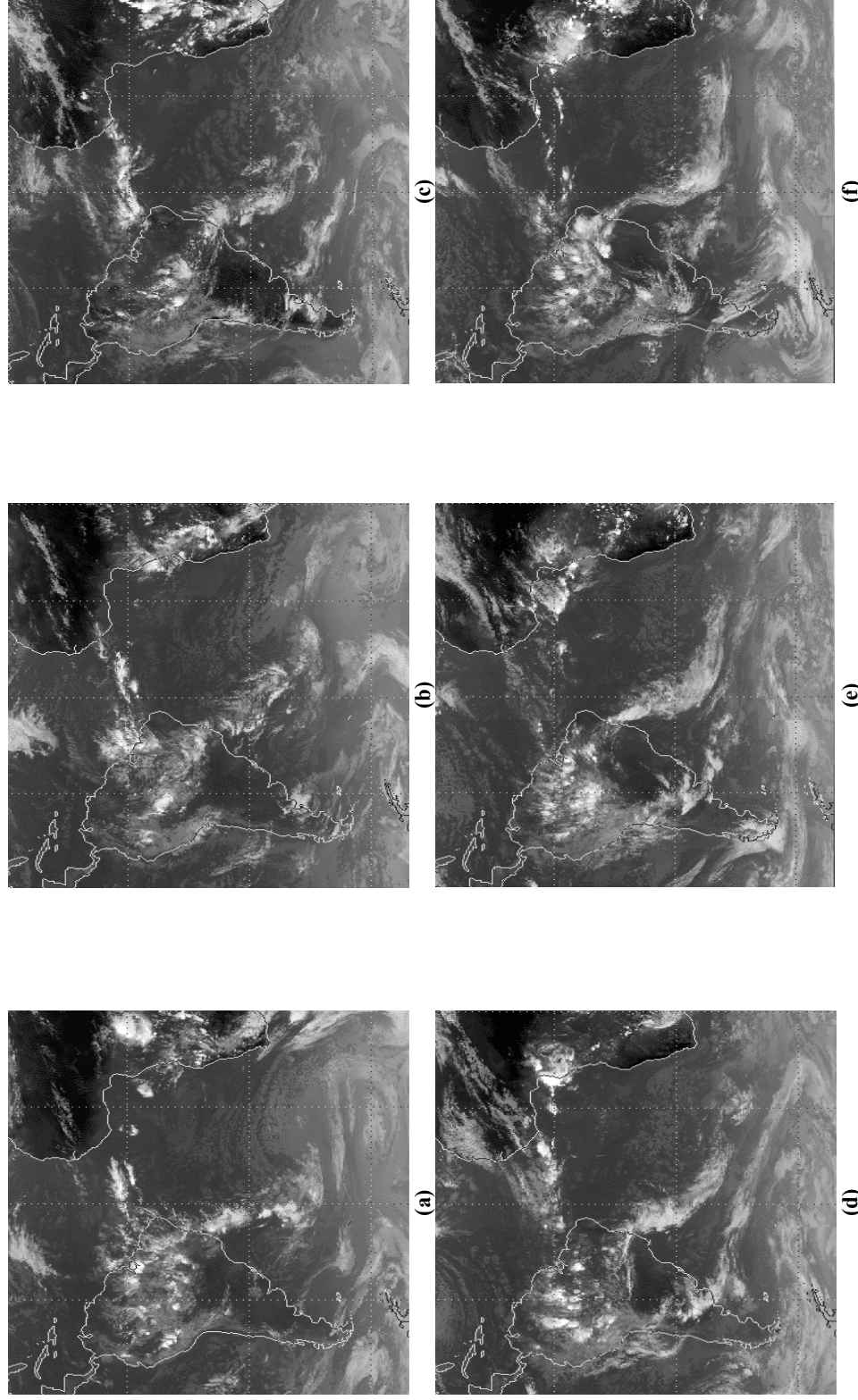


Figura 4.47 - Sequência de imagens do satélite GOES-8, canal infravermelho, as 1200UTC: a) 17/02/2005, b) 18/02/2005, c) 19/02/2005, d) 20/02/2005, e) 21/02/2005 e f) 22/02/2005.

Fonte: <http://satelite.cptec.inpe.br/>.

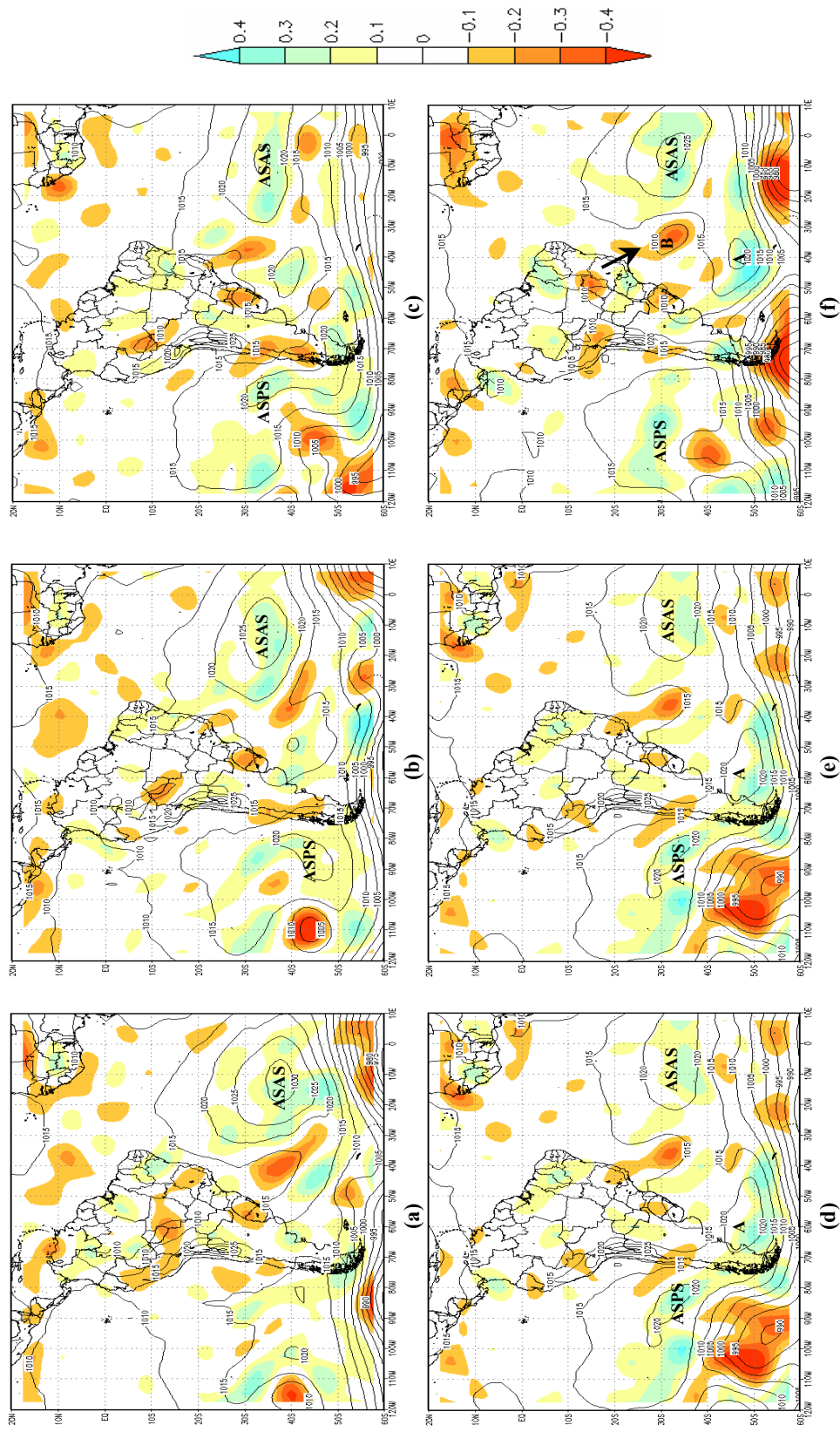


Figura 4.48 – Campos de ζ ($\times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) no nível de 850 hPa (em cores) e PNM para os dias: a) 17/02/2005, b) 18/02/2005, c) 19/02/2005, d) 20/02/2005, e) 21/02/2005 e f) 22/05/2005.

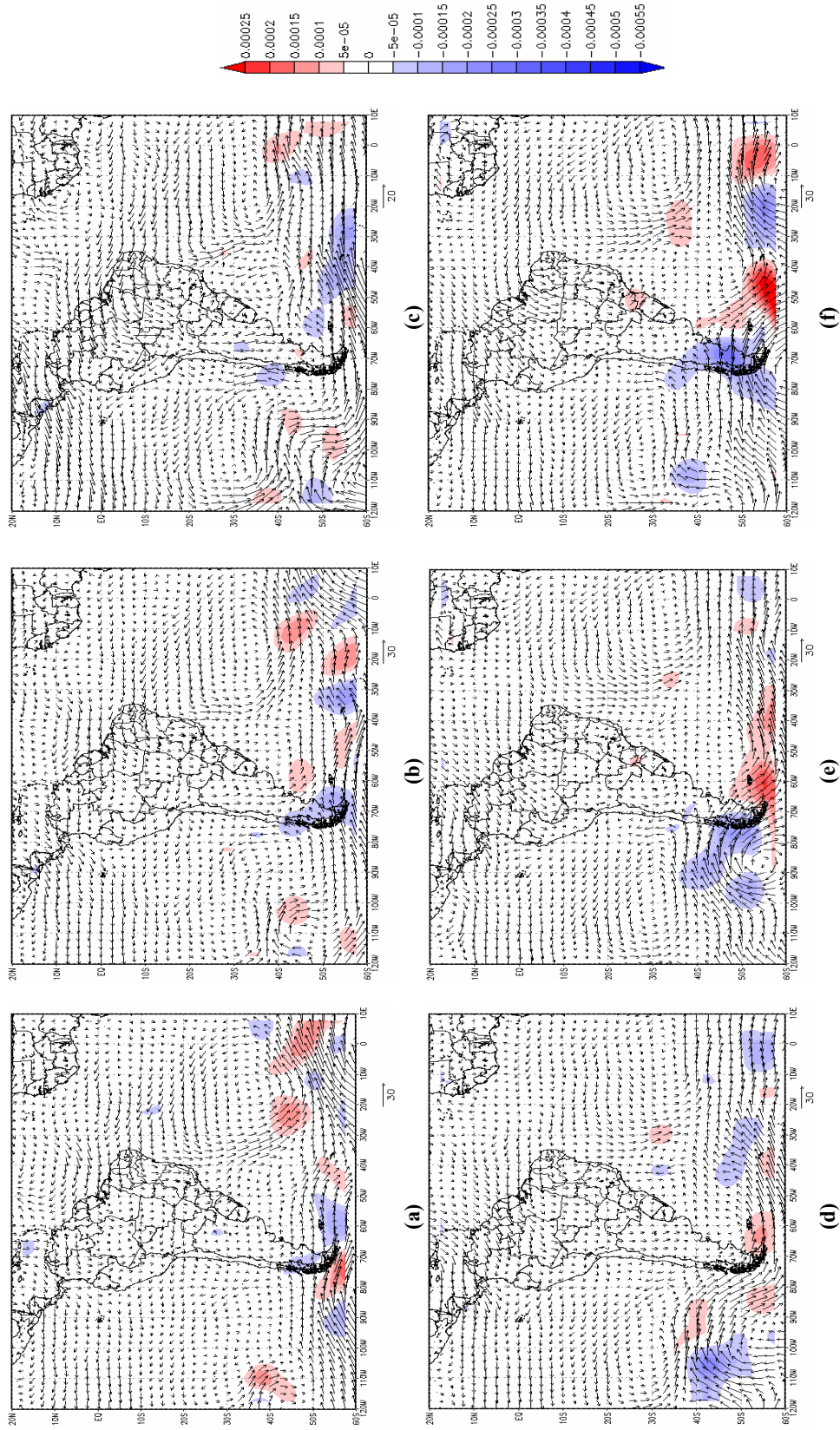


Figura 4.49 – Campos de Advecção de Temperatura ($^{\circ}\text{C s}^{-1}$) e Vento em de 850 hPa para os dias: a) 17/02/2005, b) 18/02/2005, c) 19/02/2005, d) 20/02/2005, e) 21/02/2005 e f) 22/05/2005 (continua).

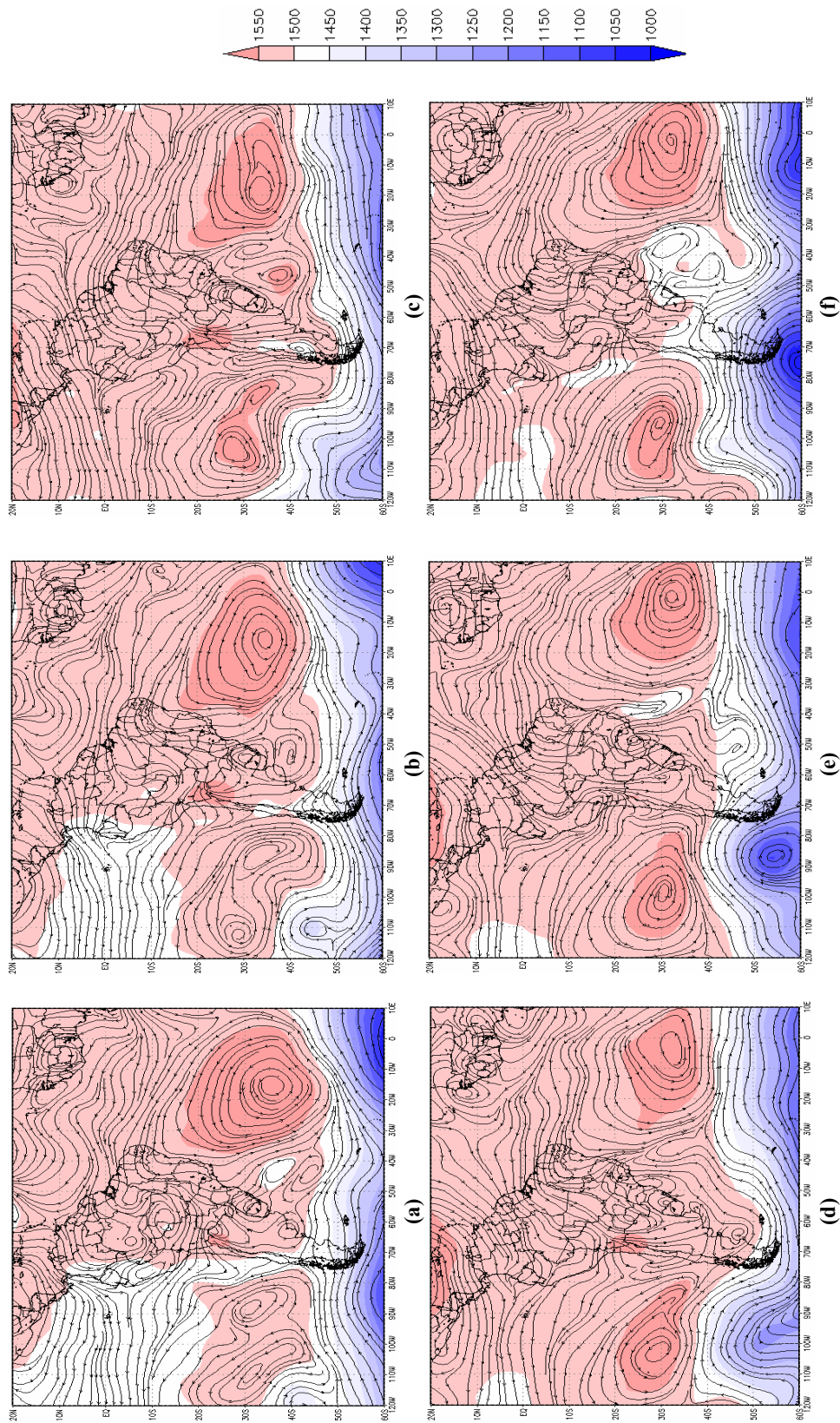


Figura 4.50 – Campos de LC e z em de 850 hPa para os dias: a) 17/02/2005, b) 18/02/2005, c) 19/02/2005, d) 20/02/2005, e) 21/02/2005 e f) 22/02/2005.

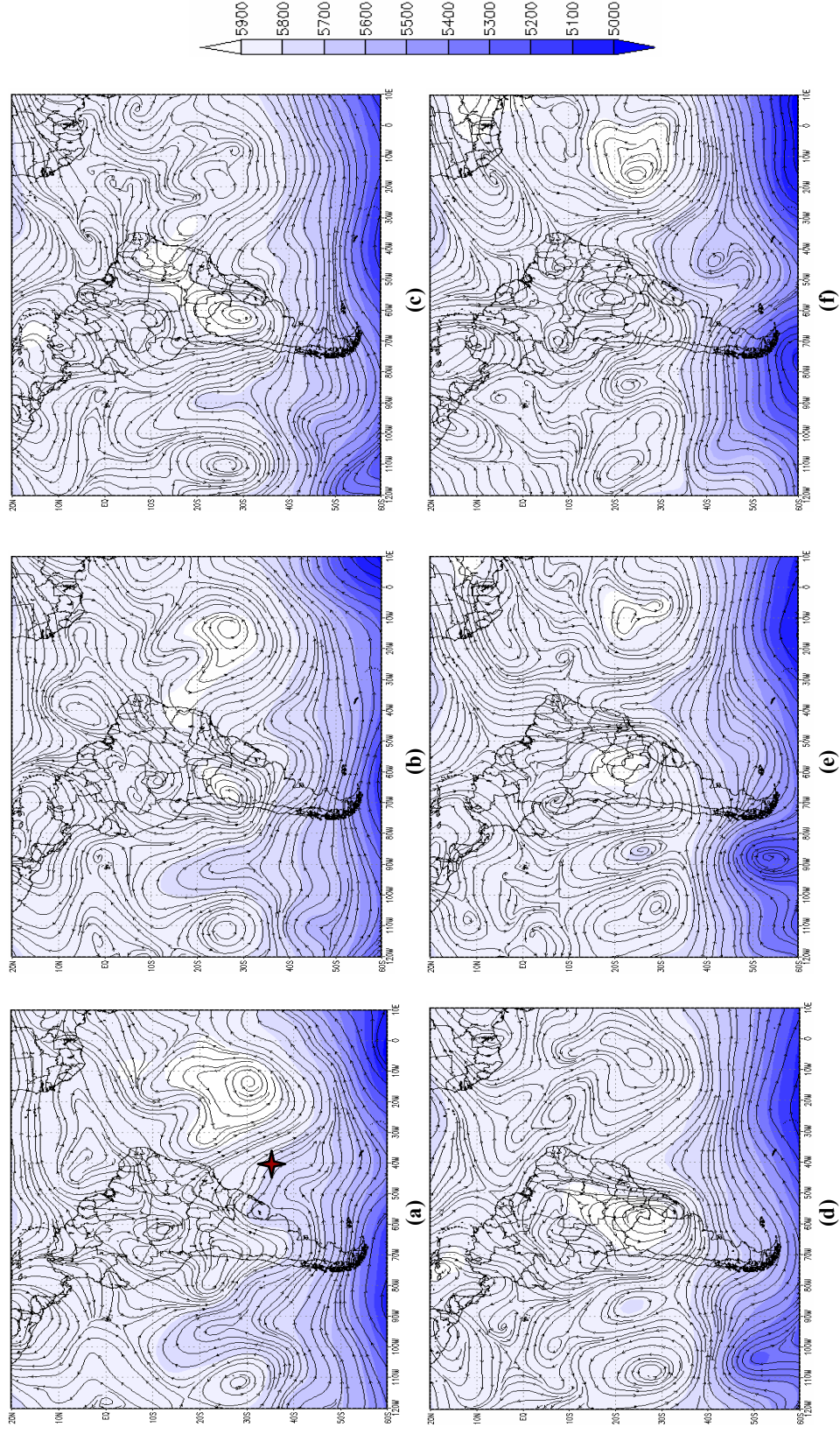


Figura 4.51 – Campos de LC e z em de 850 hPa para os dias: a) 17/02/2005, b) 18/02/2005, c) 19/02/2005, d) 20/02/2005, e) 21/02/2005 e f) 22/05/2005.

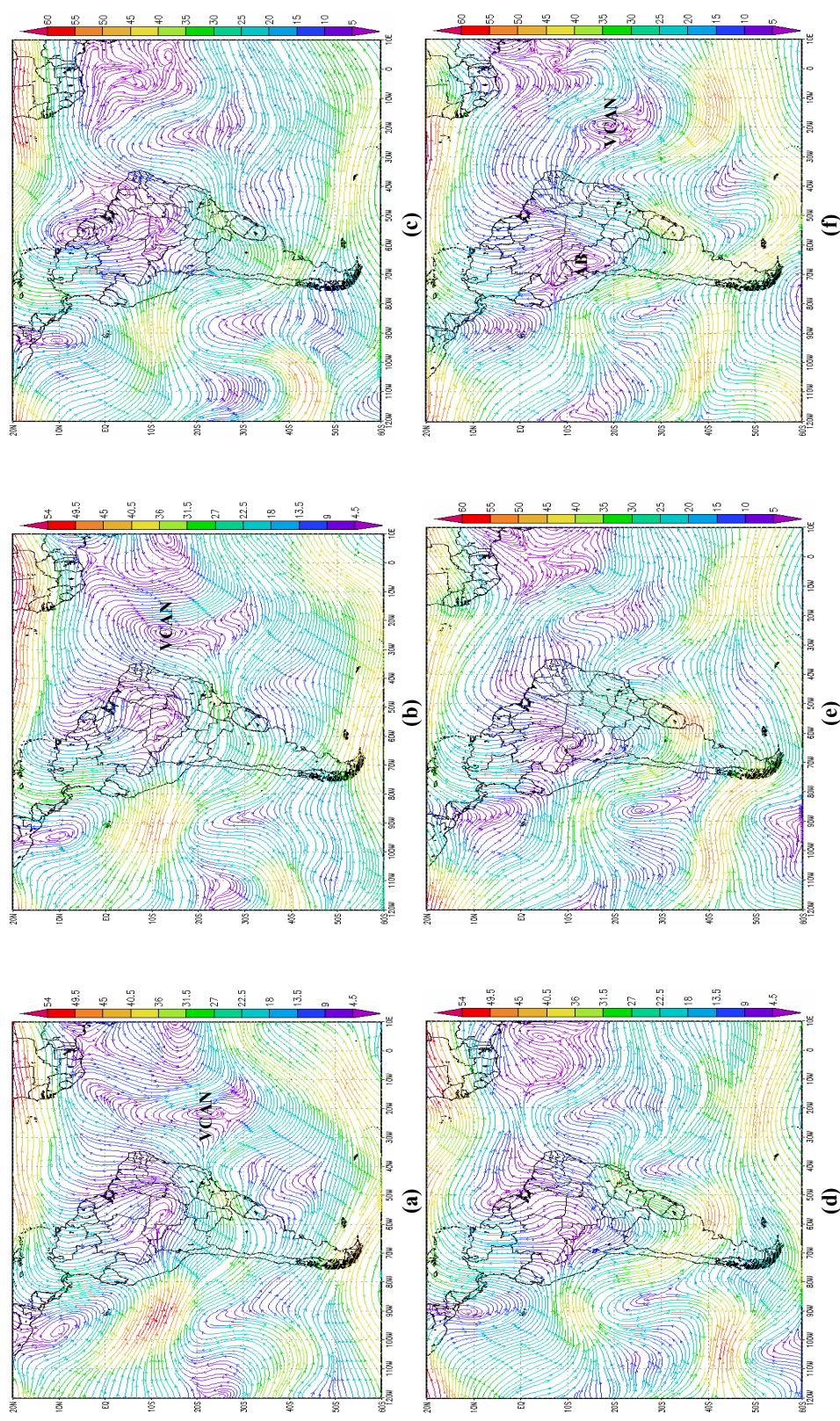


Figura 4.52 – Campos de LC e Magnitude do Vento ($m s^{-1}$) em 200 hPa para os dias: a) 17/02/2005, b) 18/02/2005, c) 19/02/2005, d) 20/02/2005, e) 21/02/2005 e f) 22/05/2005.

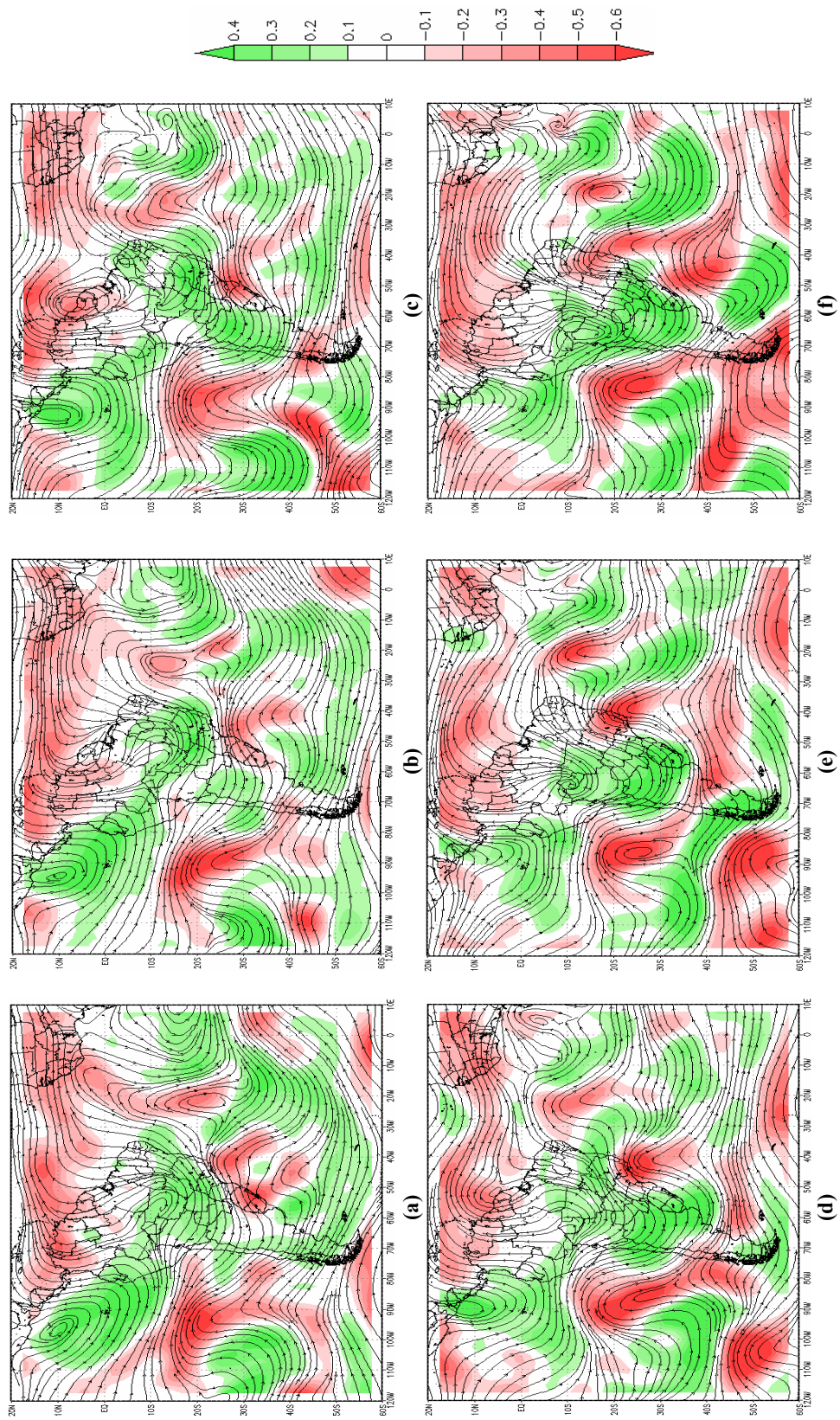


Figura 4.53 – Campos de LC e ζ ($\times 10^{-4} \text{s}^{-1}$) em 200 hPa para os dias: a) 17/02/2005, b) 18/02/2005, c) 19/02/2005, d) 20/02/2005, e) 21/02/2005 e f) 22/02/2005.

4.3 Análise da influência dos Eventos na região de Alcântara

Nesta secção apresentaram-se as características dos parâmetros meteorológicos em superfície associadas à presença dos SFs no NEB, com a finalidade de quantificar essas alterações. Todos os estudos já realizados com esse intuito notificaram essa influência, entretanto até a região de Maceió/AL (9°41'S) (GEMIACKI, 2005). Portanto, todas as modificações ocasionadas nos parâmetros de superfície, com o deslocamento dos SFs para latitudes mais ao norte são relevantes. Além disso, por Alcântara se situar na região equatorial, em aproximadamente 2,45°S.

A Figura 4.54 apresenta até quais latitudes os eventos conseguiram atingir durante seus deslocamentos no NEB, para uma melhor caracterização da influência dos SFs na região de Alcântara. Vale ressaltar, que os eventos foram selecionados baseados por uma nebulosidade expressiva sobre Alcântara, causada possivelmente pela incursão dos SFs em latitudes ao norte de 17°S (latitude da estação de Caravelas/BA), podendo-se assim o SF não ter alcançado exatamente a latitude de Alcântara. O único evento que se observou a caracterização da passagem frontal sobre Alcântara, através da análise da mudança da direção do vento de NE/L (típico da região) para SE, ocorreu durante o evento 3, onde o SF atingiu até a latitude de aproximadamente 6°S (latitude da estação do Ceará Mirim/RN) (Figura 4.54, Tabela 4.2). Durante os eventos 2, 4 e 7 os SFs se deslocaram até 15°S, que corresponde a latitude da estação de Ilhéus/BA, enquanto que no evento 1 o SF se deslocou até a latitude de Aracajú/SE ($\approx 11^\circ\text{S}$). Já nos eventos 5 e 6, os SFs se deslocaram até a região de Maceió/AL ($\approx 10^\circ\text{S}$) (Figura 4.54). É importante enfatizar que, os eventos analisados para as estações de primavera e verão austral (E5, E6 e E7) foram caracterizados pela configuração da ZCAS, quando os SFs já estavam ativos no NEB, o que contribuíram para uma semi-estacionaridade do sistema na região. A variação dos parâmetros de superfície em Alcântara antes, durante e após a passagem dos SFs no NEB, para todos os eventos analisados, estão apresentados na Tabela 4.2.

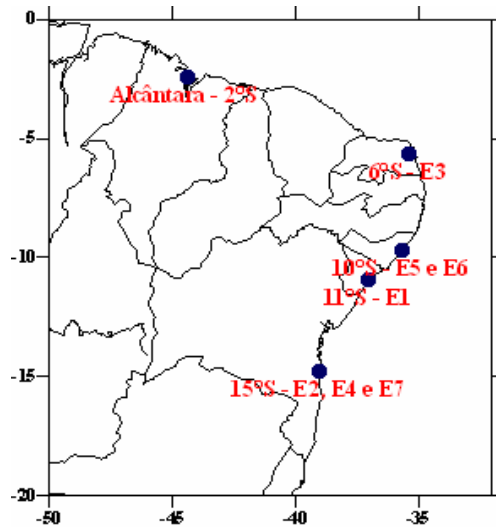


Figura 4.54 – Latitudes em que os eventos analisados atingiram durante seus deslocamentos no NEB e a localização da área de estudo.

Constatou-se na maioria dos eventos que a passagem dos SFs em latitudes ao norte de 17°S influenciam na atmosfera de Alcântara, independentemente da estação do ano, apresentando características similares as já conhecidas, quando da ocorrência de SF no Sul e Sudeste do Brasil (VIANELLO, 1991; FEDOROVA, 1999), exceto quanto a direção do vento que não apresentou variação significativa (Tabela 4.2). Antes da passagem do SF sobre o NEB, observou-se que a pressão atmosférica e a UR apresentaram uma redução de 1hPa e entre 4 a 10%, respectivamente. Enquanto que a temperatura do ar e a velocidade do vento aumentaram de aproximadamente 1°C (e.g.: E1) e de 1 a 3 ms⁻¹, respectivamente. Durante a passagem do SF sobre o NEB as características observadas foram: aumento de 2 a 3hPa na pressão atmosférica e de 2 a 14% na UR, e decréscimo de 1 a 2°C na temperatura do ar e 2 a 3 ms⁻¹ na velocidade do vento. Após a passagem do SF a pressão atmosférica voltou a aumentar em 1 a 1,5hPa, assim como a temperatura do ar (≈1°C) e a velocidade do vento (1 a 3 ms⁻¹), enquanto que a UR caiu de 1 a 5% (Tabela 4.2).

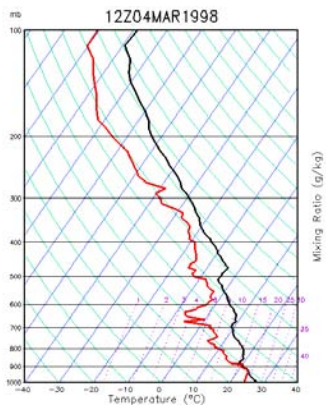
Quanto à precipitação, observou-se que, dos sete eventos analisados, cinco apresentaram registros de totais pluviométricos em Alcântara, durante ou após a passagem do SF, sobre o NEB. Levando-se a crer que, mesmo que os SFs não consigam

se deslocar até a latitude de Alcântara a incursão deles em latitudes ao norte de 17°S influenciam na atividade convectiva da região. No evento 2, ocorrido em maio de 1999 (outono austral), notou-se que em três dias de permanência do SF no NEB choveu em Alcântara aproximadamente 78 mm, que corresponde a 45% da média climatológica do mês (da ordem de 175mm) (GUEDES E OYAMA, 2004). Totais pluviométricos bastante representativos também ocorreram nos eventos 4 e 5. No evento 4, ocorrido em agosto de 2003, mesmo com o deslocamento do SF para o OAS, o sistema organizou atividade convectiva em Alcântara e contribuiu para as chuvas na região de aproximadamente 18 mm dia⁻¹. Vale ressaltar que, o mês de agosto faz parte do período seco na região de Alcântara onde, em média, chove apenas 10 mm. No evento 5, onde o SF incursionou no NEB em novembro de 1999, em apenas um dia de permanência do sistema sobre a região, choveu em Alcântara aproximadamente 26 mm, o que corresponde a mais da metade da média climatológica do mês (≈ 50 mm).

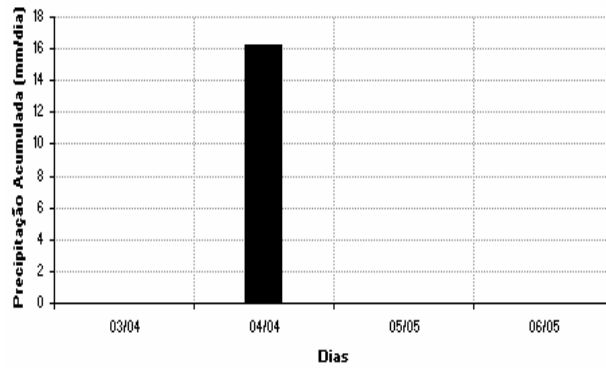
Nas análises dos perfis verticais de temperatura, para os dias em que os SFs ocasionaram chuva em Alcântara, verificou-se que a maior parte deles mostraram-se compatíveis com os totais observados, apresentando uma atmosfera úmida, em baixos níveis, com valores de K entre 30 e 38 e IL entre -4 e -2, o que indicam ocorrência de tempestades (Figura 4.55 a 4.59).

Tabela 4.2 – Parâmetros meteorológicos em superfície para a estação de Alcântara antes, durante e após a passagem dos SFs no NEB.

Estação	Eventos	Pressão (hPa)		T ar (°C)		UR (%)		Vel Vento (ms ⁻¹)		Direção		Precipitação (mm)					
		Antes	Dur.	Após	Antes	Dur.	Após	Antes	Dur.	Após	Antes	Dur.	Após				
Outono	E1	-0,6	-0,9	0	+1,3	0	-4	-3	0	+1,6	-2,5	+3	NE	L	0,7	16,2	0
	E2	-0,6	+1,4	-0,6	+0,2	-1,4	-10	+14	-2	+3	-3	+1	L	NE/N	0	77,8	1,2
	E3	0	+1,4 / -1,9	+0,4	-0,5	-2/ +1,7	0	+5	-1	+0,2	-6/ +4	+2	NE	NE/ SE	0	0	0
Inverno	E4	+1	+0,4	+0,1	+0,1	0	0	+2	+4	0	-0,3	-1	NE	NE	0	0,6	18,2
	E5	-1	+3/ -4	+1	0	-1/ +0,4	-1	+4/ -4	-5	+1	-3/ +3	+0,6	NE	NE	0	25,7	0
Verão	E6	-0,2	-1	+1,5	0	0	+1	0/ -1	+2	-2	+1/ -0,5	-3	NE	NE	0	0	2,5
	E7	-0,4	+1	+1,5	-1	0	+4	-2	+3	-2	-0,4	+1	NE	L/ NE	0,2	9,6	38,6

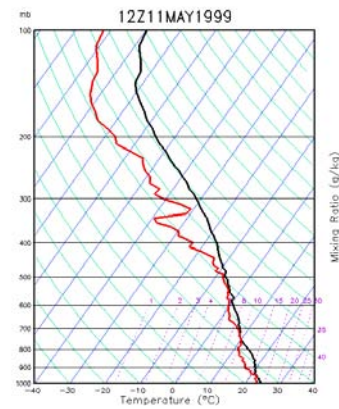
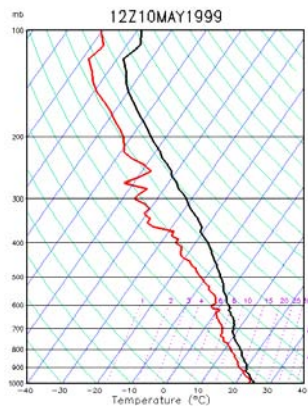
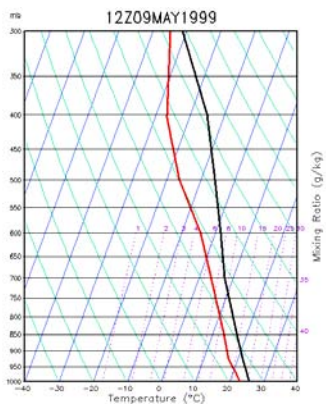


(a)

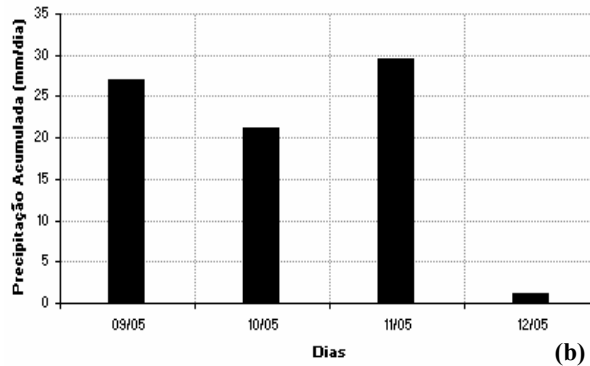
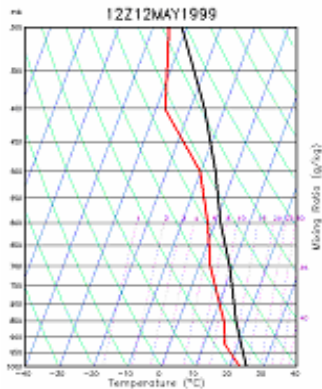


(b)

Figura 4.55 – a) Diagrama Skew-T Log P as 1200UTC, para o dia 04/04/1998 (Evento 1) e b) Precipitação Acumulada (mm dia⁻¹) em Alcântara – MA.

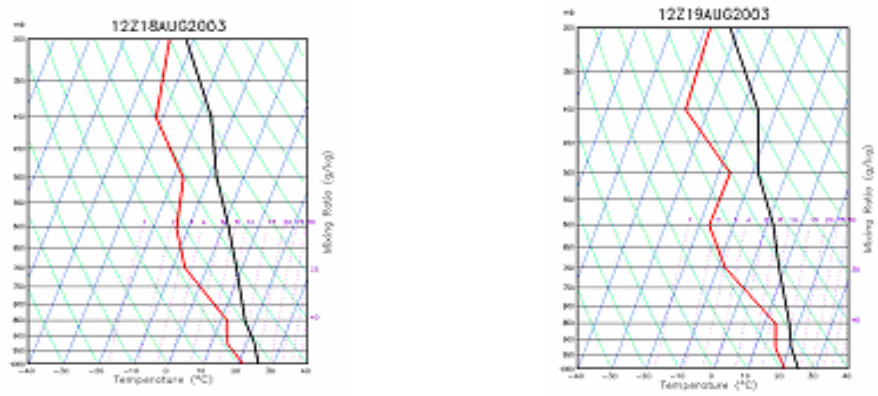


(a)

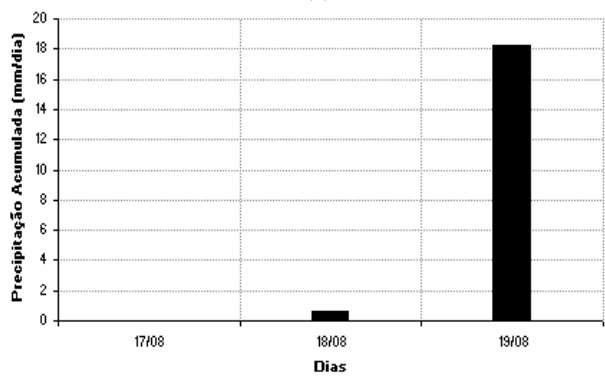


(b)

Figura 4.56 – a) Diagrama Skew-T Log P as 1200UTC, para o período de 09 a 12/05/1999 (Evento 2) e b) Precipitação Acumulada (mm dia⁻¹) em Alcântara – MA.

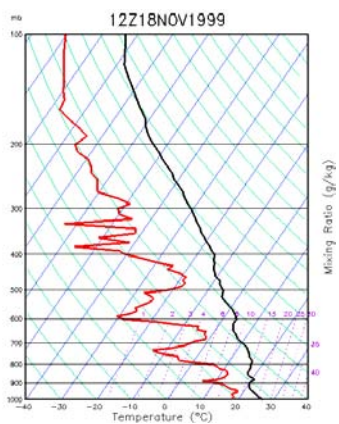


(a)

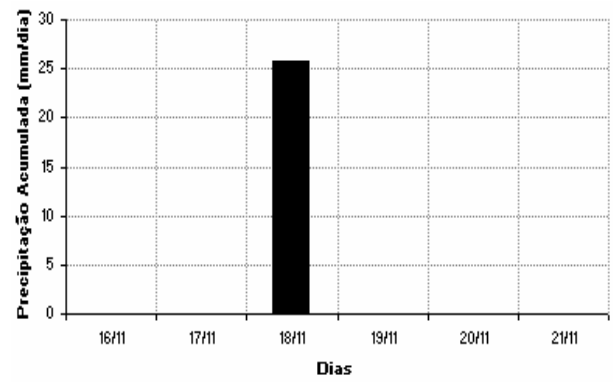


(b)

Figura 4.57 - Diagrama Skew-T Log P as 1200UTC para os dias 18 e 19/08 (Evento 4) e b) Precipitação Acumulada (mm dia^{-1}) em Alcântara – MA.



(a)



(b)

Figura 4.58 - Diagrama Skew-T Log P as 1200UTC para o dia 18/11 (Evento 5) e b) Precipitação Acumulada (mm dia^{-1}) em Alcântara – MA

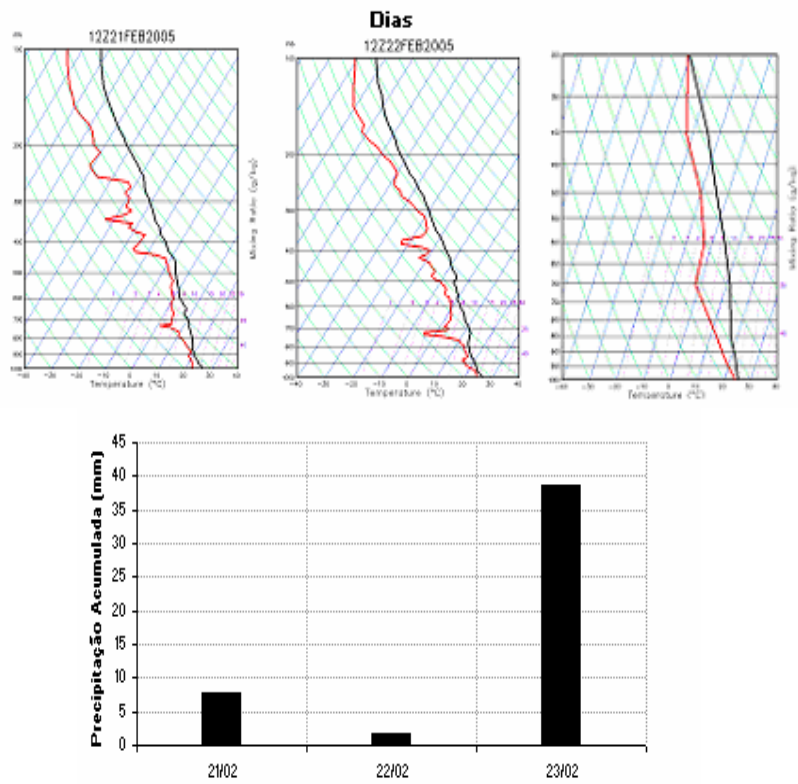


Figura 4.59 – a) Diagrama Skew-T Log P as 1200UTC (21 a 22/02) em Alcântara – MA, para o Eventos 7 e b) Precipitação Acumulada (mm dia⁻¹).

5 CONCLUSÃO

Neste estudo realizou-se uma climatologia (1986 a 2006) dos SFs que incursionaram meridionalmente pela costa leste do NEB e atingiram latitudes ao norte de 17°S (latitude de Caravelas/BA), utilizando-se os dados do Boletim Climanálise. Consideraram-se apenas os SFs que antigiram ao norte de Caravelas/BA por esta estação meteorológica já ter sido considerada estratégica em vários estudos sobre a incursão dos SFs no NEB (KOUSKY, 1979; ANDRADE, 2005, entre outros). Posteriormente, selecionaram-se por meio de imagens de satélite quais dentre estes SFs proporcionaram nebulosidade expressiva na região do CLA durante a sua permanência no NEB. Na escolha dos eventos, levou-se em consideração também a estação do ano, visando dar maior representatividade à análise sinótica. Deste modo, escolheu-se sete eventos para análise sinótica, sendo os seguintes: três eventos do outono austral, um do inverno, um da primavera e dois do verão e corresponderam, respectivamente, aos períodos de: 28 a 04/04/1998 (Evento 1), 05 a 11/05/1999 (Evento 2), 19 a 28/05/2002 (Evento 3), 14 a 18/08/2003 (Evento 4), 13 a 20/11/1999 (Evento 5), 13 a 21/12/1999 (Evento 6) e 17 a 22/02/2005 (Evento 7). Nos Eventos 3 e 6, observou-se que durante a permanência do SF no NEB não ocorreu precipitação em Alcântara, entretanto foram escolhidos por terem apresentado nebulosidade expressiva na imagem de satélite e por atingirem baixas latitudes, como a região do Ceará Mirim (5°S) e Maceió (9°S), respectivamente.

No que concerne a climatologia constatou-se que, em geral, há uma diminuição gradativa de incursão de SFs para latitudes mais ao norte, resultados coerentes com os encontrados por Kousky (1979), Oliveira (1986), Lemos e Calbete (1996) e Andrade (2005). Em relação à variabilidade mensal de incursão de SF no litoral do NEB, o mês de novembro apresentou a maior frequência de SFs nessa região e estão associadas com a CT, como sugerido por Oliveira (1986). Para os 21 anos de dados analisados, verificou-se que de 420 SFs que atingiram o NEB apenas um deles conseguiu se deslocar até a latitude do Ceará Mirim, um evento ocorrido em 2002 (Evento 3). As maiores frequências de incursões de SFs ocorreram nas latitudes de Ilhéus e Salvador, as quais corresponderam a 46% e 31%, respectivamente. Notou-se uma variabilidade

interanual das incursões frontais no NEB regidas possivelmente pelos fenômenos El Niño e La Niña. Os anos que apresentaram maiores frequências de incursões frontais, foram os anos de 2000 (47 SFs) e 1999 (43 SFs), caracterizados pela configuração do fenômeno La Niña. Já os anos de 1986 (4 SFs), 1992 (8 SFs) e 1994 (7 SFs) que apresentaram as menores quantidades de incursões frontais no NEB, foram caracterizados pelo El Niño.

No estudo sinótico do deslocamento dos SFs, verificou-se em praticamente todos os eventos, que houve a ocorrência de ciclogênese à superfície, geralmente na costa leste do Rio Grande do Sul. Esse processo foi precedido por uma massa de nuvens com curvatura anticiclônica, sobre o norte da Argentina, associada a uma região de advecção quente em seu lado norte, que propiciou após um período de 24 h a 48 h, a formação de um ciclone. Esta região de advecção quente foi favorecida por um escoamento de norte na região de saída do JBN, que se apresentou intenso ($\approx 30 \text{ ms}^{-1}$) nos dias iniciais, transportando ar quente e úmido da região Amazônica, resultados coerentes com os de Seluchi (1995), Piva (2005) e Mendes (2006). Além de ter sido observado um escoamento frio de sul propiciado pela ASPS, a retaguarda do SF, que juntamente com o escoamento quente de norte (JBN), criaram condições favoráveis para frontogênese, contribuindo assim para o avanço dos SFs. Em alguns eventos foram observados mais de um processo frontogenético ao longo de seu período de ocorrência, favorecido pelos seguintes processos: interação da banda frontal com ciclone oriundo do extratropicos (evento do outono austral); oclusão instantânea de uma frente fria secundária com o SF (evento do outono austral); e a interação do SF com outro SF (já enfraquecido) presente sobre o Sudeste do Brasil, este último observado nos eventos de primavera e verão austral (eventos 5, 6 e 7). Vale ressaltar que, assim como observado para o evento do outono austral, o processo de oclusão instantânea de uma frente fria secundária com o SF foi considerado por Gemiacki (2005) como fator favorável ao deslocamento de um SF até a região de Alagoas em novembro de 2003. Podendo-se assim os eventos de SFs que se deslocam até o NEB, nas estações de outono e primavera austral, que são as estações preferenciais para a formação das frentes frias secundárias (BONATTI E RAO, 1987), estarem associados a este processo.

Outra peculiaridade observada em baixos níveis foi em relação a ASAS e ASPs. Verificou-se que a ASAS, ao longo dos eventos enfraqueceu apresentando-se menos intensa que a ASPs, resultado coerente com os encontrados por Andrade (2005). Durante o período de ocorrência dos eventos, a ASPs apresentou um deslocamento para leste e adentrou o continente próximo de 40°S favorecendo anticiclogênese sobre a região devido a efeitos dinâmicos da Cordilheira dos Andes, especialmente nesta faixa de latitude. O anticiclone, formado geralmente na parte norte/central da Argentina, se intensificou e deslocou-se para leste, atingindo até aproximadamente a faixa de longitude entre 15°W-30°W, contribuindo assim para o avanço dos SFs, consistente com Monteiro (1969), Leroux (1987), Seluchi (1998), Ito (1999), Andrade (2005).

Nos níveis de 500 hPa e 200 hPa, em todos os eventos os SFs estiveram associados a um cavado frio, o qual se amplificou e se estendeu desde as latitudes médias ($\approx 55^\circ\text{S}$) até o NEB, em alguns eventos até o norte dessa região, com uma inclinação meridional bem acentuada. Devido a meridionalidade do cavado frontal e a presença do núcleo de velocidade máximas (*jet streak*) associado ao JS ao norte deste, houve o favorecimento para a formação de vórtice ciclônico de médios níveis (que posteriormente se estendeu até altos níveis), que em alguns eventos já estava associada a uma baixa fria em superfície, o qual cresceu baroclinicamente (transformação da energia potencial do estado básico em energia cinética da perturbação), contribuindo para o avanço dos SFs, e decaiu barotropicamente.

Em relação ao JS notou-se que a sua intensidade é importante no deslocamento do SF para latitudes mais ao norte, apresentando-se intenso nos dias iniciais do evento e posteriormente enfraquecendo, o que contribui para o avanço dos SFs como exposto por Andrade (2005), voltando a se fortalecer apenas sobre o OAS. Nos eventos selecionados para o verão e primavera austral, onde as incursões frontais estiveram associadas com a formação da ZCAS, observou-se a formação dos VCANs (que atuam nas proximidades do NEB), apenas nos dias finais dos eventos, quando os SFs já estavam atuantes no NEB, enquanto que a AB esteve presente, em geral, ao longo do período de ocorrência dos eventos. Com a formação do padrão AB e VCAN, os SFs permaneceram semi-estacionários no NEB, contribuindo para a formação da ZCAS, a qual esteve associada

a valores de ζ positiva, em 200 hPa e intensos valores de água precipitável. Observou-se também que quando estes eventos incursionaram no sul do Brasil apresentaram intensidade fraca e posteriormente se intensificaram nas proximidades dos estados de Minas Gerais/MG e Rio de Janeiro/RJ, pela interação com restos de outro SF presente sobre a região. Nos eventos do outono austral, observou-se que AB deslocou-se para oeste e posteriormente enfraqueceu, favorecido possivelmente pelo avanço do cavado frontal que produz advecção de vortacidade sobre a região e faz com que diminuísse a vortacidade no lado leste da AB, contribuindo assim para o seu deslocamento para oeste (OLIVEIRA, 1986).

Resumindo, as principais características sinóticas identificadas em todas as estações do ano e que favoreceram o avanço dos SFs até latitudes ao norte do NEB foram as seguintes:

- Ciclogênese geralmente próximo à costa leste das regiões Sul (Rio Grande do Sul e Santa Catarina) e Sudeste do Brasil (Espírito Santo), contribuindo para frontogênese;
- Formação e intensificação de um anticlone sobre o continente sul-americano, geralmente sobre a parte norte/central da Argentina, ocorrido em todos os eventos;
- Amplificação do cavado frontal em médios e altos níveis
- Valores intensos na região do JBN, apenas nos dias iniciais dos eventos;
- Valores intensos na região do JS, sobre o continente, apenas nos dias iniciais ou apresentando-se fraco durante todo o evento.

Outras características sinóticas observadas especialmente para algumas estações do ano foram:

- Nas estações de primavera e verão austral: Intensificação da banda frontal sobre a região Sudeste do Brasil favorecida pela interação desses SFs com outro SF enfraquecido presente na região; e formação dos VCANs apenas nos dias finais dos eventos, quando os SFs já estavam ativos no NEB
- Na estação do outono austral: Processo de oclusão instantânea de uma frente fria secundária com a frente principal; Interação da banda frontal com ciclones

oriundos dos extratropicais; e deslocamento da AB para oeste e subsequentemente seu enfraquecimento.

Analisando a influência dos SFs na região do CLA, procurou-se identificar as mudanças nos parâmetros meteorológicos ocorridos na maioria dos Eventos, sendo assim concluiu-se que a passagem dos SFs no NEB influenciou na atmosfera de Alcântara, independentemente da estação do ano, apresentando características similares as já conhecidas, quando da ocorrência de SF no Sul e Sudeste do Brasil, excetuando a direção do vento que não apresentou variação com a presença dos SFs em baixas latitudes. As características apresentadas antes da passagem frontal sobre o NEB foram: redução da pressão atmosférica (≈ 1 hPa) e da UR (4 a 10%) e aumento da temperatura do ar e da velocidade do vento ($1,5$ a 3 ms^{-1}). Durante a passagem observou-se que, aumenta a pressão atmosférica (≈ 1 a 2 hPa) e UR (2 a 14%) enquanto que a velocidade do vento diminui (2 a 3 ms^{-1}). Vale ressaltar que, em alguns eventos os SFs só conseguiram se deslocar até a latitude de 14°S , mas mesmo assim influenciaram na atmosfera do CLA inclusive nos totais pluviométricos da região. De acordo com estas informações pode-se inferir que para os SFs que ultrapassarem a latitude 17°S , independentemente da estação do ano, ocasionarão mudanças nos parâmetros meteorológicos da região de Alcântara.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar uma análise espectral das incursões frontais no NEB, em latitudes ao norte de 17°S , para saber se existe um ciclo de máximas incursões num período em torno de 6 a 8 anos e;
- Realizar um estudo mais detalhado do padrão sinótico que se configura no mês de novembro e propiciam o aumento da frequência de incursões frontais no NEB.
- Estudar mais eventos de SFs que se deslocam até latitudes mais ao norte, em cada estação do ano para caracterizar melhor as condições sinóticas típicas durante a atuação desses eventos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Catálogo CLA**. Disponível em: <<http://www.aeb.gov.br/conteudo.php?ida=27&idc=6>>. Acesso em: 11 mai. 2006.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). **Catálogo Foguetes e Lançadores**. Disponível em: <<http://www.aeb.gov.br/conteudo.php?ida=12&idc=60&id=3>>. Acesso em: 23 jan. 2007.

ALVES, M. A. S.; OYAMA, M. D. Climatologia da cobertura de nuvens em Alcântara utilizando dados D2 ISCCP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza, Ceará. **Anais...** Fortaleza: CD-ROM.

ANDRADE, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2005-04-04. 185 p. (INPE-14056-TDI/1067). Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2005/06.15.17.12>>.

ARAGÃO, M. R. D., CORREIA, M. F. Uma investigação sobre a influência de sistemas frontais em Petrolina/PE: o ano de 1985. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7., Belo Horizonte, MG. **Anais...**, Belo Horizonte: 1994, v. 2, p. 586-589.

BLUESTEIN, H. B. **Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes**. Oxford University Press, Oxford. 594p., 1993.

BONATTI, J. P.; VADLAMUDI, B. R. Moist baroclinic instability in the development of North Pacific and South American intermediate-scale disturbance. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 44, n. 18, p. 2657-2667, Sept. 1987. (INPE-3971-PRE/984).

CALBETE, N. O.; GAN, M. A.; SATYAMURTY, P. Vórtices ciclônicos da alta troposfera que atuam sobre a região Nordeste do Brasil. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. on line, n. Especial 10 anos, 1996. (INPE-12800-PRE/8090). Disponível em: <<http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/dock.html>>.

CARVALHO, A. M. G. **Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul**. fev. 1989. 121 p. (INPE-4923-TDL/383). Dissertação (Mestrado em Meteorologia)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1989. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.18.13.44>>.

CAVALCANTI, I. F. A. Episódios El Niño/oscilação sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influencias sobre o Brasil. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. on line, n. Especial 10 anos, 1996. (INPE-11879-PRE/7226).Disponível em: < <http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/nino.html>>.

CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA (CLA). **Catálogo CLA - História**. Disponível em: < <http://www.cla.aer.mil.br/>>. Acesso em: 11 mai. 2006.

CLIMANÁLISE. **Catálogo Boletim Climanalise de Novembro de 1999**. Disponível em:< <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1199/index.html>>. 1999

CLIMANÁLISE. **Catálogo Boletim Climanalise de Maio de 2002**. Disponível em < <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/0502/index.html>>. 2002.

CLIMANÁLISE. **Catálogo Boletim Climanalise de Fevereiro de 2005**. Disponível em:< <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/0205/index.html>>. 2005.

COHEN, J. C. P. **Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia**. fev. 1989. 174 p. (INPE-4865-TDL/376). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1989. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.18.17.31>>.

COÊLHO, M.; GAN, M. A.; de S CONFORTE, J.C. Estudo da variabilidade da posição e da nebulosidade associada à ZCIT do Atlântico, durante a estação chuvosa de 1998 e 1999 no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 23-34. 2004.

COUTINHO, E. C. **Estudo das características atmosféricas na região do Centro de Lançamento de Foguetes de Alcântara (CLA)**. 1999-07. 141 p. (INPE-8149-TDI/754). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1999. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/2001/08.03.12.31>>.

COUTINHO, E. C.; FISCH, G. Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) na região do Centro de Lançamento de Foguetes de Alcântara In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13., 2004, Fortaleza, Ceará. **Anais...** Fortaleza: CD-ROM.

CRUZ, G. S. **Manutenção zonal da corrente de jato sobre a América do Sul**. 1998-04-07. 100 p. (INPE-9656-TDI/849). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1998. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/05.05.13.22>>.

PIVA, E. D. **Cavados em médios níveis no hemisfério sul**: climatologia, energética e ciclogênese em superfície. 2005-04-05. 237 p. (INPE-14087-TDI/1070). Tese de Doutorado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1913/2005/04.28.11.42>>.

DA SILVA, E. M., SILVA, V. L. C., DA SILVA, F. W. F. Análise das condições de instabilidade atmosférica associadas à ocorrência de um sistema convectivo de mesoescala sobre a região metropolitana de Fortaleza – Ceará. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 26, n. 1, p 91-98, 2005.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FAPESP). **Catálogo da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo**. Disponível em:< <http://www.agencia.fapesp.br/materia/7472/noticias/foguete-brasileiro-e-lancado-com-sucesso.htm> >. Acesso em 18 jul. 2007.

FEDOROVA, N. **Meteorologia sinótica**. Pelotas: Ed. Universidade Federal de Pelotas, v. 1, 1999.

FEDOROVA, N., BAKST, L. Evolução e velocidade da nebulosidade dos ciclones através de dados de satélites meteorológicos. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.14, n.1, p. 67-85, 1999.

FEDOROVA, N., CARVALHO, M. H. Processos sinóticos em anos de La Niña e de El Niño. Parte II: Zonas Frontais. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 15, n.2. p. 57-72, 2000.

FEDOROVA, N., LEVIT, V., CARVALHO, M. H. Eventos de precipitação na cidade de Pelotas - RS associados a processos e sistemas sinóticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.2, 134-159, 2007.

FIGUEROA, S. N. **Estudo dos sistemas de circulação de verão sobre a América do Sul e suas simulações com modelos numéricos**. 1997-08. 181 p. (INPE-7121-TDI/672). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 1997. Disponível em: < <http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/06.15.09.40>>.

FISCH, G. Características do perfil vertical do vento no Centro de Lançamento de Foguetes de Alcântara (CLA). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.14, n.1, p. 11-21, 1999.

FOGACCIA, C. V. C., FILHO, A. J. P. Turbulência e cisalhamento do vento na área do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11., 2000, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...**Rio de Janeiro: CD-ROM.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). **Catálogo da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos**. Disponível em:< <http://www.funceme.br/demet/> >. Acesso em: 29 jan. 2007.

GALWAY, J. G. The lifted index as a predictor of latent instability. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.43, p528-529, 1956.

GAN, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil**. 1982-10-05. 80 p. (INPE-2685-TDL/126). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1982. Disponível em: < <http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2005/06.21.17.31>>.

GAN, M. A.; RAO, V. B. Case studies of cyclogenesis over South America. **Meteorology Applied**. v. 3, p. 359-368, 1996.

GANDÚ, G. V. M. W. Análise de Distúrbios Ondulatórios de Leste que afetam o nordeste brasileiro: Um estudo de caso. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9., 1996, Campos do Jordão, SP. **Anais...** Campos do Jordão: 1996, v. 1, p. 450-454.

GEMIACKI, L. **Atuação de Sistemas Frontais na Estação Seca do Nordeste do Brasil**. 121p. 2005. (MET-UFAL-MS-035). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2005.

GEORGE, J. J. Weather Forecasting for Aeronautics. **Academic Press**, 673p., 1960.

GUEDES, R. L; OYAMA, M. D. Aspectos observacionais das oscilações intra-sazonais de intensidade do vento em Alcântara usando ondeletas: análise preliminar. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13., 2004, Fortaleza, Ceará. **Anais...** Fortaleza: CD-ROM.

HALL, B.A. Westward-moving disturbances in the South Atlantic coinciding with heavy rainfall events at Ascension Island. **Meteorol. Mag.**, v.118, p.175-181, 1989.

INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO (IAE). **Catálogo Atividades/Espaço**. Disponível em: < http://www.iae.cta.br/historico_esp.htm >. Acesso em: 11 mai. 2006.

INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO (IAE). **Catálogo Pesquisa e Desenvolvimento/Espacial/Foguetes de Sondagens**. Disponível em: < http://www.iae.cta.br/FoguetesdeSondagem/foguetesdesondagem_situacaoatual.htm >. Acesso em: 23 jan. 2007.

ITO, E. R. K. **Um estudo climatológico do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e sua possível influência em Sistemas Frontais**. (IAG-ACA). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, USP, São Paulo. 1999.

JUSTI, M. G. A. da S.; SILVA DIAS, M. A. F. A frequência de fenômenos meteorológicos na América do Sul: Uma climatologia. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12., 2002, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...**Foz do Iguaçu: CD-ROM.

KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D., GANDIN, L., IREDELL, M., SAHA, S., WHITE, G., WOOLLEN, J., ZHU, Y., CHELLIAH, M., EBISUZAKI, W., HIGGINS, W., JANOWIAK, J., MO, K. C., ROPELEWSKI, C., WANG, J., LEETMAA, A., REYNOLDS, R., JENNE, R., JOSEPH, D. The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 77, 437-471. 1996.

KISTLER, R., KALNAY, E., COLLINS, W., SAHA, S., WHITE, G., WOOLLEN, J., CHELLIAH, M., EBISUZAKI, W., KANAMITSU, M., KOUSKY, V., VAN DRN DOOL, H., JENNE, R., FIORINO, M. The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentacion. **Bulletin of the American Meteorology Society**, 82, 247-268. 2001.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107:, p. 1140-1153, 1979. (INPE-1269-PE/137).

KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.110, n.4, p.488-498, 1980.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, n. 6, p. 538-551, Nov. 1981. (INPE-1946-RPE/263). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1905/2005/07.27.04.48.38>>.

KOUSKY, V. E.; CAVALCANTI, I. F. A. Eventos oscilação do sul - El Niño: características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, v. 36, n. 11, p. 1888-1899, 1984. (INPE-2976-PRE/438).

LEMOS, C. F.; CALBETE, N. O. Sistemas frontais que atuaram no litoral de 1987 a 1995. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. on line, n. Especial 10 anos, 1996. (INPE-12801-PRE/8091). Disponível em: < <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/14.html>>.

LICHTENSTEIN, E. Some influences of Andes Cordillera on the synoptic scale circulation. In: International Conference On Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 3., 1989, Buenos Aires, Argentina, **Proceedings...**Buenos Aires: 1989, p.146-148.

LOBO, P. R. V. **Um estudo climatológico da zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua influencia sobre o nordeste do Brasil**. fevereiro 1982. 93 p. (INPE-2534-TDL/101). Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1982. Disponível em: < <http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2005/06.28.17.24>>.

LOUREIRO, R. S. DE. **Análise de uma linha instabilidade costeira na região leste do Pará**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas (RS). 2005.

LOUREIRO, R. S.; GOMES, R. G.; ROCHA, E. J. P. Análise de uma linha de instabilidade costeira na região leste do estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, 258-270, 2006.

LOURENÇO, M. C. M.; FERREIRA, N. J.; GAN, M. A. Vórtices ciclônicos em altos níveis de origem subtropical. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. on line, n. Especial 10 anos, 1996. (INPE-12791-PRE/8081). Disponível em: < <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/vociclo.html>>.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. Episódios de jatos de baixos níveis ao Leste dos Andes durante 13-19 de abril de 1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., , Foz do Iguaçu. **Anais...** 2002. v. 1, p. 892-902. CD-ROM. (INPE-9442-PRE/5098). Disponível em: < <http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1915/2005/04.13.13.54>>.

MARQUES, R. F. C. **Bloqueio atmosférico no Hemisfério Sul**. out. 1996. 179 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 1996.

MARQUES, R. de F. C. Influência de sistemas meteorológicos no regime de vento no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza, Ceará. **Anais...** Fortaleza: CD-ROM.

MARQUES, R. de F. C; FISCH, G. F. As atividades de meteorologia aeroespacial no Centro Técnico Aeroespacial (CTA). **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 21-25, Nov 2005.

MENDES, D. **Regimes de circulação no Atlântico Sul e sua relação com a localização e intensidade de sistemas activos e com o balanço de vapor na região**. Tese (Doutorado em física) – Departamento de Física, Universidade de Lisboa, Lisboa. 2006.

MENDES, M. C. D., TRIGO, R. M., CAVALCANTI, I. F. A., DACAMARA, C. C. bloqueios atmosféricos de 1960 a 2000 sobre o Oceano Pacífico Sul: Impactos climáticos e mecanismos físicos associados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, 175-190, 2005.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10. 2002.

MOTA, G. V. **Estudo observacional de Distúrbios Ondulatórios de Leste no Nordeste Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Departamento de Ciências Atmosféricas IAG, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1997.

MOURA, A.D., SHUKLA, J., 1981: On the dynamics of droughts in the northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model, **Journal Atmospheric Science**, v. 38, p 2653-2675.

NASCIMENTO, E. de L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: Uma estratégia operacional adotável no Brasil?. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 120, n. 1, p. 121-140. 2005.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção na Amazônia**. 1986-04. 134 p. (INPE-4008-TDL/239). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1986. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.22.13.12>>.

PALMÉRIO, A. F. **Introdução à Engenharia de Foguetes**. Relatório Técnico IAE - CTA, Agosto, 2002.

PEREIRA, E. I. Comportamento dos elementos climáticos de superfície de Alcântara. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...**Rio de Janeiro: CD-ROM.

PEREIRA, E. I., MIRANDA, I de, FISCH, G. F., MACHADO, L. A. T., ALVES, M. A. S. Atlas climatológico do Centro de Lançamento de Alcântara-MA In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...**Foz do Iguaçu: CD-ROM.

PEZZI, L. P.; ROSA, M. B.; BATISTA, N. N. M. A corrente de jato subtropical na América do Sul. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. on line, n. Especial 10 anos, 1996. (INPE-11877-PRE/7224). Disponível em: <<http://tucupi.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/jatclim.html>>

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1993-11. 124 p. (INPE-6341-TDI/593). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1993. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.26.14.10>>.

QUADRO, M. F. L.; MACHADO, L. H. R.; CALBETE, S.; BATISTA, N. N. M.; OLIVEIRA, G. S. Climatologia de precipitação e temperatura no período de 1986 a 1996. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. on line, n. Edicao comemorativa 10 anos 1996. (INPE-10717-PRE/6178). Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/chuesp.html>>.

RAMIREZ, M. C. V. **Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no nordeste do Brasil**. dez. 1996. 132 p. (INPE-6408-TDI/618). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1996. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/09.15.19.39>>.

RATISBONA, L. R. The Climate of Brazil. **World Survey of Climatology**, W. Climates of Central and South America. Amsterdam: Elsevier, v. 12, cap.5, p. 219-294. 1976.

RIEHL, H. **Waves in the easterlies and polar front in the tropics**. Chicago: Chicago University, Department of Meteorology, 1945. 79p.

ROBALLO, S. T. **Estudo do escoamento atmosférico no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) através de medidas de torre anemométrica e em túnel de vento**. 2007-04-02. 137 p. (INPE-14824-TDI/1264). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/06.12.18.07>>.

PRAKKI, S.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. Tropics - South America. In: KAROLY, David J.; VINCENT, Dayton G. (Ed.). **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Boston: American Meteorological Society, 1998. v. 27, p. 119-139. (INPE-11750-PRE/7109).

SELUCHI, M. E. Diagnóstico y pronóstico de situaciones sinópticas conducentes a ciclogénesis sobre el este de Sudamérica. **Geofísica Internacional**, v. 34, n. 02, p. 171-186, 1995. (INPE-14691-PRE/9664). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/01.10.13.16>>.

SELUCHI, M. E.; SERAFINI, Y. V.; TREUT, H. L. The Impact of the Andes on Transient Atmospheric Systems: A Comparison between Observations and GCM Results. **Monthly Weather Review**, v. 126, n. 4, p. 895-912, apr. 1998. (INPE-11382-PRE/6819). Disponível em: <<http://urlib.net/cptec.inpe.br/walmeida/2004/08.17.09.10>>.

SIQUEIRA, J. R. **Variabilidade interdiurna da convecção na América do Sul: a propagação meridional da convecção**. 2003-12-15. 199 p. (INPE-11275-TDI/950). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2004/02.18.14.16>>.

STRETEN, N. A.; TROUP, A. J. A synoptic climatology of satellite observed cloud vortices over the Southern Hemisphere. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. v. 99, p. 56-72, 1973.

UVO, C. R. B. **A zona de convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região norte do nordeste Brasileiro.** ago. 1989. 99 p. (INPE-4887-TDL/378). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Jose dos Campos. 1989.

VIANELLO, R. L. **Meteorología Básica e Aplicações.** Viçosa, UFV, Impr. Univ., 449p., 1991.

WIEDENMANN, J.M., LUPO, A.R., MOKHOV, I, TIKHONOVA, E.A. The climatology of blocking anticyclones for the Northern and Southern Hemisphere block intensity as a diagnostic. **J. Climate**, 15, 3459-3473, 2002.

YAMAZAKI, Y. **Estudos teóricos e sinóticos dos distúrbios tropicais.** fev. 1975. 56 p. (INPE-624-LAFE). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1975. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1913/2005/04.19.17.13>>.

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.