



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-14492-TDI/1173

ESTAGNAÇÃO DE MASSA DE AR QUENTE E SECO SOBRE A REGIÃO CENTRAL DO BRASIL

Carina Klug Padilha

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada
pelo Dr. Prakki Satyamurty, aprovada em 6 de junho de 2005.

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.18.14.09>>

INPE
São José dos Campos
2008

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

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 e 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-14492-TDI/1173

ESTAGNAÇÃO DE MASSA DE AR QUENTE E SECO SOBRE A REGIÃO CENTRAL DO BRASIL

Carina Klug Padilha

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada
pelo Dr. Prakki Satyamurty, aprovada em 6 de junho de 2005.

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.18.14.09>>

INPE
São José dos Campos
2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P134e Padilha, Carina Klug.

Estagnação de massa de ar quente e seco sobre a Região Central do Brasil/ Carina Klug Padilha. – São José dos Campos: INPE, 2008.

139p. ; (INPE-14492-TDI/1173)

1. Estagnação de massas de ar quente e seco. 2. Região Central (Brasil). 3. El Niño. 4. Balanço termodinâmico. 5. Precipitação. I. Título.

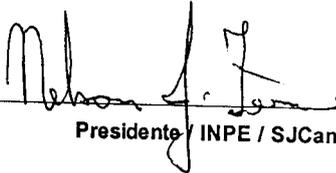
CDU (551.511.33)

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.

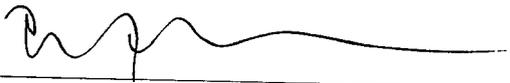
Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Mestre em
Meteorologia

Dr. Nelson Jesus Ferreira



Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Prakki Satyamurty



Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Marcos Daisuke Oyama



Membro da Banca / IAE/CTA / SJC Campos - SP

Dra. Leila Maria Vespoli de Carvalho



Convidado(a) / IAG/USP / São Paulo - SP

Aluno (a): Carina Klug Padilha

São José dos Campos, 06 de junho de 2005

“Porque o Senhor é quem dá sabedoria; de sua boca vem a inteligência e o conhecimento.” Provérbios 2.6

A minha mãe e meus irmãos (in memoriam),

*ELY KLUG PADILHA E
BRUNO E CÍNTIA KLUG PADILHA.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força e sustentação em todos os momentos da minha vida. E, em especial, por Ele permitir que eu estivesse em São José dos Campos nestes dois últimos anos.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e ao Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) pela oportunidade de estudo e pela utilização de suas instalações.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio no desenvolvimento do projeto.

A Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, pelas imagens de satélite cedidas.

Ao Dr. Prakki Satyamurty, pela valiosa orientação, durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia pelo aprendizado.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Meteorologia do INPE que contribuíram para o desenvolvimento da dissertação.

Ao meu noivo Ricardo pelo apoio, amor, carinho e presença em todo o desenvolvimento da dissertação de mestrado.

Aos meus amigos que, mesmo distantes, oram por mim e torcem pelo meu sucesso.

Ao meu pai Sidnei Padilha e minhas tias Anna e Regina, que me estimularam a realizar este mestrado.

RESUMO

Nas Regiões Sudeste, sul da Região Centro-Oeste e norte da Região Sul do Brasil ocorre, nos meses de abril a setembro, Estagnações de Massas de Ar Quente e Seco (EMAQS), as quais são caracterizadas por anomalias positivas de temperatura do ar e negativas de precipitação, persistentes por vários dias. Esta situação causa um aumento na poluição do ar e no risco de incêndios sobre a região de atuação do evento. Estudos específicos sobre este tema são importantes, uma vez que pouca pesquisa tem sido produzida para entender as características e os mecanismos de manutenção desta situação. Durante a EMAQS, as frentes frias vindas da Argentina são impedidas de alcançar a Região Sudeste do Brasil, permanecendo sobre o sul da Região Sul do país. Um evento de EMAQS possui três fases distintas: fase de formação, quando a temperatura do ar aumenta, fase de manutenção, quando não ocorre mudança significativa da temperatura do ar e fase de dissipação, quando a temperatura do ar diminui, chegando a valores próprios para o mês, sobre a região. Nesta dissertação, os eventos de EMAQS foram estudados nos aspectos estatístico, sinótico e termodinâmico. Do ponto de vista estatístico, foram selecionados os 35 casos de EMAQS que ocorreram entre os anos de 1985 e 2003, correspondendo a uma média de 2 casos por ano, aproximadamente. Os casos perduraram entre 7 e 23 dias e a duração média foi de 11 dias. As EMAQS ocorreram com maior frequência entre os meses de junho e setembro e os casos mais intensos, segundo o índice (I(EMAQS)) desenvolvido aqui, ocorreram nos meses de agosto e setembro. Verificou-se que a variabilidade anual de EMAQS não está relacionada às fases do El Niño Oscilação Sul (ENOS). No entanto, observou-se que 63% dos casos de EMAQS e 100% dos casos intensos ocorreram em períodos de bloqueio atmosférico sobre o Oceano Pacífico Sudeste, o que indicou uma relação entre estes dois eventos. O estudo do ponto de vista sinótico incluiu dois casos de EMAQS, o primeiro ocorrido entre os dias 01 e 15 de junho de 2002 e o segundo ocorrido entre os dias 07 e 29 de julho de 1987. Em ambos os casos, a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) avançou sobre o continente e o escoamento em baixos níveis da troposfera apresentou ventos fortes de norte, desde a região amazônica até o sul do país. Em níveis médios, foi evidenciada a relação entre o bloqueio atmosférico sobre o Oceano Pacífico Sudeste e a EMAQS. Em altos níveis, a configuração do escoamento do ar desfavoreceu o avanço das frentes frias para a Região Sudeste do Brasil, devido ao posicionamento da corrente de jato subtropical sobre a América do Sul (AS), que esteve com orientação noroeste-sudeste ou zonal, bem a sul da região central do Brasil. Por meio do cálculo da Equação da Energia Termodinâmica (EET), determinou-se a origem da variação de temperatura do ar em baixos níveis, para as três fases da EMAQS. Verificou-se que, no primeiro caso (01 a 15 de junho de 2002), tanto o Aquecimento Adiabático (AA) como a Advecção Horizontal de Temperatura do Ar (AHT) contribuíram para a formação, manutenção e dissipação da EMAQS. Porém, no segundo caso (07 a 29 de julho de 1987), quando a temperatura variou mais bruscamente, a AHT foi o termo mais importante para o desenvolvimento e dissipação da EMAQS.

STAGNATION OF WARM AND DRY AIR MASSES IN THE CENTRAL REGION OF BRAZIL

ABSTRACT

In the Southeast Region, southern parts of Central-West and northern parts of South Regions, Stagnations of Warm and Dry Air Masses (EMAQS) occur between April and September months. They are characterized by positive temperature anomalies and negative precipitation anomalies, persisting for several days. This situation causes an increase in air pollution and in the forest fire and bushfire risks. Specific studies about this topic are important, since few publications have been produced so far. During the EMAQS, the cold fronts, coming from Argentina, are prevented from reaching Southeast Region of Brazil, staying over the South Region of the country. An EMAQS event has three distinct stages: formation stage, when the air temperature increases; maintenance stage, when the temperature does not change significantly; and dissipation stage, when the temperature decreases to normal values of the month. Here, the statistical, synoptic and thermodynamic aspects of the events are studied. In the period between the years of 1985 and 2003, 35 EMAQS events are identified, which correspond to an average of approximately 2 cases per year. The duration of the EMAQS varies between 7 and 23 days and the mean duration is 11 days. The frequency of EMAQS is higher between June and September months and the most intense cases, according to I(EMAQS) index developed here, occur in August and September. The interannual variability of EMAQS is found to be unrelated to the El Niño - South Oscillation phase. On the other hand, 63% of all the EMAQS cases and 100% of the intense cases are associated with blocking periods over the Southeast Pacific Ocean. The synoptic study included two cases of EMAQS, the first occurring between 01 and 15 June 2002 and the second occurring between 07 and 29 July 1987. In both cases, the Subtropical South Atlantic High drifts westward to affect the continent and the lower tropospheric flow presents strong northerly winds, from the Amazon region to the South Region of Brazil. At midlevels, there is strong evidence for the relation between the atmospheric blocking episode in the Southeast Pacific Ocean and the EMAQS over central Brazil. At high levels, the NW-SE jet configuration over South America does not favor the advance of cold fronts to Southeast Region of Brazil. The terms in the Thermodynamic Energy Equation (EET), are computed for the three stages of EMAQS lifecycle to investigate the causes of the low-level air temperature changes. In the first case (01 to 15 June 2002), the Adiabatic Heating (AA) and the Horizontal Temperature Advection (AHT) contributed for the formation and dissipation of the EMAQS. However, in the second case (07 to 29 July 1987), where the temperature change are stronger, the AHT is found to be the most important term for the development and dissipation of the EMAQS.

SUMÁRIO

Pag.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SÍMBOLOS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	27
1.1 - Objetivos	29
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
CAPÍTULO 3 - DADOS E METODOLOGIA	39
3.1 - Critérios de Ocorrência	39
3.2 - Aspectos Estatísticos	46
3.2.1 - Relação com as Fases do ENOS	47
3.2.2 - Relação com Bloqueio sobre o Oceano Pacífico	48
3.2.3 - Compostos dos Casos Intensos de EMAQS	49
3.3 - Aspectos Sinóticos	49
3.3.1 - Estudos de Casos	50
3.3.2 - Conjunto de Dados Auxiliares	50
3.4 - Balanço de Calor	52
CAPÍTULO 4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA	55
4.1 - Índice de Intensidade da EMAQS	58
4.2 - Frequência Mensal de Eventos de EMAQS	58
4.3 - Variação Interanual de Eventos de EMAQS	60
4.3.1 - Relação entre as Fases do ENOS e Eventos de EMAQS	61
4.3.2 - Relação entre Bloqueios no HS e Eventos de EMAQS	63
4.4 - Compostos dos Casos Intensos de EMAQS	65
CAPÍTULO 5 - ESTUDOS DE CASOS DE EMAQS	69
5.1 - Primeiro Estudo de Caso: 1 a 15 de junho de 2002	69
5.1.1 - Descrição do Evento	69
5.1.2 - Descrição Sinótica	75

5.2 - Segundo Estudo de Caso: 7 a 29 de julho de 1987	86
5.2.1 - Descrição do Evento	86
5.2.2 - Descrição Sinótica	90
CAPÍTULO 6 - BALANÇO TERMODINÂMICO	103
6.1 - Primeiro Estudo de Caso: 1 a 15 de junho de 2002	103
6.2 - Segundo Estudo de Caso: 7 a 29 de julho de 1987	112
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	121
7.1 - Síntese e Conclusões	121
7.2 - Sugestões para Estudos Futuros	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
APÊNDICE A - CAMPOS DE PRECIPITAÇÃO	135

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
2.1 – Campos de: (a) Vento médio em 250 hPa para agosto de 1995, com contornos de magnitude superior a 3.5 m.s-1; (b) Anomalia de vento em 1000 hPa para agosto de 1995.....	35
2.2 – Características dos três tipos de bloqueio atmosférico, em latitudes médias, no Hemisfério Sul: (a) bloqueio tipo dipolo; (b) bloqueio tipo omega invertido; (c) bloqueio do tipo anticiclone de grande amplitude	37
3.1 – Área utilizada na seleção dos eventos de EMAQS: 15°S a 25°S de latitude e 60°W e 45°W de longitude. As siglas correspondem aos países da América do Sul: ARG é Argentina; BRA é Brasil; BOL é Bolívia; CHI é Chile; PAR é Paraguai; PER é Peru e URU é Uruguai.....	40
3.2 – Diagrama esquemático dos episódios de EMAQS	43
3.3 – Variação da anomalia térmica diária, para o caso que ocorreu entre 1 e 15 de junho de 2002	45
3.4 – Variação da anomalia térmica diária para o caso que ocorreu entre 7 e 29 de julho de 1987	46
3.5 – Localização das estações meteorológicas utilizadas. À direita do mapa, os nomes das cidade onde estão localizadas as estações e os respectivos símbolos	51
4.1 – Frequência mensal do número de casos de EMAQS na região central do Brasil	59
4.2 – Variação interanual de número de casos de EMAQS sobre a região central do Brasil	61
4.3 – Campos compostos do dia com maior anomalia térmica diária dos sete casos intensos de EMAQS: (a) anomalia de temperatura do ar em 925 hPa; (b) anomalia de umidade relativa do ar em 925 hPa; (c) pressão ao nível médio o mar; (d) vento em 925 hPa; (e) geopotencial e anomalia de geopotencial em 500 hPa e (f) linhas de corrente em 250 hPa	67
5.1 – Anomalia de (a) temperatura do ar na superfície (°C) e (b) umidade relativa do ar na superfície (%) para o mês de junho de 2002	70

5.2 – Temperatura do ar em superfície, às 12 TMG, para as cidade de Três Lagoas, Ivinhema, Presidente Prudente, Londrina, Campo Mourão e a média das 5 cidades	71
5.3 – Temperatura do ar em superfície, às 12 TMG, para as cidade de Goiânia, Rio Verde e Catalão e a média das três cidades	71
5.4 – Imagens do Satélite GOES-8 no canal infravermelho para alguns dias de EMAQS no mês de junho de 2002	73
5.5 – Campo de (a) anomalia média de temperatura do ar (°C) e (b) anomalia de umidade relativa do ar (%) na superfície, para os 15 dias.....	74
5.6 – Temperatura potencial em 925 hPa, linha de $\theta = 300$ K, para: (a) 31 de maio a 5 de junho; (b) 6 a 10 de junho e (c) 11 a 16 de junho. As datas estão marcadas nas isolinhas	76
5.7 – Tendência de temperatura do ar em superfície (K/dia), para: (a) 01/06/2002; (b) 02/06/2002; (c) 08/06/2002; (d) 09/06/2002; (e) 11/06/2002; (f) 13/06/2002, todas as figuras às 12:00 TMG.....	77
5.8 – Campos de pressão ao nível médio do mar para alguns dias de EMAQS. (a) 2/06/2002, 00 TMG, (b) 4/06/2002, 00 TMG, (c) 6/06/2002, 00 TMG, (d) 10/06/2002, 00 TMG, (e) 13/06/2002, 00 TMG, (f) 15/06/2002, 00 TMG	79
5.9 – Campos de vento em 925 hPa para alguns dias de EMAQS: (a) para 2/06/2002, 00 TMG, (b) para 4/06/2002, 00 TMG, (c) para 6/06/2002, 00 TMG, (d) para 8/06/2002, 00 TMG, (e) para 13/06/2002, 00 TMG e (f) para 15/06/2002, 00 TMG	81
5.10 – Campos de altura geopotencial em 500 hPa para os dias: a) 2/06/2002, 00Z; b) 4/06/2002, 00Z; c) 7/06/2002, 00Z; d) 10/06/2002, 00Z; e) 13/06/2002, 00Z; f) 15/06/2002, 00TMG	82
5.11 – Campos de linha de corrente em 200 hPa e isotacas acima de 45 m s^{-1} para: (a) 2/06/2002, 00 TMG; (b) 4/06/2002, 00 TMG; (c) 7/06/2002, 00 TMG; (d) 10/06/2002, 00 TMG; (e) 13/06/2002, 00 TMG e (f) 15/06/2002, 00 TMG.....	85
5.12 – Anomalia de (a) temperatura do ar (°C) e (b) umidade relativa do ar (%) na superfície, para o mês de julho de 1987	87
5.13 – Anomalia de (a) temperatura do ar (°C) e (b) umidade relativa do ar (%) na superfície, para os 23 dias de EMAQS.....	88

5.14 – Imagens do satélite GOES 8 no canal infravermelho para alguns dias de EMAQS: (a) 07/07/87; (b) 11/07/87; (c) 15/07/87; (d) 19/07/87; (e) 24/07/87 e (f) 29/07/87	89
5.15 – Temperatura potencial em 925 hPa, isolinha de $\theta = 300$ K: (a) de 6 a 10 de julho; (b) de 11 a 15 de julho; (c) de 16 a 20 de julho; (d) de 21 a 25 de julho e (e) de 26 a 30 de julho	91
5.16 – Tendência de temperatura do ar em superfície (K/dia), para: a) 07/07/1987; b) 11/07/1987; c) 12/07/1987; d) 27/07/1987; e) 29/07/1987; f) 30/07/1987, todas as figuras às 12:00 TMG	92
5.17 – Campos de pressão ao nível médio do mar para: (a) 07/07/1987, as 0 TMG, (b) 11/07/1987, as 0 TMG, c) 15/07/1987, as 0 TMG, d) 19/07/1987, as 0 TMG, e) 24/07/1987, as 0 TMG, f) 29/07/1987, 00 TMG.....	94
5.18 – Campos de vento em 925 hPa (m/s) para: a) 07/07/1987, as 0 TMG, b) 11/07/1987, as 0 TMG, (c) 15/07/1987, as 0 TMG, (d) 19/07/1987, as 0 TMG, (e) 24/07/1987, as 0 TMG, (f) 29/07/1987, 00 TMG	96
5.19 – Campos de altura geopotencial em 500 hPa (m/s) para: (a) 07/07/1987, 00 TMG, (b) 11/07/1987, 00 TMG, (c) 15/07/1987, 00 TMG, (d) 20/07/1987, 00 TMG, (e) 24/07/1987, 00 TMG, (f) 29/07/1987, 00 TMG.....	98
5.20 – Campos de linhas de corrente em 200 hPa (m/s) para: (a) 07/07/1987, 00 TMG, (b) 10/07/1987, 00 TMG, (c) 15/07/1987, 00 TMG, (d) 19/07/1987, 00 TMG, (e) 24/07/1987, 00 TMG, (f) 29/07/1987, 00 TMG.....	101
6.1 – Corte vertical em 50°W dos termos da EET (K/dia) para a fase inicial, representada pela média dos dias 2 e 3 de junho de 2002: (a) TT, em intervalo de 1 K/dia; (b) AHT; (c) AA; (d) AMT; (e) AD; (f) AZT, de (b) a (f) em intervalo de 3 K/dia	104
6.2 – Corte vertical em 50°W dos termos da EET (K/dia) para a fase de manutenção, representada pela média dos dias 8 e 9 de junho de 2002: (a) TT, em intervalo de 1 K/dia; (b) AHT; (c) AA; (d) AMT; (e) AD; (f) AZT, de (b) a (f) em intervalo de 3 K/dia	106
6.3 – Corte vertical em 50°W dos termos da EET (K/dia) para a fase de dissipação, representada pelo dia 12 de junho de 2002: (a) TT, em intervalo de 1 K/dia; (b) AHT; (c) AA; (d) AMT; (e) AD; (f) AZT, de (b) a (f) em intervalo de 3 K/dia	107
6.4 – Termos da EET (K/dia) em 925hPa para a fase de formação, representada pela média dos dias 2 e 3 de junho de 2002: (a) TT, em intervalo de 1 K/dia; (b) AHT; (c) AA; (d) AMT; (e) AD; (f) AZT, de (b) a (f) em intervalo de 3 K/dia.....	109

6.5 – Termos da EET (K/dia) em 925hPa para a fase de manutenção, representada pela média dos dias 8 e 9 de junho de 2002: (a) TT, em intervalo de 1 K/dia; (b) AHT; (c) AA; (d) AMT; (e) AD; (f) AZT, de (b) a (f) em intervalo de 3 K/dia	110
6.6 – Termos da EET (K/dia) em 925hPa para a fase de dissipação, representada pela média dos dias 11 e 12 de junho de 2002: (a) TT, em intervalo de 1 K/dia; (b) AHT; (c) AA; (d) AMT; (e) AD; (f) AZT, de (b) a (f) em intervalo de 3 K/dia	111
6.7 – Corte vertical em 55°W dos termos da EET (K/dia) para a fase inicial, representada pelo dia 7 de junho de 2002: (a) TT, em intervalo de 1 K/dia; (b) AHT; (c) AA; (d) AMT; (e) AD; (f) AZT, de (b) a (f) em intervalo de 3 K/dia.....	113
6.8 – Corte vertical em 55°W dos termos da EET (K/dia), para a fase de manutenção, representada pela média dos dias 26 a 28 de julho de 1987: (a) TT, em intervalo de 1 K/dia; (b) AHT; (c) AA; (d) AMT; (e) AD; (f) AZT, de (b) a (f) em intervalo de 3 K/dia	114
6.9 – Corte vertical em 55°W dos termos da EET (K/dia), para a fase de dissipação, representada pelo dia 29 de julho de 1987: (a) TT, em intervalo de 1 K/dia; (b) AHT; (c) AA; (d) AMT; (e) AD; (f) AZT, de (b) a (f) em intervalo de 3 K/dia.....	115
6.10 – Termos da EET (K/dia) em 925hPa para a fase de formação, representada pelo dia 7 de julho de 1987: (a) TT, em intervalo de 1 K/dia; (b) AHT; (c) AA; (d) AMT; (e) AD; (f) AZT, de (b) a (f) em intervalo de 3 K/dia	117
6.11 – Termos da EET (K/dia) em 925hPa para a fase de manutenção, representada pela média dos dias 26 e 28 de julho de 1987: (a) TT, em intervalo de 1 K/dia; (b) AHT; (c) AA; (d) AMT; (e) AD; (f) AZT, de (b) a (f) em intervalo de 3 K/dia	118
6.12 – Termos da EET (K/dia) em 925hPa para a fase de dissipação, representada pelo dia 29 de julho de 1987: (a) TT, em intervalo de 1 K/dia; (b) AHT; (c) AA; (d) AMT; (e) AD; (f) AZT, de (b) a (f) em intervalo de 3 K/dia.....	119
A.1 – Precipitação total dos dias 25 de agosto a 1° de setembro de 1985, referente ao caso 1. Maior precipitação nos estados do Paraná e São Paulo.....	135
A.2 – Precipitação total dos dias 12 a 23 de setembro de 1985, referente ao caso 2	135
A.3 – Precipitação total dos dias 07 a 29 de julho de 1987, referente ao caso 4. O estado do Paraná e o leste de São Paulo não foram atingidos pela EMAQS	136
A.4 – Precipitação total dos dias 03 a 09 de junho de 1992, referente ao caso 7.....	136

A.5 – Precipitação total dos dias 02 a 11 de maio de 1994, referente ao caso 11	136
A.6 – Precipitação total dos dias 19 a 26 de setembro de 1994, referente ao caso 13	137
A.7 – Precipitação total dos dias 10 a 17 de junho de 1995, referente ao caso 15.....	137
A.8 – Precipitação total dos dias 11 a 26 de agosto de 1998, referente ao caso 22. A estagnação atingiu latitudes menores que 22°S.....	137
A.9 – Precipitação total dos dias 11 a 18 de setembro de 1998, referente ao caso 23	138
A.10 – Precipitação total dos dias 24 de junho a 02 de julho de 2000, referente ao caso 26	138
A.11 – Precipitação total dos dias 21 a 27 de agosto de 2000, referente ao caso 27	138
A.12 – Precipitação total dos dias 12 a 29 de agosto de 2002, referente ao caso 31. A EMAQS não atingiu o sul do Paraguai.....	139
A.13 – Precipitação total dos dias 10 a 20 de setembro de 2002, referente ao caso 32. A EMAQS atingiu as latitudes menores que 22°S	139
A.14 – Precipitação total dos dias 25 de abril a 02 de maio de 2003, referente ao caso 33	139

LISTA DE TABELAS

	Pag.
3.1 – Estações meteorológicas utilizadas.	51
4.1 – Anomalia térmica mensal (°C), para os anos de 1985 a 2003.	56
4.2 – Relação dos casos de EMAQS sobre a região central do Brasil, entre os anos de 1985 e 2003	57
4.3 – Relação das fases do ENOS para cada ano e número de casos de EMAQS que ocorreram durante El Niño, La Niña e anos neutros	62
4.4 – Relação de casos de EMAQS sobre a região central do Brasil, que ocorreram durante períodos de bloqueio atmosféricos sobre o Oceano Pacífico, entre 160°W e 80°W	65

LISTA DE SÍMBOLOS

$\bar{}$	- Média sobre a área de estudo
δ	- Anomalia
$^{\circ}\text{C}$	- Graus Celsius
C_p	- Calor específico a pressão constante ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)
D_o	- Dia inicial
D_f	- Dia final
dm	- 10 metros
f	- Último dia de EMAQS
i	- Dia
j	- Mês
k	- Ano
mgp	- Metro geopotencial (m)
N°	- Número
$^{\circ}\text{S}$	- Graus de longitude sul
Sp	- Parâmetro de estabilidade estática
U_c	- Umidade relativa do ar média climatológica para o mês (%)
$^{\circ}\text{W}$	- Graus de longitude oeste
p	- Primeiro dia de EMAQS
t	- Tempo (s)
$\bar{P}_{i,j,k}$	- Precipitação acumulada durante os dias de EMAQS, média sobre a área (mm dia^{-1})
$\bar{T}_{i,j,k}$	- Temperatura diária média sobre a área (K)
$\bar{T}_{j,k}$	- Temperatura mensal média sobre a área de estudo (K)
$\bar{T}_{c,j}$	- Temperatura climatológica média sobre a área de estudo (K)
u	- Componente zonal do vento (m s^{-1})
v	- Componente meridional do vento (m s^{-1})
α	- Volume específico ($\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$)
θ	- Temperatura potencial (K)
\sum	- Somatório
ω	- Velocidade vertical em coordenada de pressão (Pa s^{-1})

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AA	- Aquecimento adiabático
AD	- Aquecimento diabático
AHT	- Advecção horizontal de temperatura
ARG	- Argentina
AS	- América do Sul
ASAS	- Alta subtropical do Atlântico Sul
BDM	- Banco de dados meteorológicos do CPTEC/INPE
BLOQ	- Bloqueio
BOL	- Bolívia
BRA	- Brasil
CM	- Campo Mourão
CPTEC	- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CT	- Catalão
EET	- Equação de energia termodinâmica
EMAQS	- Estagnação de massa de ar quente e seco
ENOS	- El Niño Oscilação Sul
GI	- Goiânia
GOES	- Geostationary Operacional Environmental Satellites
I(EMAQS	- Índice de intensidade de EMAQS
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IV	- Ivinhema
LO	- Lorena
NCAR	- National Centers for Atmosphere Research
NCEP	- National Centers for Environmental Prediction
ONI	- Oceanic Niño Index
PAR	- Paraguai
PER	- Peru
PP	- Presidente Prudente
RJ	- Rio de Janeiro

RV - Rio Verde
TL - Três Lagoas
TMG - Tempo no Meridiano de Greenwich
TSM - Temperatura ao nível da superfície do mar
TT - Tendência de temperatura do ar
U - Umidade relativa do ar
URU - Uruguai

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A região central do Brasil aqui designada compreende parte da Região Centro-Oeste, Região Sudeste e norte da Região Sul, entre 15°S e 25°S e entre 45°W e 60°W, aproximadamente. Nessa região, durante o inverno e início da primavera, geralmente existem períodos da ordem de semanas, quando a temperatura do ar permanece elevada e a umidade relativa do ar baixa. Em consequência, há um aumento na poluição do ar, no risco de incêndios florestais e na incidência de doenças respiratórias na população. O fato de a umidade relativa do ar apresentar valores baixos está relacionado diretamente ao aumento da temperatura do ar (Varejão, 2000; Iribarne, 1981). Isso ocorre porque a tensão de saturação do ar, que é inversamente proporcional a umidade relativa do ar, é função da temperatura do ar.

Durante este período anormalmente quente, as frentes frias vindas da Argentina são impedidas de alcançar a Região Sudeste do Brasil e estacionam sobre o sul do país. Como as massas de ar frio não chegam até a região central, uma massa de ar quente e seca permanece estagnada durante vários dias sobre a região. Estudos sobre Estagnação de Massa de Ar Quente e Seco (EMAQS) sobre a região central do Brasil são escassos na literatura, embora a EMAQS seja um fenômeno conhecido pelos meteorologistas. Assim, um dos objetivos desta dissertação é contribuir para o conhecimento das características e dos mecanismos atmosféricos envolvidos em situações de EMAQS.

O ciclo de vida dos episódios de EMAQS é composto de três fases: fase de formação, quando a temperatura do ar aumenta e a umidade relativa do ar diminui; fase de manutenção, quando a alta temperatura do ar e a baixa umidade do ar permanecem aproximadamente constantes; e por último, fase de dissipação, em que as condições atmosféricas voltam aos valores típicos de inverno.

Uma característica da região central do Brasil é a transição entre o clima quente dos trópicos e o clima temperado das latitudes médias (Nimer, 1979; Quadros et al., 1996). A região apresenta o regime de chuvas semelhante à região tropical da América do Sul (AS), com um período chuvoso, que ocorre durante o verão, e um período seco, durante o inverno. Por outro lado, a distribuição de temperatura do ar ao longo do ano é semelhante às latitudes médias, apresentando invernos com temperatura mais amena e verões com temperatura mais elevada. Durante todo o ano, é comum a passagem de sistemas frontais, que aumentam a nebulosidade e freqüentemente causam chuva. Nos meses de inverno, após a passagem das frentes frias, os anticiclones oriundos de latitudes mais a sul podem causar diminuição de temperatura do ar e geada em algumas localidades (Garreaud, 2000; Pezza, 2003). Climatologicamente, um intenso gradiente térmico ocorre no limite das regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, resultante do deslocamento das massas frias de altas latitudes em direção ao interior da AS. A temperatura do ar atinge valores mínimos durante o inverno do Hemisfério Sul (HS) nas regiões serranas e valores máximos durante o verão no Centro-Oeste do Brasil (Quadro et al., 1996). Em termos de circulação atmosférica em altos níveis, durante o inverno o escoamento do ar tende a ser mais zonal e no verão o escoamento do ar tende a ser mais meridional e fraco, especialmente próximo à costa leste da AS (Gan et al., 2004).

Quando não existe nenhuma frente ou sistema transiente atuando na região central do país, há o predomínio da massa de ar tropical marítima, devido à penetração da Alta Subtropical do Oceano Atlântico Sul (ASAS) sobre o continente sul-americano (Nimer, 1979; Bastos e Ferreira, 2000). Esta massa de ar, ao permanecer sobre o continente durante alguns dias, torna-se seca e transforma-se em uma massa de ar tropical continental.

Em relação à umidade do ar, os valores são maiores no verão do que no inverno, o que caracteriza um período mais seco no inverno. Isso ocorre porque do final do outono até o início da primavera, os mecanismos capazes de trazer umidade a estas regiões são entrada de frentes frias e cavados invertidos, enquanto que no

final da primavera até o início do outono, há convecção gerada pela presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Quadro e Abreu, 1994) e pela circulação de monção na AS (Gan et al., 2004). Mais de 50% da precipitação total anual sobre esta região ocorre entre os meses de dezembro e fevereiro (Rao e Hada, 1990).

Os episódios de EMAQS fazem parte da variabilidade intrasazonal atmosférica do continente sul-americano e do HS. Outro exemplo semelhante a EMAQS é o “veranico”. Nos trópicos, este termo é usado para períodos secos no meio de uma estação chuvosa. Já na Região Sul do Brasil, o termo “veranico” é definido como um período de alguns dias em que há predomínio de baixa umidade do ar e elevação da temperatura do ar durante o inverno austral (Jacóbsen, 1999).

Porém, a variação de intensidade, duração e de frequência. anual de eventos de EMAQS pode estar relacionada a situações de grande escala que ocorrem em outras regiões do mundo. Uma situação de grande escala que causa impacto na circulação atmosférica sobre o Brasil e em várias partes do mundo é o El Niño Oscilação Sul (ENOS) (Kousky e Ropelewsky, 1989; Rao e Hada, 1990). No entanto, não há estudos que relacionem a EMAQS às fases do ENOS.

Outro fator de grande escala que pode influenciar a frequência e duração de EMAQS são os sistemas atmosféricos de bloqueio, próximos a AS. No HS, a duração de um bloqueio é de no mínimo seis dias, segundo Van Loon (1956) e são frequentes na faixa latitudinal de 30°S a 50° S. A maior frequência de bloqueios ocorre no inverno e no início da primavera do HS (Lejenas, 1984).

1.1 - Objetivos

Sendo assim, pretende-se obter um conhecimento detalhado sobre a EMAQS na região central do Brasil, do ponto de vista estatístico, sinótico e termodinâmico, visto que a exploração da EMAQS em textos científicos nestes aspectos é inédita.

Do ponto de vista estatístico, pretende-se determinar os episódios de EMAQS que ocorreram entre os anos de 1985 e 2003, obtendo sua frequência mensal e interanual, bem como a duração média, frequência e intensidade dos episódios. Pretende-se fornecer uma primeira avaliação da ocorrência de EMAQS em anos de El Niños, La Niña e neutros em relação ao ENOS, durante os 19 anos estudados. Além disso, pretende-se relacionar episódios de EMAQS sobre a região central do Brasil a presença de bloqueios no Oceano Pacífico Sudeste. Serão construídos campos compostos de algumas variáveis atmosféricas para obter os padrões atmosféricos típicos dos episódios de EMAQS intensos.

Do ponto de vista sinótico, pretende-se obter a estrutura atmosférica associada às EMAQS e os processos dinâmicos envolvidos nos episódios. Este estudo possibilitará um melhor entendimento da formação, manutenção e dissipação do evento. Serão apresentados dois casos de EMAQS, diferentes em termos de intensidade e duração.

Utilizando a Equação da Energia Termodinâmica (EET) (Bluestein, 1992), será identificado o papel da Advecção Horizontal de Temperatura do Ar (AHT), do Aquecimento Adiabático (AA) e do Aquecimento Diabático (AD) na evolução da EMAQS, completando o estudo do ponto de vista termodinâmico.

Os resultados obtidos no estudo da EMAQS nestes três aspectos contribuirão para o aprimoramento do conhecimento deste fenômeno. Estes conhecimentos constituirão base para a aplicação futura em melhorias na previsão de tempo durante a ocorrência de EMAQS, sobre o Brasil central.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Embora a EMAQS sobre o Brasil central seja um fenômeno debatido e analisado por meteorologistas responsáveis pela previsão do tempo, é escasso o número de publicações que tratam desse assunto. É evidente que as conseqüências destes eventos são preocupantes, visto que a alta temperatura do ar e baixa umidade relativa do ar causam aumento da poluição do ar e das queimadas durante as EMAQS, trazendo prejuízos ao meio ambiente e à saúde da população que se encontra nesta área.

Os sistemas ciclônicos e anticiclônicos freqüentemente atingem o centro-sul do Brasil, especialmente no inverno. Segundo Alessandro e Lichtenstein (1995), no período de inverno (1983 a 1985), 20,3% dos anticiclones migratórios atingiram latitudes a norte de 35°S sobre o continente sul-americano, enquanto que no período de verão, a porcentagem foi de 3,4%. Este deslocamento para norte ocorre parcialmente devido à presença dos Andes, que canalizam o escoamento imediatamente a leste das montanhas (Seluchi et al., 1998; Seluchi et al., 2003; Seluchi et al., 2004; Garreaud, 1999). No entanto, o efeito orográfico não explica porquê, em alguns casos, os sistemas atmosféricos estacionam-se em altas latitudes, ou movimentam-se com trajetória para leste, em direção ao Oceano Atlântico, sem atingir a região central do Brasil, o que ocorre nas EMAQS.

Andrade (2005) fez a climatologia de sistemas frontais em 11 áreas sobre a AS e compostos de episódios de frentes frias, para algumas variáveis atmosféricas, tanto para os casos de frentes frias que atingem apenas a Região Sul, como para casos que atingem a Região Sudeste do país pelo litoral. Concluiu-se que, no inverno quando as frentes não atingem o Sudeste do Brasil observa-se em baixos níveis, ventos intensos de norte, sobre as Regiões Sul e Centro-Oeste. Em níveis médios, intensa advecção de vorticidade positiva sobre parte da Região Sul desfavorecem a entrada de frentes frias sobre o Sudeste do Brasil. Em altos níveis,

o jato subtropical mais intenso e a sul de sua posição climatológica são configurações que impedem o avanço das frentes frias sobre o Brasil. No campo de pressão ao nível médio do mar, há predomínio de alta pressão sobre o centro-sul do país devido a presença da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e o sistema de alta pressão pós-frontal não é tão intenso quanto quando o sistema avança sobre latitudes mais baixas.

Para o inverno, Bastos e Ferreira (2000) fizeram uma análise climatológica da ASAS. Foi observado que, quando a ASAS migra para o continente, há uma inibição na entrada de frentes, ocorre inversão térmica e aumenta a concentração de poluentes nos principais centros urbanos da Região Sudeste do Brasil. Sanchez-Ccoyllo e Andrade (1998) estudaram as características em grande escala para um dia de elevada concentração de poluentes em São Paulo e também observaram a influência da ASAS sobre a AS, ventos fracos sobre São Paulo, inversão térmica e baixa umidade relativa para todos os níveis da troposfera. Acredita-se que a permanência da ASAS sobre o continente, ocasiona o aumento da temperatura do ar e diminuição de umidade relativa, caracterizando o início da EMAQS.

A formação da EMAQS também pode ser caracterizada por incursão de uma massa de ar tropical sobre a AS. O deslocamento para sul da massa de ar quente é geralmente relacionada à presença da Baixa do Chaco, localizada aproximadamente em 25°S e 65°W, gerada a partir do aquecimento da atmosfera sobre o continente (Seluchi e Marengo, 2000). Este padrão é típico de verão e foi largamente estudado para esta estação do ano (Virji, 1981, Nogués e Mo, 1997, Lenters e Cook, 1995, 1998).

A EMAQS é observada em quase todos os invernos. O período é descrito de forma que a temperatura do ar se eleva para valores próximos da temperatura típica de verão e permanece por um período de 1 a 3 semanas antes de voltar para valores próximos da climatologia. As altas temperaturas do ar aparentemente estão relacionadas à subsidência de escala regional sobre os trópicos e subtropicais

da AS, a leste de 65° W, que inibe o avanço de massas de ar frio a norte de 30°S (Satyamurty et al., 1998). A importância da subsidência de escala regional na EMAQS é um fator que foi estudado nesta dissertação, por meio da utilização da Equação da Energia Termodinâmica (EET), descrita no Capítulo 6.

Na Região Sul do Brasil, um período anormalmente quente no inverno é chamado de “veranico”. Para estudar os casos que ocorreram em Porto Alegre no período de 1961 a 1985, Jacobsen (1999) usou uma metodologia que incluiu dados de temperatura, precipitação, insolação, nebulosidade e vento. O evento nesta região tem duração mínima de 4 dias. A causa principal de ocorrência de “veranico” no Rio Grande do Sul é o domínio da ASAS sobre o estado, com ventos de norte e nordeste, no período de inverno. Esta situação ocorre devido à propagação da massa de ar tropical Atlântica, que permanece por uma semana ou mais sobre a região (Machado, 1950).

Em latitudes tropicais, o mesmo efeito de “quebra” de estação ocorre quando há uma interrupção na estação chuvosa, causando vários danos a agricultura ali existente. A este fenômeno também é dado o nome de “veranico”. No oeste da Bahia, Silva et al. (1999) apresentaram uma análise de dias secos na estação chuvosa do cerrado baiano em termos de frequência e probabilidade de ocorrência, dentro de um intervalo de 20 dias, utilizando dados de uma estação meteorológica. Os autores concluíram que a ocorrência de períodos de acima de 15 dias sem chuva, danosos para qualquer agricultura, ocorreram de forma aleatória para todos os períodos de 20 dias naquela região. Carvalho et al. (1999) realizaram um estudo dos efeitos dos “veranicos” sobre as culturas de feijão nos municípios de Vassouras e Piraí (RJ) e concluíram que eventos com duração de 7 dias durante a época de floração (novembro a fevereiro) podem causar até 25 % de perda na produção.

Também na região dos cerrados brasileiros, Assad et al. (1993) estudaram dias secos com duração de 10, 15 e 20 dias dentro da estação chuvosa, através de uma análise estatística de dados de precipitação para estações pluviométricas.

Observou-se que os estados do cerrado em que este fenômeno ocorreu com mais frequência são Piauí, Bahia e norte de Minas Gerais.

A EMAQS na região central do Brasil, assim como os exemplos citados, fazem parte da variabilidade intrasazonal atmosférica. Dentre as oscilações intrasazonais que atingem a região central do Brasil destaca-se a oscilação de Madden Julian (Madden e Julia, 1971), caracterizada pelo deslocamento para leste de uma célula termicamente direta, que induz variação na convecção sobre os trópicos.

O estudo da conexão entre EMAQS e fenômenos atmosféricos em outras regiões é uma ferramenta importante para entender a EMAQS. Pezza e Ambrizi (1999) correlacionaram temperaturas médias mensais entre o sul do Chile e Argentina e o centro-sul do Brasil no período de inverno. Os autores mostraram que invernos frios no sul da Argentina podem estar associados a invernos quentes no Sul do Brasil e que invernos anormalmente frios no sul do Brasil podem estar associados a invernos mais quentes na região da Patagônia. Estes “padrões inversos” ocorreram em cerca de 60 % dos meses tanto em 1000 hPa como em 500 hPa.

Como exemplo, foi estudado pelos autores o caso de “padrão inverso” ocorrido no mês de agosto de 1995, em que no oeste de São Paulo e norte do Paraná a anomalia positiva foi de 3°C, enquanto que no Nordeste da Patagônia a anomalia negativa foi de -2,6°C. Foi discutido que, possivelmente, este padrão esteve associado à posição do jato subtropical (Figura 2.1a), que esteve mais intenso e em latitudes mais a sul que o normal. Além disso, uma circulação do tipo Alta da Bolívia esboçou-se ao redor de 12° S, 69° W, que é característico do verão, refletindo as condições intensas de bloqueio anticiclônico nas regiões subtropical e tropical da AS. A anomalia de vento de norte em 1000hPa, desde a Amazônia até a Região Sul do Brasil, apresentou-se bastante intensa, canalizando um fluxo de ar quente sobre o país (Figura 2.1b).

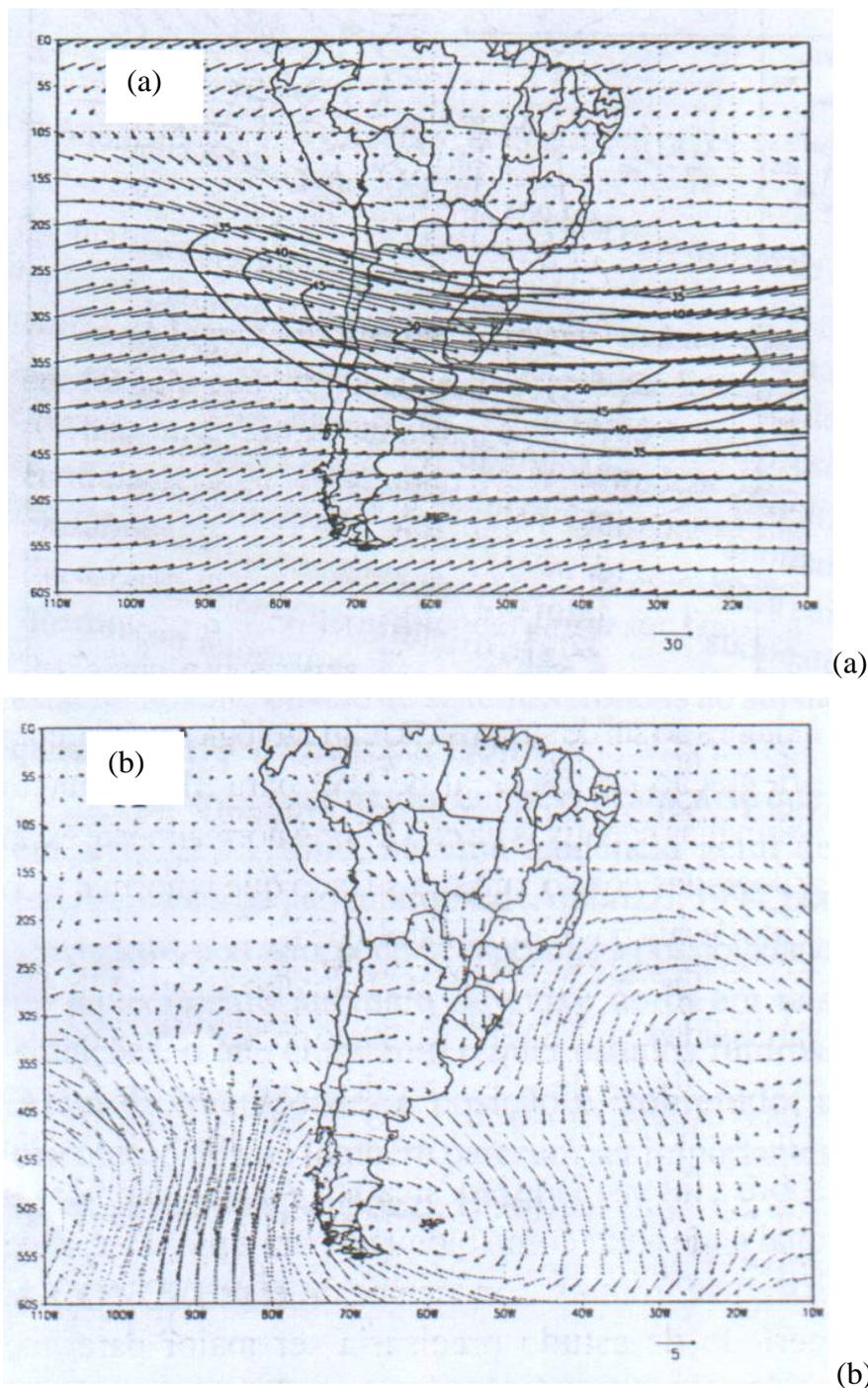


FIGURA 2.1 – Campos de: (a) Vento médio em 250hPa para agosto de 1995, com contornos de magnitude superior a 35m.s^{-1} ; (b) Anomalia de vento em 1000hPa para agosto de 1995. Os vetores referenciais da magnitude do vento são mostrados no canto inferior direito em m.s^{-1} .

FONTE: Pezza e Ambrizzi (1999).

No campo de pressão ao nível médio do mar, observou-se que a ASAS esteve bastante fortalecida e projetou uma crista anômala em direção ao continente. Foi observado que, com valores altos de anomalia positiva de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Atlântico no Hemisfério Norte, a célula de Hadley sofreu um deslocamento para sul, induzindo um regime de subsidência anômala na costa do Brasil.

Um fator em outra região do Hemisfério Sul que pode ser importante para a ocorrência de EMAQS, é o bloqueio (Marques, 1996). Devido à formação de um anticiclone quase-estacionário de grande amplitude nas latitudes médias, o deslocamento para leste de frentes, ciclones e anticiclones é impedido. Esta configuração persiste por vários dias e as condições de tempo na região do bloqueio não mudam (Kayano e Kousky, 1990). As regiões preferenciais para a ocorrência de bloqueios no HS são: Austrália e Nova Zelândia; oceano Índico, a sudeste da África; a leste da AS e a sudeste do Oceano Pacífico (Marques, 1996). Embora a região central do Brasil não esteja sob ação das altas de bloqueio, estas altas podem exercer forte influência na região (Fuentes, 1996; Kayano, 1999). Segundo Nascimento e Ambrizzi (2002) em situações de bloqueio sobre o Oceano Pacífico Sudeste, a corrente de jato sobre a região extremo sul do Brasil é intensificada e os sistemas frontais estagnam-se.

Os três tipos de bloqueios mais comuns no HS estão ilustrados na Figura 2.2. O bloqueio do tipo dipolo é constituído de um anticiclone de grande amplitude e um ciclone em latitudes mais baixas, a norte deste (Figura 2.2a). O bloqueio atmosférico do tipo ômega invertido (Figura 2.2b) é constituído de um anticiclone entre dois ciclones, na forma de uma letra ômega invertida. O terceiro tipo é formado por uma crista de grande amplitude (Figura 2.2c). Para ser chamado de bloqueio, estas características devem predominar em níveis médios por no mínimo 5 dias, segundo Treidl et al. (1981). No entanto, o número de dias mínimo para que a configuração seja chamada de bloqueio não é consenso na literatura

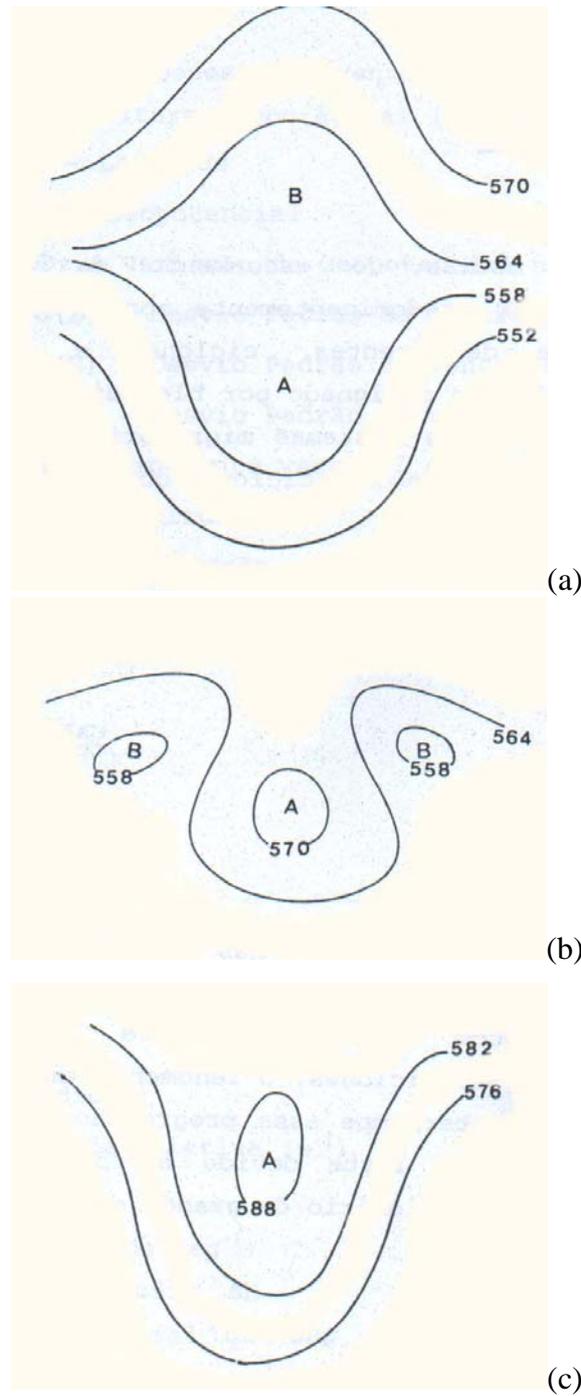


FIGURA 2.2 – Características dos três tipos de bloqueio atmosférico, em latitudes médias, no Hemisfério Sul: (a) bloqueio tipo dipolo; (b) bloqueio tipo omega; (c) bloqueio do tipo anticiclone de grande amplitude. Isolinha de altura geopotencial em dm.

FONTE: Adaptada por Marques (1996) de Bluestein (1993), para o Hemisfério Sul.

Treidl et al. (1981) definiu claramente as diferenças entre altas de bloqueio, altas subtropicais e altas polares. Foi explicado que as altas semi-permanentes subtropicais não impedem o avanço de sistemas transientes, como as altas de bloqueio. No entanto, Pezza (2003) relacionou episódios de anomalias positivas de temperatura e negativas de precipitação, no final do inverno, ao fortalecimento da ASAS, de forma similar a uma alta de bloqueio.

Além do bloqueio, a fase do El Niño Oscilação Sul (ENOS) é outro fator que pode estar relacionado à EMAQS na região central do Brasil. O aquecimento anômalo das águas do Oceano Pacífico tropical (El Niño) pode contribuir para o aumento de eventos de EMAQS. Devido ao posicionamento do jato subtropical sobre o sul da Região Sul do país, as frentes tendem a ter um deslocamento em direção ao Oceano Atlântico, sem atingir a Região Sudeste e centro-sul do Brasil (Grimm et al., 2000 e Barros e Scasso, 1994).

Um dos principais efeitos de episódios de La Niña observados sobre o Brasil é a ocorrência de temperaturas do ar próximas da média ou ligeiramente abaixo da média climatológica sobre a Região Sudeste do Brasil, durante o inverno (Marengo e Oliveira, 1998). No entanto, não foi encontrado nenhum estudo sobre a relação entre as fases do ENOS e episódios de EMAQS.

Outros fatores também podem influenciar a duração e a intensidade das EMAQS. Por isso, o estudo da EMAQS e a relação desta com outros eventos de escala sinótica, possibilitará a identificação da EMAQS com antecedência e a estimativa de sua intensidade e duração.

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

Nesta Dissertação, o estudo da EMAQS sobre a região central do Brasil abrange os aspectos estatísticos, sinóticos e termodinâmicos observados. Como não foram encontrados trabalhos que tratassem do fenômeno sobre a região central do Brasil, foram estabelecidos critérios para determinar os eventos de EMAQS.

3.1 - Critérios de Ocorrência

Os critérios de ocorrência da EMAQS foram estabelecidos a partir dos dados em pontos de grade das reanálises do NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmosphere Research) (Kalnay et al., 1996), com resolução espacial horizontal de 2,5° de latitude e longitude, obtidos na homepage <http://www.cdc.noaa.gov>. Os critérios numéricos levam em conta a anomalia de temperatura do ar, a taxa de precipitação, sua extensão horizontal e temporal.

A área de estudo, a qual foi utilizada para a seleção dos eventos de EMAQS, compreende a faixa latitudinal de 25°S a 15°S e a faixa longitudinal de 60°W a 45°W (Figura 3.1). Nesse domínio, encontram-se 35 pontos de grade. A partir dos dados diários de temperatura do ar em superfície, foram calculadas as temperaturas médias sobre o domínio dos 35 pontos de grade, para cada dia. Este valor de temperatura do ar em superfície, representativo da temperatura média nos 35 pontos de grade, é representado por $\bar{T}_{i,j,k}$, em que i representa o dia, j representa o mês sendo que $j = 1$ refere-se a abril e $j = 6$ refere-se ao mês de setembro, e k representa o ano, sendo que $k = 1$ refere-se ao ano de 1985 e $k = 19$ refere-se ao ano de 2003.

As temperaturas mensais climatológicas em superfície, calculadas por meio da média sobre a área de estudo, são representadas por $\bar{T}_{c,j}$, para cada mês. A climatologia está baseada em 30 anos de dados (1971 a 2000) e as temperatura estão expressas em °C.

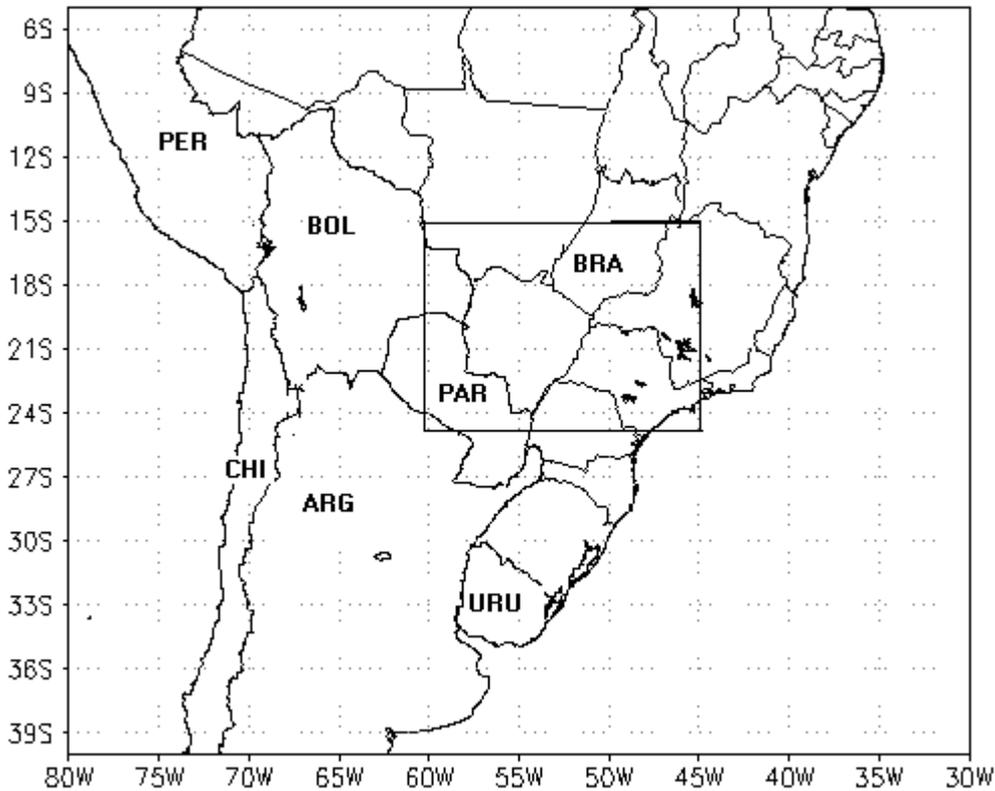


FIGURA 3.1 - Área utilizada na seleção dos eventos de EMAQS: 15° S a 25° S de latitude, 60°W a 45°W de longitude. As siglas correspondem aos países da AS: ARG é a Argentina, BRA é o Brasil, BOL é a Bolívia, CHI é o Chile, PAR é o Paraguai, PER é o Peru e URU é o Uruguai.

Da mesma forma, foi usada a variável chamada taxa de precipitação da reanálise do NCEP/NCAR. Esta variável é derivada completamente do modelo de previsão de 6 horas. Como a variável não corresponde ao dado medida na região, pode ocorrer precipitação espúria (Kalnay et al., 1996). Foi somada a precipitação

diária, durante os períodos de EMAQS, e calculada a média sobre os 35 pontos de grade. Esta variável é representada por $\bar{P}_{i,j,k}$.

Os passos para a identificação inicial dos episódios de EMAQS estão esquematizados na Figura 3.2. Sabe-se que vários dias consecutivos com anomalia positiva de temperatura do ar resultam no aumento da anomalia mensal de temperatura do ar, com exceção de casos em que ocorre forte queda de temperatura do ar no restante do mês. Por isso, calculou-se a anomalia térmica mensal para os 114 meses de estudo. A anomalia térmica mensal ($\bar{T}'_{j,k}$) é definida como a anomalia em relação à climatologia ($\bar{T}_{c,j}$), média sobre a área de estudo, conforme a equação:

$$\bar{T}'_{j,k} = \bar{T}_{j,k} - \bar{T}_{c,j} \quad (3.1)$$

Nesta equação, $\bar{T}_{j,k}$ representa as médias mensais de temperatura do ar, nos 114 meses de estudo. O desvio padrão da anomalia térmica mensal, para os 114 meses, foi de 1°C. Portanto, nos meses em que a anomalia térmica mensal foi maior que 0,3°C, que é a terça parte do desvio padrão, analisaram-se os valores diários de temperatura do ar. Talvez algum caso de EMAQS tenha ocorrido em meses com anomalia térmica menor que 0,3°C. No entanto, foram realizados testes em meses com anomalia térmica menor que 0,3°C para os últimos 10 anos de estudo (1993 a 2003) e verificou-se que nenhum caso de EMAQS ocorreu durante estes meses. Utilizou-se esta metodologia com o intuito de reduzir o trabalho de busca de episódios.

Foi calculada a anomalia térmica diária, definida como a anomalia em relação à climatologia, média sobre o domínio dos 35 pontos de grade, abaixo:

$$\bar{T}'_{i,j,k} = \bar{T}_{i,j,k} - \bar{T}_{c,j} \quad (3.2)$$

A partir de $\bar{T}'_{i,j,k}$, foram desenvolvidos critérios para a obtenção dos períodos de EMAQS. Os dois critérios de temperatura do ar, que estão baseados na magnitude desta variável, serão apresentados a seguir.

Durante os episódios, a precipitação ($\bar{P}_{i,j,k}$) deve estar aproximadamente nula. No entanto, o modelo erroneamente pode gerar alguma chuva na borda da área considerada. Por outro lado, em alguns casos, a EMAQS pode não ocorrer em todos os 35 pontos de grade. Por isso, foram selecionados os casos em que a precipitação média sobre a área foi menor que 1,5 mm/dia. A umidade relativa do ar não foi considerada como critério de identificação das EMAQS, no entanto, no estudo dos episódios, esta variável foi analisada. A anomalia de umidade relativa do ar média para o período de EMAQS é calculada conforme a equação:

$$U' = \frac{1}{n} \sum_{i=p}^f U'_{i,j,k} \quad (3.3)$$

Na Equação 3.3, p é o primeiro dia de EMAQS e f é o último dia. $U'_{i,j,k}$ é a anomalia diária de umidade relativa do ar, na área de estudo e n é o número de dias da EMAQS.

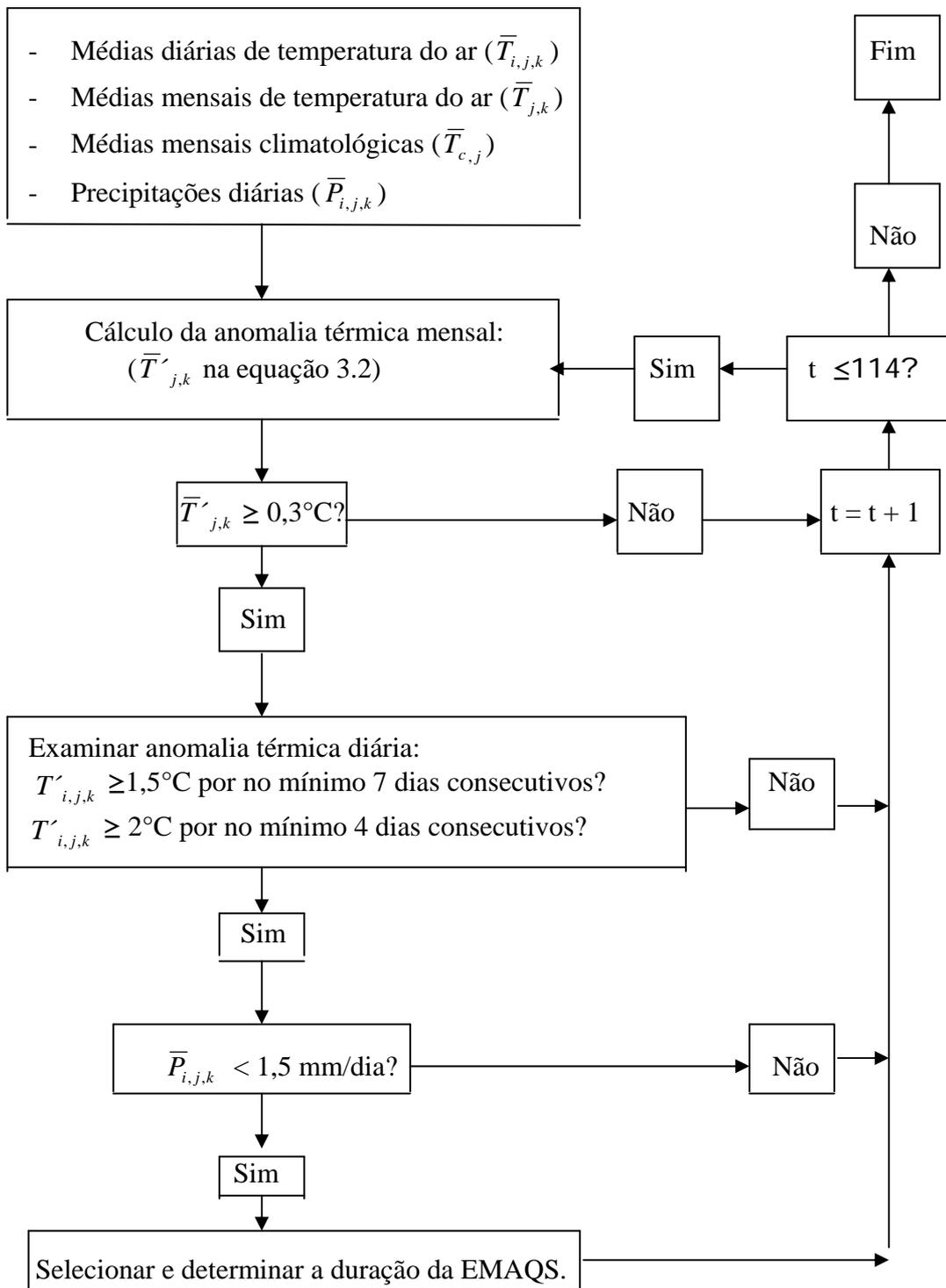


FIGURA 3.2 – Diagrama esquemático de identificação dos episódios de EMAQS. A sigla $\bar{T}_{i,j,k}$ é a média diária de temperatura do ar, $\bar{T}_{j,k}$ é a média mensal de temperatura do ar, \bar{T}_c é a média mensal climatológica, t corresponde ao mês, $\bar{T}'_{j,k}$ e $\bar{T}'_{i,j,k}$ são anomalia térmica mensal e diária, respectivamente.

Os critérios foram estabelecidos por meio de teste, devido a falta de estudos anteriores sobre o assunto de EMAQS. Finalmente, analisando a anomalia térmica diária e a precipitação, a identificação da EMAQS segue os critérios:

- Anomalia térmica diária maior que $1,5^{\circ}\text{C}$, persistindo por no mínimo 7 dias.
- Anomalia térmica diária maior que $2,0^{\circ}\text{C}$, persistindo por no mínimo 4 dias;
- Precipitação média diária, durante o período de EMAQS, menor que $1,5\text{ mm/dia}$.

Todos os três critérios devem ser satisfeitos para ser caracterizada a EMAQS. Quando estes passos indicaram um episódio no primeiro dia de um mês, foram analisados os dados diários do final do mês anterior para que um episódio que começou em um mês e terminou em outro não fosse eliminado. Da mesma forma, quando um episódio começou nos últimos dias de um mês, foram analisados os dados diários do mês posterior.

Conforme descrito no Capítulo 1, um episódio de EMAQS será dividido em três fases: formação, manutenção e dissipação. A fase de formação ocorre nos dias em que a temperatura do ar aumenta e a umidade relativa do ar diminui consideravelmente. Na fase de manutenção, a temperatura do ar permanece elevada e na fase de dissipação a temperatura do ar e a umidade relativa do ar voltam aos seus valores climatológicos.

As três fases da EMAQS (formação, manutenção e dissipação) foram estabelecidas por meio de análise de episódios individuais. As Figuras 3.3 e 3.4 apresentam a variação da anomalia térmica diária para dois casos de EMAQS.

Para o caso apresentado na Figura 3.3, a fase de formação ocorreu entre os dias 01 e 06 de junho de 2002 e a fase de manutenção ocorreu entre os dias 07 e 10 de

junho. A fase de dissipação começou no dia 11 e terminou no dia 14 de junho de 2002, quando a anomalia de temperatura esteve próxima de zero.

O caso ocorrido em 1987 (Figura 3.4) mostra uma variação mais brusca de temperatura do ar. A fase de formação ocorreu entre os dias 07 e 13 e a fase de dissipação ocorreu apenas no dia 29, quando ocorreu uma queda acentuada de temperatura do ar, devido à incursão de uma intensa massa de ar frio sobre a região central do Brasil.

Estes dois casos mostram que é difícil estabelecer critérios numéricos precisos sobre a duração das fases da EMAQS, pois cada caso deve ser analisado separadamente. Nesta dissertação, foram obtidas as fases apenas destes dois casos, a fim de contribuir nos estudos sinótico e energético.

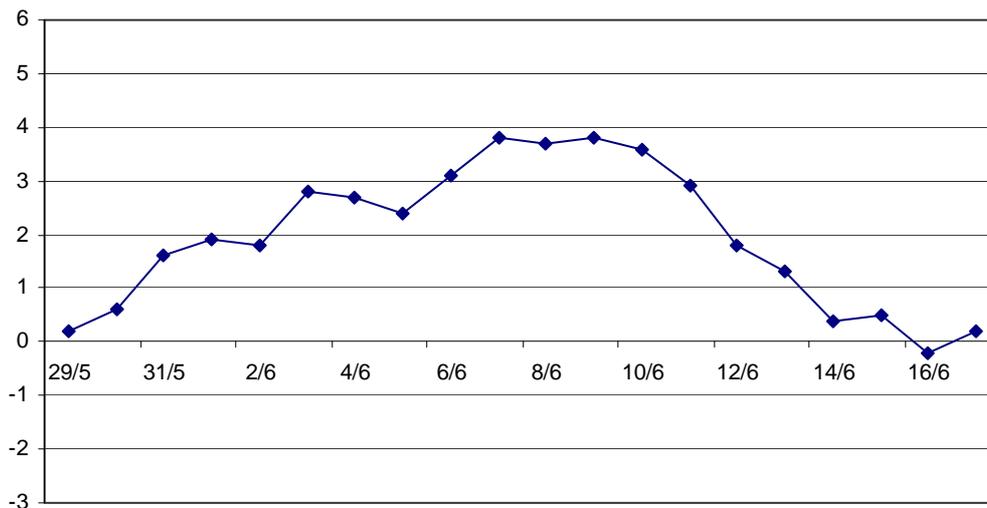


FIGURA 3.3 – Variação da anomalia térmica diária (°C), para o caso de EMAQS, ocorrido entre os dias 01 e 15 de junho de 2002.

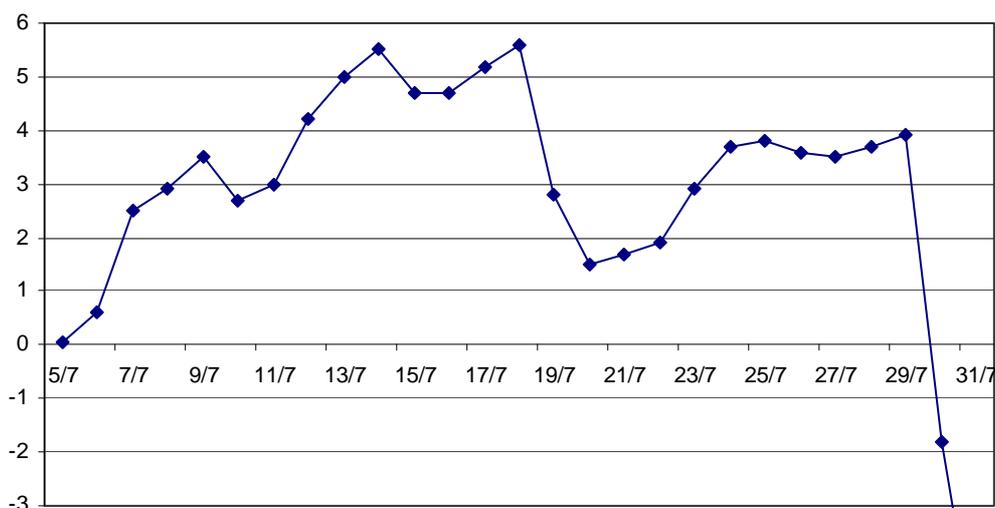


FIGURA 3.4 – Variação da anomalia térmica diária (°C), para o caso de EMAQS, ocorrido entre os dias 07 a 29 de julho de 1987.

3.2 - Aspectos Estatísticos

A estatística dos eventos inclui a frequência de ocorrência, a duração média, a intensidade média e a variação interanual e mensal de número de casos.

Com o intuito de verificar a intensidade da EMAQS, ou seja, identificar eventos que possivelmente foram mais prejudiciais à população e ao meio ambiente, foi desenvolvido um índice chamado índice de intensidade de EMAQS ($I(EMAQS)$). Este índice foi definido para a área de estudo, em função da anomalia térmica diária, anomalia diária de umidade relativa do ar e da duração do evento:

$$I(EMAQS) = \frac{1}{T_{c,j}} \sum_{i=p}^f T'_{i,j,k} - \frac{1}{U_{c,j}} \sum_{i=p}^f U'_{i,j,k} \quad (3.4)$$

Na Equação 3.4, p é o primeiro dia de EMAQS e f é o último dia. $U'_{i,j,k}$ é a anomalia de umidade relativa do ar diária e $U_{c,j}$ é a média climatológica da umidade relativa para o mês em questão, na área de estudo.

Conforme a Equação 3.3, nota-se que $I(EMAQS)$ é adimensional, pois os desvios de temperatura do ar e umidade relativa do ar são normalizados pelos seus valores climatológicos. O primeiro termo da Equação 3.3 representa a anomalia térmica diária média durante a EMAQS e o segundo termo representa a anomalia de umidade relativa média para os dias do evento. Quanto maior for o número de dias, a magnitude da anomalia térmica diária ou a magnitude da anomalia de umidade relativa do ar, maior será o valor do índice.

Foram calculados média e desvio padrão do índice para os casos de EMAQS encontrados. Os casos que apresentaram $I(EMAQS)$ maior que a média somada um desvio padrão foram chamados intensos. Igualmente, aqueles que apresentaram $I(EMAQS)$ menor que a média subtraindo um desvio padrão, foram chamados fracos. Os demais casos foram chamados moderados.

O valor médio do índice é 3,2 e o desvio padrão é 1,5. Portanto, admite-se que quando o índice atingir um valor maior que 4,7 o evento é intenso, quando o índice estiver entre 1,6 e 4,7 o evento é moderado e aqueles eventos que apresentarem índices menores que 1,6, são chamados fracos.

3.2.1 - Relação com as Fases do ENOS

Como parte da variabilidade interanual de eventos de EMAQS, foi observada a ocorrência de casos em anos de El Niño (86/87, 91/92, 93, 94/95, 97/98, 02/03), anos de La Niña (84/85, 88/89, 95 e 98/00) e em anos com Temperatura da Superfície do Mar (TSM) próximo da média climatológica, a partir de dados do Climate Prediction Center/NOAA. As fases do El Niño Oscilação Sul (ENOS) foram obtidas através do Índice de Niño Oceânico (*Oceanic Niño Index* – ONI), o qual encontra-se disponível na internet no endereço: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products>. ONI é a saída da média da TSM, na região do Niño 3.4, baseada na rodada média de três meses e na análise histórica de 1971 a 2000 da TSM (Smith e Reynolds; 2003). Quando $ONI \geq 0.5^{\circ}\text{C}$ por

pelo menos cinco meses, é definido o El Niño e quando $ONI \leq - 0.5^{\circ}\text{C}$ por pelo menos cinco meses, é definida a La Niña.

3.2.2 - Relação com Bloqueio sobre o Oceano Pacífico

Relacionou-se a ocorrência de bloqueios atmosféricos no Oceano Pacífico Sul e períodos de EMAQS na região central do Brasil. Na literatura, não há um consenso sobre os critérios que identificam bloqueios atmosféricos. Para identificar os bloqueios atmosféricos de forma objetiva no Hemisfério Sul, Lejenas (1984) e Marques (1996) utilizaram um índice que consiste na diferença entre as alturas geopotenciais, em 35°S e 50°S , no nível de 500 hPa. Kayano e Kousky (1990) compararam dois índices, o primeiro em função da pressão ao nível médio do mar e o segundo em função do vento zonal em 250 hPa, e observaram que estes índices apresentaram limitações. Portanto, nesta dissertação, optou-se por identificar os bloqueios atmosféricos de forma subjetiva, conforme descrito abaixo.

Para a identificação dos bloqueios atmosféricos sobre o Oceano Pacífico, foram analisados os campos de altura geopotencial e anomalia de altura geopotencial, em 500 hPa, nos dias de EMAQS e nos quatro dias anteriores aos casos. Algumas características adotadas por outros autores foram adaptadas e utilizadas para a identificação de bloqueios. São elas:

- O escoamento de oeste divide-se em dois ramos (Rex, 1950; Casarin, 1982);
- Núcleo de anomalia positiva de altura geopotencial superior a 200 mgp, em latitudes médias, com extensão horizontal de no mínimo 30° de longitude (Charney et al., 1981);
- Os dois itens anteriores persistindo por no mínimo 4 dias.
- O deslocamento total do bloqueio deve ser menor ou igual a 25° de longitude, durante o evento (Casarin, 1982);

Sinclair (1996) adotou o número de dias mínimo de persistência de bloqueio no Hemisfério Sul de 5 dias. No entanto, a persistência por no mínimo 4 dias já pode causar uma propagação anômala das ondas em níveis médios.

3.2.3 - Compostos de Casos Intensos de EMAQS

Foram construídos campos compostos de algumas variáveis atmosféricas dos casos intensos de EMAQS, segundo o índice I(EMAQS). A importância em se utilizar esta metodologia consiste em obter os padrões médios de circulação atmosféricas associadas a EMAQS. Para melhor representar o caso intenso, foi usado o dia com maior anomalia térmica diária, durante cada evento. Assim, os campos compostos indicam a circulação atmosférica média para o dia de maior anomalia térmica diária dos casos intensos de EMAQS.

Utilizaram-se campos em níveis baixos, médios e altos. Em níveis baixos calculou-se a anomalia de temperatura do ar e de umidade específica em 925 hPa, ventos em 925 hPa e pressão ao nível médio do mar. Em níveis médios calculou-se a altura geopotencial e a anomalia de altura geopotencial em 500 hPa. Em níveis altos calculou-se as linhas de corrente e isotacas a partir de 34 m.s^{-1} , em 200 hPa.

Os campos anômalos foram obtidos subtraindo o campo composto construído a partir dos eventos de EMAQS do campo composto das médias diárias correspondentes a esses eventos, obtidos a partir da reanálise do NCEP/NCAR.

3.3 - Aspectos Sinóticos

Os aspectos sinóticos da EMAQS sobre a região central do Brasil foram estudados por meio da análise da estrutura atmosférica sobre o domínio de 80°W e 30°W e 5°S e 45°S . Incluem-se os centros de pressão ao nível médio do mar, os ventos em baixos (925 hPa) e altos níveis (200 hPa), a estrutura térmica e da umidade do ar em superfície, além da altura geopotencial e anomalia de altura geopotencial em 500 hPa, estas últimas para o domínio de 140°W e 30°W e 5°S e 60°S . Foram

usadas as variáveis meteorológicas: temperatura na superfície e em 925 hPa, vento (u,v) em 925 hPa e 200 hPa, geopotencial em 500 hPa, umidade relativa (U) na superfície e pressão ao nível médio do mar.

Além disso, mostra-se a evolução da temperatura através da isoterma de temperatura potencial $\theta = 310\text{K}$ em 925 hPa, a fim de identificar a variação da intensidade e deslocamento e/ou evolução da EMAQS.

3.3.1 - Estudo de Caso

Dois casos foram estudados detalhadamente para entender a evolução sinótica do evento. O primeiro caso estudado ocorreu no período de 01 a 15 de junho de 2002. Após a análise estatística, surgiu interesse em estudar o evento ocorrido entre os dias 7 e 29 de julho de 1987, uma vez que foi o caso mais longo, no período de 1985 a 2003. Este último apresentou dois picos de anomalia térmica diária (Figura 3.4).

3.3.2 - Conjunto de Dados Auxiliares

Os dados em superfície e as imagens de satélite foram utilizados, basicamente, como auxílio nos estudos de evolução dos casos. Foram utilizados dados diários de temperatura do ar em superfície do Banco de Dados Meteorológicos (BDM), do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), nas estações meteorológicas relacionadas na Tabela 3.1. A Figura 3.5 mostra a distribuição espacial das estações meteorológicas no Brasil.

TABELA 3.1 – Estações meteorológicas que serão utilizadas.

Cidades	Estação	Latitude (°S)	Longitude(°W)	Altitude (m)
Paraná				
Campo Mourão	83783	24,03	52,22	616
Londrina	83766	23,23	51,11	566
São Paulo				
Presidente Prudente	83716	22,11	51,39	436
Goiás				
Catalão	83526	18,11	47,57	840
Goiânia	83423	16,40	49,15	741
Rio Verde	83470	17,48	50,55	746
Mato Grosso do Sul				
Ivinhema	83704	22,19	53,56	370
Três Lagoas	83618	20,47	51,42	313

FONTE: BDM – CPTEC/INPE.

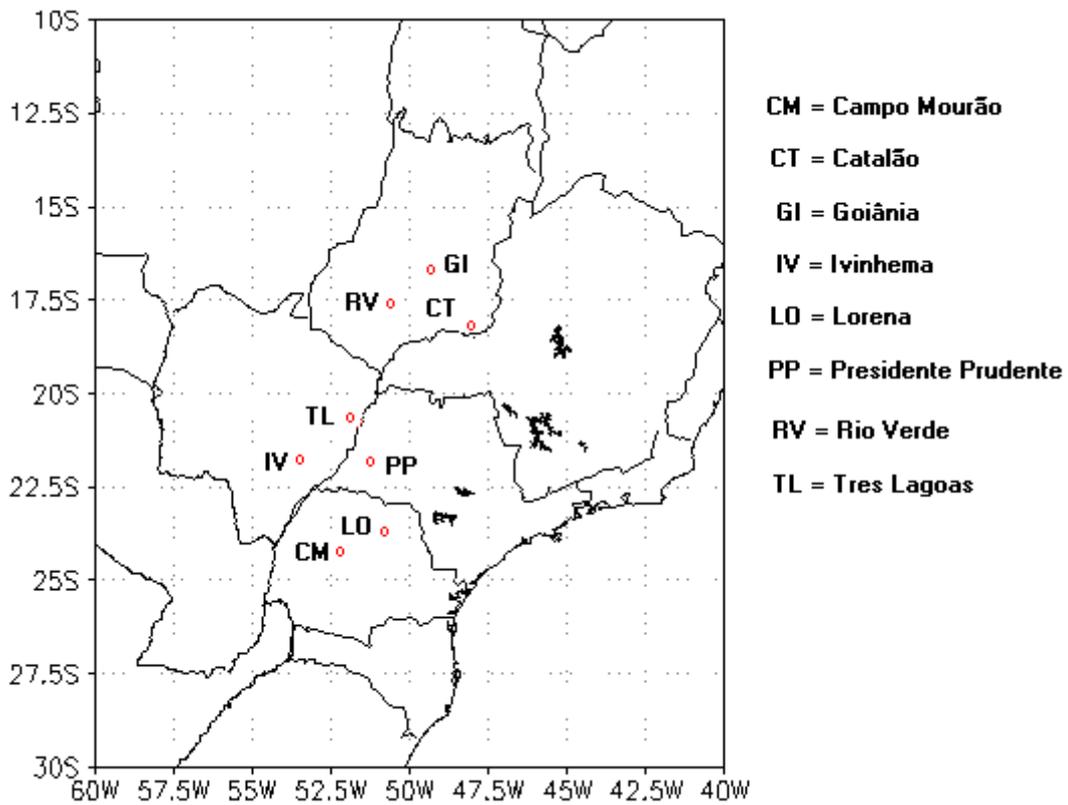


FIGURA 3.5 – Localização espacial das estações meteorológicas utilizadas no estudo sinótico. À direita do mapa, estão os nomes das estações meteorológicas e suas respectivas abreviauras.

Além disso, foram utilizadas imagens de satélite, no canal infravermelho, para analisar as condições de nebulosidade, posição da banda frontal e a atuação de

demais sistemas sinóticos associados a EMAQS. No primeiro caso, correspondente a Figura 3.3, foram usadas imagens do satélite GOES-8 e no segundo caso, correspondente a Figura 3.4, que ocorreu em 1987, foram usadas imagens do satélite GOES-7.

3.4 - Balanço de Calor

Para compreender os processos termodinâmicos que dominam a evolução do fenômeno, calculou-se os termos da Equação da Energia Termodinâmica (EET), nas três fases para os dois casos estudados na parte sinótica. A EET, em coordenadas isobáricas, é escrita (Bluestein, 1992):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) - v \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right) + \omega \left(\frac{\alpha}{C_p} - \frac{\partial T}{\partial p} \right) + \frac{1}{C_p} \frac{dQ}{dt} \quad (3.5)$$

Na Equação 3.5, $S_p = \left(\frac{\alpha}{C_p} - \frac{\partial T}{\partial p} \right)$, é o parâmetro de estabilidade estática e os demais símbolos possuem o significado usual.

O termo do lado esquerdo da EET é chamado Tendência da Temperatura do Ar (TT). Foi calculado por meio de diferença centrada, ou seja, subtraindo a temperatura do dia anterior da temperatura do dia posterior, dividido por 2. O primeiro e o segundo termo do lado direito são chamados de Advecção Horizontal de Temperatura do Ar (AHT). A AHT é composta pelos termos de advecção zonal e meridional de temperatura do ar. Como a velocidade dos ventos zonal e meridional aumentam com a altura, uma pequena variação de temperatura do ar em altos níveis pode acarretar em valores altos de AHT. Os termos da AHT foram calculados usando diferenças centradas.

O terceiro termo do lado direito da EET, é o Aquecimento Adiabático (AA) devido ao movimento vertical e advecção vertical de temperatura. O parâmetro de estabilidade estática é em geral positivo, uma vez que a taxa de variação vertical

de temperatura ($\partial T/\partial p$) da parcela de ar é menor que a taxa de variação vertical de temperatura seguindo a adiábica seca (α/C_p). O parâmetro de estabilidade estática aumenta rapidamente com a altura, já que a densidade decresce aproximadamente exponencialmente. Esta dependência entre o Sp e a altura, é uma das desvantagens da utilização de coordenadas isobáricas nesta equação (Holton, 1992).

O último termo da EET é o Aquecimento Diabático (AD). Com os dados utilizados nesta dissertação, este termo pode ser somente estimado como resíduo entre os demais termos da EET. O AD inclui vários efeitos diabáticos, dentre eles o aquecimento radiativo (solar e infravermelho), calor latente e condução próximo à superfície da Terra (Peixoto e Oort, 1991). O efeito da perda radiativa é maior em noites de céu claro com poucas nuvens, o que ocorre durante a EMAQS. Este efeito contribui para o resfriamento da baixa troposfera durante a noite. A perda radiativa compensa o aquecimento diurno, causado pela subsidência (termo de AA) e pela absorção da radiação solar. Este mecanismo faz com que, em média, ocorra uma estabilização da temperatura do ar durante a fase de manutenção da EMAQS.

Para o cálculo dos termos da EET foram usados dados em pontos de grade do NCEP/NCAR, nos níveis de pressão, no horário de 12 TMG. A EET foi calculada na fase de formação, na fase de manutenção e na fase de dissipação, para os dois casos estudados do ponto de vista sinótico.

CAPÍTULO 4

ESTUDO ESTATÍSTICO

Neste Capítulo, apresenta-se o estudo da EMAQS na região central do Brasil do ponto de vista estatístico, durante o período de 19 anos, mostrando a frequência, a intensidade e a duração dos eventos. Além disso, relacionam-se os eventos de El Niño e de bloqueio atmosférico sobre o Oceano Pacífico Sudeste com EMAQS na região central do Brasil. Campos compostos de algumas variáveis atmosféricas são apresentados para os casos intensos de EMAQS.

A Tabela 4.1 mostra a anomalia térmica mensal para a área que compreende 25°S a 15°S e de 60°W a 45°W, no período de 1985 a 2003, de abril a setembro. Em azul, destacam-se os meses que apresentam anomalias térmicas mensais positivas entre 0,5°C e 1,5°C e em amarelo, os meses que apresentam anomalias térmicas mensais positivas superiores a 1,5°C. No período de julho a setembro ocorreram 7 meses com anomalias mensais superior a 1,5°C, enquanto que no período de abril a junho ocorreram apenas 2 meses (Tabela 4.1). O maior valor de anomalia térmica mensal ocorreu em julho de 1987, apresentando magnitude de 2,5°C. A partir do conhecimento das anomalias térmicas mensais, acredita-se que os eventos de EMAQS foram mais intensos no período de julho a setembro. Para determinar os períodos de EMAQS, foram analisados todos os meses que apresentaram anomalia térmica mensal maior que 0,5°C.

Examinando os valores diários de anomalia de temperatura do ar, foram encontrados 44 eventos, em que foram satisfeitos os critérios de temperatura das EMAQS (ver capítulo 3), com duração variando de 7 a 23 dias. O evento de EMAQS que apresentou maior duração e maior anomalia térmica mensal ocorreu no mês de julho de 1987.

Para completar a seleção, aplicou-se o critério de precipitação nos 44 casos (ver Figura 3.2). Dessa forma, foram descartados 9 casos que apresentaram

precipitação maior que 1,5 mm/dia, restando apenas 35 casos de EMAQS, durante o período de estudo.

TABELA 4.1 – Anomalia térmica mensal (°C), para os anos de 1985 a 2003. Destaca-se em azul os meses com anomalia térmica mensal variando entre 0,5°C e 1,5°C e em amarelo os meses com anomalia térmica mensal superior à 1,5°C. Em laranja, apresenta-se o número total de meses com anomalia térmica mensal superior a 0,5°C.

Anomalia Térmica Mensal para a Região de Estudo						
ANO	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
1985	0,5	0,9	-0,9	-0,7	0,5	1,3
1986	0,9	1,1	0,4	-0,3	1,0	-0,1
1987	0,8	-0,8	-0,8	2,5	-0,9	-0,2
1988	0,5	-0,3	-1,0	-2,4	0,1	1,7
1989	0,4	-1,1	0,1	-1,0	-0,8	-1,2
1990	0,8	-0,8	0,0	-1,6	-0,3	-1,3
1991	-0,2	0,1	0,6	-0,3	0,1	0,5
1992	-0,1	0,8	1,1	-1,1	-0,7	-2,0
1993	0,2	-0,3	-0,1	0,5	-0,9	0,0
1994	-0,2	0,9	-0,3	0,0	0,2	1,3
1995	-0,7	-0,3	0,7	1,7	1,7	0,7
1996	0,3	0,2	-1,0	-0,6	0,8	-1,1
1997	-0,5	-0,3	-0,3	0,9	-0,3	2,1
1998	1,2	-0,4	0,1	1,7	1,4	0,8
1999	-0,2	-0,5	0,2	0,6	-0,3	1,0
2000	0,2	-0,3	0,9	-2,0	0,5	-1,0
2001	1,4	-0,6	-0,8	1,1	0,8	0,5
2002	1,5	1,2	1,3	0,5	1,8	-0,3
2003	0,5	-0,2	1,8	0,5	-2,0	0,0
> que 0,5°C	9	5	6	7	6	9

A Tabela 4.2 apresenta os 35 casos de EMAQS selecionados e suas características. A frequência anual de EMAQS é de aproximadamente 2 casos/ano e a duração média é de 11 dias. Além da precipitação, a tabela mostra a anomalia de umidade relativa média para o período de EMAQS. Para todos os 35 casos de EMAQS selecionados, as anomalias de umidade relativa do ar foram negativas (Tabela 4.2, 6º coluna).

Como forma de mostrar a variação espacial da EMAQS, já que alguns eventos não atingiram toda a área de estudo, foram verificados os campos de precipitação acumulada no domínio, para os casos que apresentaram valor médio maior ou

igual a 0,5 mm/dia. Estes campos de precipitação são apresentados no apêndice A. Verifica-se que alguns casos apresentaram precipitação acumulada somente em parte da área de estudo, como por exemplo as Figuras A.1 e A.8.

TABELA 4.2 – Relação dos casos de EMAQS sobre a região central do Brasil, entre os anos de 1985 e 2003. T' é anomalia térmica média para os dias selecionados, U' é anomalia de umidade relativa média e $\bar{P}_{i,j,k}$ é precipitação em mm/dia durante os dias de EMAQS. $I(\text{EMAQS})$ é o índice de intensidade.

CASOS	INÍCIO	FIM	Nº DE DIAS	T' (°C)	U' (%)	$\bar{P}_{i,j,k}$ (mm/dia)	$I(\text{EMAQS})$
1	25/08/85	01/09/85	8	3,9	-06	1,0	2,3
2	12/09/85	23/09/85	12	3,2	-09	0,8	3,6
3	11/06/86	17/06/86	7	2,2	-08	0,3	1,5
4	07/07/87	29/07/87	23	3,6	-05	0,7	5,9
5	20/09/88	28/09/88	9	4,7	-15	0,1	4,1
6	24/08/91	01/09/91	9	3,0	-11	0,0	3,0
7	03/06/92	09/06/92	7	3,2	-01	1,4	1,2
8	23/06/92	01/07/92	9	2,1	-10	0,4	2,1
9	26/06/93	06/07/93	11	3,4	-06	0,5	2,8
10	18/07/93	25/07/93	8	2,2	-07	0,1	1,7
11	02/05/94	11/05/94	10	2,3	-04	1,2	1,7
12	20/08/94	01/09/94	13	3,5	-12	0,0	4,9
13	19/09/94	26/09/94	8	3,5	-12	0,5	2,8
14	10/06/95	17/06/95	8	2,9	-06	1,3	1,8
15	10/07/95	17/07/95	8	2,6	-01	0,5	1,2
16	24/07/95	31/07/95	8	3,5	-11	0,0	2,8
17	08/08/95	16/08/95	9	3,3	-08	0,1	2,6
18	22/08/95	03/09/95	13	3,5	-13	0,0	5,1
19	27/08/97	10/09/97	15	2,7	-20	0,0	7,0
20	29/06/98	08/07/98	10	2,2	-02	0,3	1,5
21	17/07/98	31/07/98	15	3,3	-11	0,1	5,1
22	11/08/98	26/08/98	16	3,0	-01	1,0	2,4
23	11/09/98	18/09/98	8	3,3	-06	1,3	1,9
24	26/08/99	09/09/99	15	3,3	-20	0,2	7,3
25	05/06/00	16/06/00	12	2,4	-09	0,5	3,0
26	24/06/00	02/07/00	9	2,5	-12	1,1	2,6
27	21/08/00	27/08/00	7	3,8	-15	0,9	3,1
28	15/07/01	22/07/01	8	3,6	-09	0,5	2,6
29	24/08/01	05/09/01	13	3,6	-07	0,3	3,7
30	31/05/02	12/06/02	13	2,8	-10	0,2	3,7
31	12/08/02	29/08/02	18	2,8	-09	1,4	5,4
32	10/09/02	20/09/02	11	2,4	-07	1,5	2,4
33	25/04/03	02/05/03	8	2,6	-12	1,5	2,0
34	10/06/03	22/06/03	13	2,7	-14	0,1	4,2
35	19/07/03	25/07/03	7	2,2	-14	0,0	2,3

4.1 - Índice de Intensidade da EMAQS

A oitava coluna da Tabela 4.2 mostra o índice de intensidade de EMAQS (I(EMAQS)) para cada caso (ver Equação 3.3).

Considera-se que a EMAQS é fraca quando o índice apresenta um valor menor que 1,6; moderada quando o índice está entre 1,6 e 4,7 e intensa quando o índice é superior a 4,7. Os 4 episódios fracos ocorreram em junho ou julho (Casos: 3, 7, 15 e 20) e dos 7 episódios intensos, 5 ocorreram entre agosto e setembro (Casos: 12, 18, 19, 24 e 31). O Caso 24 apresentou o maior valor de I(EMAQS), com $I(EMAQS) = 7.3$ (Tabela 4.2).

4.2 - Frequência Mensal dos Eventos de EMAQS

A Figura 4.1 mostra a frequência mensal dos eventos de EMAQS. Em abril e maio ocorreram apenas dois eventos, um em cada mês entre os anos de 1985 e 2003, enquanto que nos outros meses ocorreram mais de sete eventos por mês. Pode-se afirmar, assim, que o período preferencial para a ocorrência de EMAQS é de junho a setembro.

O único caso obtido no mês de abril, que obedeceu aos critérios de temperatura do ar e precipitação, ocorreu em 2003 (Caso 33). Destaca-se a anomalia de umidade relativa negativa, superior a 11%. Embora tenha ocorrido alguma precipitação na região (Figura A.14), o valor está abaixo do valor médio para o mês. O caso ocorrido em maio (Caso 11) ocorreu em 1994 e teve uma duração de 10 dias. Este caso de EMAQS atingiu a Região Sudeste, porém não afetou a região Centro-Oeste (Figura A.5).

O mês de junho apresentou 8 casos de EMAQS. Em relação à anomalia mensal de temperatura do ar, apenas 2003 obteve valor superior a $1,5^{\circ}\text{C}$ (Caso 34). Este evento de EMAQS foi o mais longo do mês de junho, com 13 dias de duração, e o que apresentou a maior anomalia negativa de umidade relativa do ar do mês, superior a 13%. Dentre os eventos de junho, destaca-se o Caso 30, pelo período

prolongado, com 13 dias. Este caso é estudado nos próximos Capítulos, do ponto de vista sinótico e energético.

Nos anos de 1992 e 2000 ocorreram dois casos de EMAQS no mesmo mês. No mês de junho de 1992 ocorreram os Casos 7 e 8 e no mês de junho de 2000 ocorreram os Casos 25 e 26. Isso provavelmente causou danos ao meio ambiente, sobre a região central do Brasil.

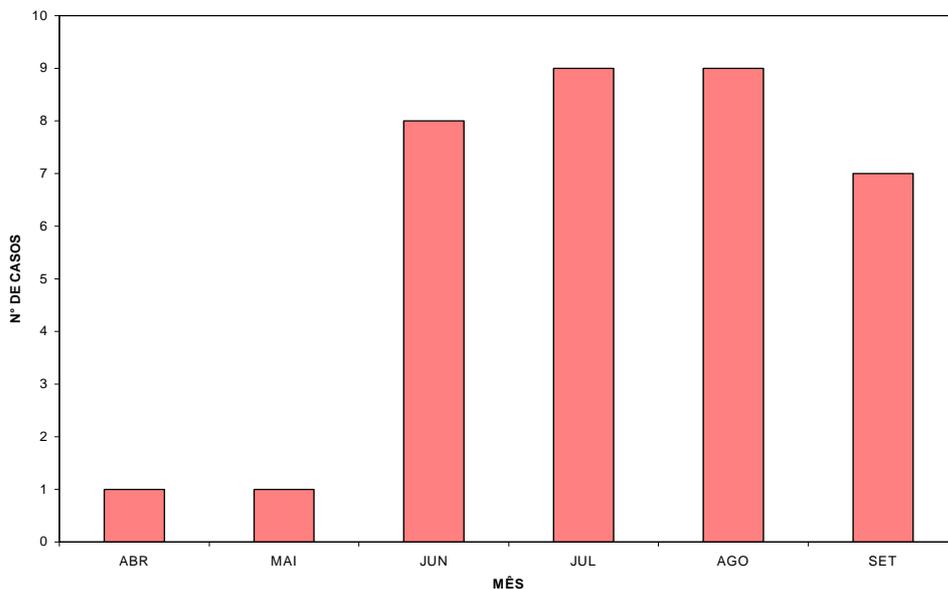


FIGURA 4.1 – Número de casos de EMAQS por mês sobre a região central do Brasil, entre os anos 1985 e 2003.

Julho e agosto apresentaram o maior número de casos de EMAQS (Figura 4.1). No mês de julho destaca-se o caso 4, que foi o maior do período (23 dias). Um estudo sinótico e termodinâmico deste caso é apresentado nos próximos Capítulos. Nos anos de 1995 e 1998, que também apresentavam anomalia térmica mensal maior que 1,5°C, foram encontrados dois casos no mesmo mês. Em 1995 ocorreram os Casos 15 e 16 e em 1998 ocorreram os Casos 20 e 21. Outro ano que apresentou dois casos em um mesmo mês de julho foi 1993 (Casos 9 e 10). Em geral os casos ocorridos no mês de julho apresentaram duração maior que nos meses anteriores e precipitação aproximadamente nula na região.

Em agosto, a duração dos episódios aumentou, com relação a julho. Devido ao início da estação seca, os casos apresentaram precipitação nula em grande parte da região, semelhante ao observado no mês de julho. Observa-se que a anomalia térmica diária média para o período (Tabela 4.2, 5^a coluna) foi maior que nos meses anteriores. Todos estes fatores mostram que os episódios mais intensos de EMAQS ocorreram no mês de agosto.

Em setembro ocorreram 7 casos de EMAQS. Destaca-se o Caso 19, ocorrido em 1997, o qual apresentou duração de 15 dias, anomalia térmica diária média para o episódio de 2,7°C, precipitação nula, e anomalia negativa de umidade relativa maior que -14%. O caso 5, ocorrido em 1988, também apresentou anomalia de umidade relativa em torno de -14% e a maior anomalia térmica média para o episódio (4,7°C). Além destes, os demais casos também foram intensos, conforme mostra o índice I(EMAQS) (Tabela 4.2).

4.3 - Variação Interanual de Eventos de EMAQS

A Figura 4.2 mostra a variação interanual do número de casos de EMAQS sobre a região central do Brasil. Em 1995 ocorreu o maior número de casos em um mesmo ano (5 casos). Foram 46 dias de EMAQS nos meses de junho a setembro. Outro pico mostrado na Figura 4.2, é o ano de 1998, com 4 casos totalizando 49 dias de EMAQS, nos meses de julho a setembro.

Destacam-se também os anos de 1989, 1990 e 1996, os quais não apresentaram casos de EMAQS sobre a região central do Brasil.

Nos próximos itens tentar-se-á relacionar a EMAQS com as fases do ENOS e Bloqueio no Hemisfério Sul, em uma tentativa de compreender melhor a variabilidade interanual de EMAQS.

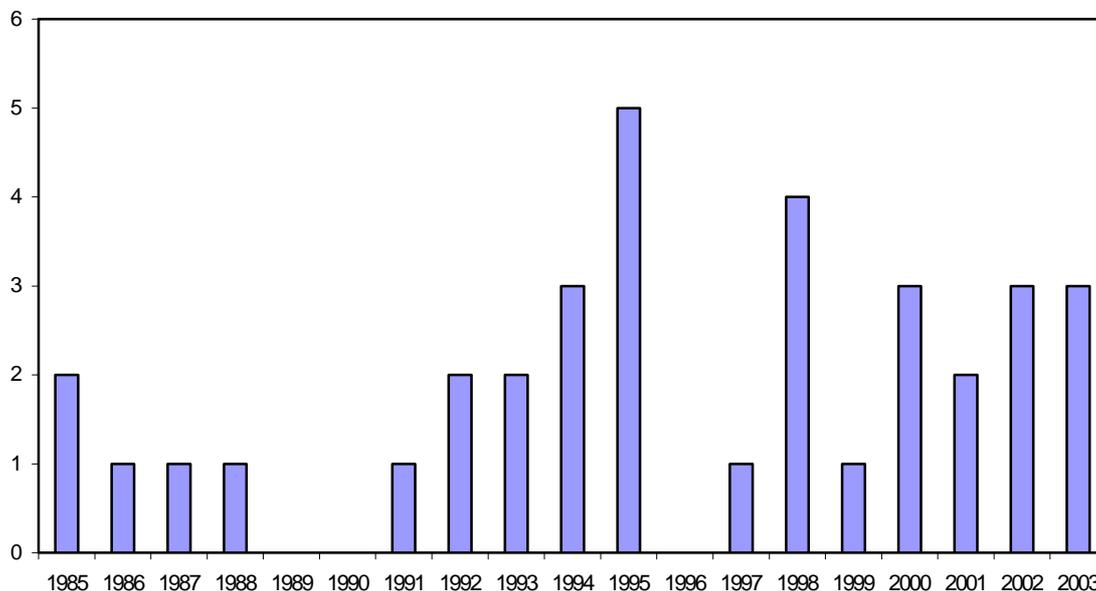


FIGURA 4.2 – Variação interanual de número de casos de EMAQS sobre a região central do Brasil.

4.3.1 - Relação entre as Fases do ENOS e Eventos de EMAQS

Dentre os 19 anos de estudo, em 8 anos ocorreu a fase quente do ENOS (El Niño), em 6 anos a fase fria do ENOS (La Niña) e em 5 anos a fase neutra, no inverno. A Tabela 4.3 mostra a relação dos anos, com suas respectivas fases do ENOS e, na última coluna, o número de casos de EMAQS por ano.

O menor número de casos ocorreu em anos neutros, em média 1 caso por ano. Na Tabela 4.3, observa-se que na década de 90 não ocorreram casos de EMAQS em anos neutros do ENOS. Os cinco casos em anos neutros em relação ao ENOS ocorreram em 2001 e 2003. Destes, apenas dois perduraram por mais de 10 dias. A partir desta análise, conclui-se que em anos neutros do ENOS podem ocorrer menos casos de EMAQS.

Em anos de La Niña, ocorreu o maior número de casos de EMAQS, em média 2,7 casos por ano. Destaca-se o ano de 1995, com 5 casos e o ano de 1998, com 4 casos (Tabela 4.3). Porém, em 1995, a fase fria do ENOS começou apenas em setembro, enquanto que os casos de EMAQS ocorreram entre junho e agosto. E em 1998, o evento de La Niña estava em seus primeiros meses, quando os 4 casos de EMAQS ocorreram. Portanto, a fase fria do ENOS não pode ter contribuído para o grande número de casos que ocorreu em 1995 e 1998, devido a La Niña ainda não estar bem configurada.

TABELA 4.3 – Relação entre as fases do ENOS e o número de casos de EMAQS, para cada ano.

ANO	ENOS			DURAÇÃO (meses)	EMAQS
	FASE ENOS	INÍCIO	TÉRMINO		Nº CASOS
1985	La Niña	out/84	jun/85	9	2
1986	El Niño	ago/86	fev/88	19	1
1987	El Niño	ago/86	fev/88	19	1
1988	La Niña	mai/88	mai/89	13	1
1989	Normal	-----	-----	-----	0
1990	Normal	-----	-----	-----	0
1991	El Niño	mai/91	jun/92	14	1
1992	El Niño	mai/91	jun/92	14	2
1993	El Niño	mar/93	jul/93	5	2
1994	El Niño	abr/94	mar/95	12	3
1995	La Niña	set/95	mar/96	7	5
1996	Normal	-----	-----	-----	0
1997	El Niño	mai/97	abr/98	12	1
1998	La Niña	jul/98	jun/00	24	4
1999	La Niña	jul/98	jun/00	24	1
2000	La Niña	jul/98	jun/00	24	3
2001	Normal	-----	-----	-----	2
2002	El Niño	mai/02	mar/03	11	3
2003	Normal	-----	-----	-----	3
Total de Episódios:					
El Niño: 8 ANOS		La Niña: 6 ANOS		NORMAL: 5 ANOS	
Nº DE CASOS: 14		Nº DE CASOS: 16		Nº DE CASOS: 5	

Os anos de El Niño apresentaram número de casos dentro da média (2 casos por ano). Estes resultados divergem do esperado, já que Grimm et al. (2000) e Barros

e Scasso (1994) observaram, para o período de inverno, um menor número de frentes frias atuando na região central do Brasil, em anos de El Niño.

Assim, a fase do ENOS não foi um fator determinante da variabilidade interanual de casos de EMAQS na região central do Brasil.

4.3.2 - Relação entre Bloqueio no HS e Eventos de EMAQS

Um exemplo de interação entre bloqueio atmosférico sobre o Oceano Pacífico sudeste e EMAQS sobre a AS ocorreu durante o Caso 4 (Tabela 4.2), cuja duração foi de 23 dias. Segundo a Climanálise (1987), nos primeiros 20 dias do mês de julho, ocorreu um bloqueio atmosférico sobre o Oceano Pacífico Sul. Durante este mês, tanto as Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, como o norte da Argentina, Paraguai e Uruguai apresentaram temperaturas acima da média.

Outros exemplos de relação entre bloqueio no Oceano Pacífico e EMAQS na região central do Brasil são os 5 casos de EMAQS que ocorreram em 1995. Durante os meses de julho e agosto de 1995, a configuração de bloqueio sobre o Pacífico Sudeste esteve presente em grande parte dos dias. Esta configuração atmosférica contribuiu para a diminuição do número de frentes frias que atingiram o Sudeste do Brasil nesse período (Nascimento e Ambrizzi, 1996), permitindo assim, o avanço da massa de ar tropical marítima sobre a região central do Brasil, que se transforma em tropical continental devido a permanência por vários dias sobre a AS.

A Tabela 4.4 mostra a relação dos casos de EMAQS que ocorreram durante períodos de bloqueio sobre o Oceano Pacífico Sul, entre 160°W e 80°W. Dos 35 casos de EMAQS verificados sobre a região central do Brasil, 22 casos ocorreram em períodos de bloqueios atmosféricos sobre o Oceano Pacífico Sudeste, o que corresponde a 63% dos casos de EMAQS. Em 18 casos, o bloqueio atmosférico sobre o Pacífico Sudeste começou alguns dias antes ou no mesmo dia do início da EMAQS. Além disso, em 20 casos o bloqueio atmosférico terminou antes ou no mesmo dia da dissipação da EMAQS sobre a região central do Brasil. Isso mostra

que, a situação de bloqueio em latitudes médias, sobre o Oceano Pacífico Sudeste, oferece condições favoráveis ao desenvolvimento de EMAQS no Brasil central. A persistência da situação de bloqueio atmosférico sobre o Oceano Pacífico Sudeste, tende a mudar a propagação das ondas sinóticas em níveis médios.

Além disso, todos os 7 casos de EMAQS com I(EMAQS) intenso, entre os anos de 1985 e 2003, ocorreram em períodos de bloqueio atmosférico sobre o Oceano Pacífico Sudeste. Portanto, pode-se esperar que casos intensos de EMAQS ocorram em períodos de bloqueio sobre o Oceano Pacífico Sudeste, de acordo com o índice I(EMAQS).

Assim, o bloqueio atmosférico no Pacífico Sudeste pode influenciar a ocorrência e a intensidade da EMAQS na região central do Brasil, por meio de mudança na trajetória de sistemas frontais. Durante os bloqueios, as frentes frias geralmente se deslocam zonalmente sobre a AS, em latitudes médias e altas, diminuindo o número de incursões de massas de ar frio sobre o continente. Este mecanismo faz com que o Brasil central apresente invernos anormalmente quentes, durante períodos de bloqueios atmosféricos (Pezza, 2003).

TABELA 4.4 – Relação de casos de EMAQS sobre a região central do Brasil, que ocorreram durante períodos de bloqueio atmosférico sobre o Pacífico, entre 160°W e 80°W. D₀ e D_f são os dias inicial e final. BLOQ é bloqueio atmosférico. A quarta coluna corresponde ao número do caso, conforme a Tabela 4.2. As linhas pintadas de amarelo correspondem aos casos intensos, de acordo com o índice I(EMAQS).

BLOQUEIO ATMOSFÉRICO			EMAQS		
D ₀ do BLOQ	D _f do BLOQ	LONGITUDE	CASO	D ₀ da EMAQS	D _f da EMAQS
04/06/86	19/06/86	130°W	3	11/06/86	17/06/86
03/07/87	20/07/87	110°W	4	07/07/87	29/07/87
11/06/92	29/06/92	120°W	8	23/06/92	01/07/92
30/06/93	03/07/93	90°W	9	26/06/93	06/07/93
19/08/94	23/08/94	100°W	12	20/08/94	01/09/94
10/06/95	14/06/95	100°W	14	10/06/95	17/06/95
14/07/95	31/07/95	120°W	15	10/07/95	17/07/95
14/07/95	31/07/95	120°W	16	24/07/95	31/07/95
20/08/95	28/08/95	110°W	18	22/08/95	03/09/95
22/08/97	30/08/97	150°W	19	27/08/97	10/09/97
12/07/97	17/07/97	120°W	21	17/07/98	31/07/98
10/09/98	16/09/98	100°W	23	11/09/98	18/09/98
24/08/99	04/09/99	100°W	24	26/08/99	09/09/99
23/06/00	29/06/00	80°W	26	24/06/00	02/07/00
19/08/00	24/08/00	100°W	27	21/08/00	27/08/00
12/07/01	21/07/01	100°W	28	15/07/01	22/07/01
21/08/01	30/08/01	140°W	29	24/08/01	05/09/01
01/06/02	12/06/02	120°W	30	31/05/02	12/06/02
12/08/02	16/08/02	110°W	31	12/08/02	29/08/02
11/09/02	14/09/02	80°W	32	10/09/02	20/09/02
24/04/03	29/04/03	100°W	33	25/04/03	02/05/03
08/06/03	13/06/03	100°W	34	10/06/03	22/06/03

4.4 - Compostos dos Casos Intensos de EMAQS

A Figura 4.3 mostra campos compostos de algumas variáveis atmosféricas para os sete casos intensos, segundo o índice I(EMAQS). Os casos são representados pelo dia de maior anomalia térmica diária durante o evento.

Na Figura 4.3a observa-se anomalia positiva de temperatura do ar em 925 hPa dos trópicos até aproximadamente 35°S sobre a AS. O núcleo de maior intensidade encontra-se sobre a parte central do Paraguai, com anomalia de 7°C.

A Figura 4.3b mostra o campo composto da anomalia de umidade específica em 925 hPa. Verifica-se que os valores negativos de umidade específica encontram-se somente na região central do Brasil, com núcleo de -1 g Kg^{-1} , em 20°S . Sobre a Região Sul a anomalia de umidade específica é positiva, com núcleo de 3.5 g Kg^{-1} , em 20°S .

O campo composto de pressão ao nível médio do mar para o dia com maior anomalia térmica diária é mostrado na Figura 4.3c. Sobre o Paraguai observa-se um sistema de baixa pressão, que atinge o noroeste do Rio Grande do Sul. Um cavado localizado sobre o Oceano Atlântico Sul indica a presença de uma frente, que se estende até a Região Sul do Brasil. Sobre a região central do país, as isóbaras apresentam orientação meridional, devido a presença da ASAS.

A Figura 4.3d apresenta o campo composto de vento em 925 hPa. Entre 60°W e 55°W e 15°S e 25°S , observa-se ventos intensos de norte, devido a penetração da ASAS. Estes ventos auxiliam na propagação para sul da massa de ar quente e seco sobre a AS. Sobre o estado de São Paulo os ventos são fracos.

No campo composto de altura geopotencial e anomalia de altura geopotencial em 500 hPa (Figura 4.3e) observa-se anomalia positiva de altura geopotencial sobre a Região Sul do Brasil. Sobre o Oceano Pacífico, a bifurcação do escoamento em 90°W e os núcleos de anomalia positiva a sul e negativa a norte indicam a presença de uma configuração de bloqueio no dia de maior anomalia térmica diária.

As linhas de corrente em 200 hPa e isotacas a partir de 34 m s^{-1} são apresentadas na Figura 4.3f. Observa-se que o jato subtropical está a sul da posição típica de inverno. A orientação do jato é noroeste-sudeste, o que favorece a propagação de frentes frias em direção ao Oceano Atlântico, sem atingir a região central do Brasil. Os campos compostos mostraram que as condições atmosféricas em altos, médios e baixos níveis favorecem a propagação para sul da massa de ar quente e seco sobre a AS, conforme ocorre na EMAQS.

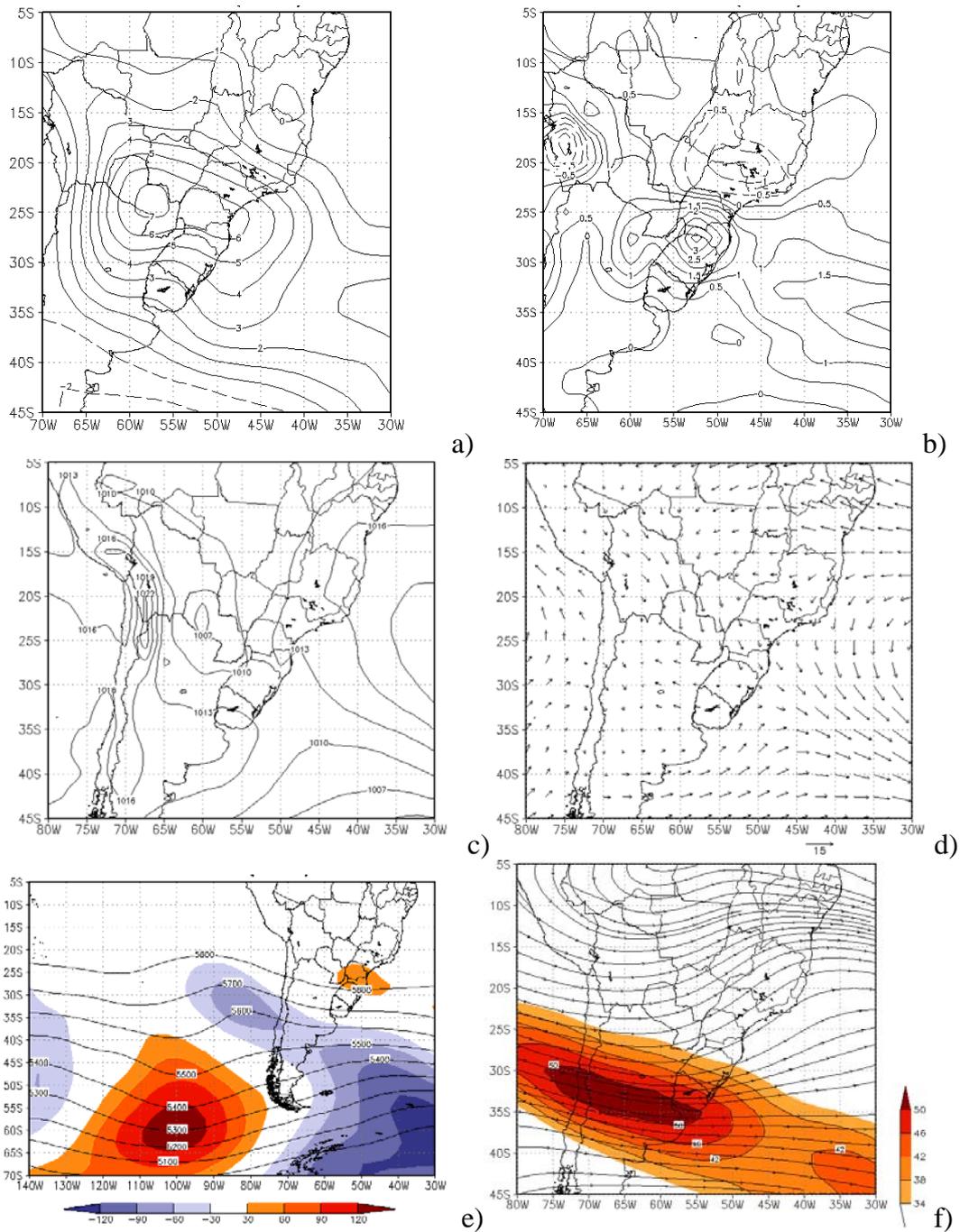


FIGURA 4.3 – Campos compostos do dia com maior anomalia térmica diária dos sete casos intensos de EMAQS: a) anomalia de temperatura do ar em 925 hPa; b) anomalia de umidade específica em 925 hPa; c) pressão ao nível médio do mar; d) vento em 925 hPa; e) geopotencial e anomalia de geopotencial em 500 hPa e f) linhas de corrente em 250 hPa.

CAPÍTULO 5

ESTUDOS DE CASOS DE EMAQS

Este Capítulo apresenta um estudo sinótico das condições atmosféricas associadas à estrutura de EMAQS nas fases de formação, manutenção e dissipação. Foram realizados dois estudos de casos de EMAQS na região central do Brasil. O primeiro caso, que ocorreu entre os dias 01 e 15 de junho de 2002, foi um estudo pioneiro deste fenômeno, na região central do Brasil. O segundo caso, que ocorreu entre os dias 7 e 29 de julho de 1987, teve como característica relevante a longa duração.

5.1 - 1º Estudo de Caso: 01 a 15 de junho de 2002

O evento de EMAQS ocorrido entre os dias 01 e 15 de junho de 2002 abrangeu o setor norte da Região Sul, o setor sul da Região Centro-Oeste e oeste e centro da Região Sudeste do Brasil. Um estudo preliminar foi publicado no XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia (Padilha e Satyamurty, 2004). Nos dias 13 a 15 de junho a anomalia térmica diária foi menor que $1,5^{\circ}\text{C}$, no entanto, até o dia 15, o padrão atmosférico estava associado à dissipação da EMAQS.

5.1.1 - Descrição do Evento

A Figura 5.1 apresenta as anomalias de temperatura do ar e de umidade relativa do ar, ambas na superfície, para o mês de junho de 2002. A anomalia de temperatura do ar esteve maior que $2,5^{\circ}\text{C}$ e a anomalia negativa de umidade relativa do ar esteve maior que 10% no estado de São Paulo. Destaca-se a anomalia negativa maior que 15%, próximo ao Triângulo Mineiro.

Segundo a Climanálise de junho de 2002, as Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil tiveram precipitação abaixo da média climatológica, com exceção do litoral

da Região Sudeste. Os sistemas frontais, que não se deslocaram para latitudes mais baixas, permaneceram sobre a Região Sul do Brasil por mais tempo, proporcionando aumento de chuva nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Três sistemas frontais atuaram sobre o Sul do país durante o período estudado e nenhum atingiu as demais regiões do país.

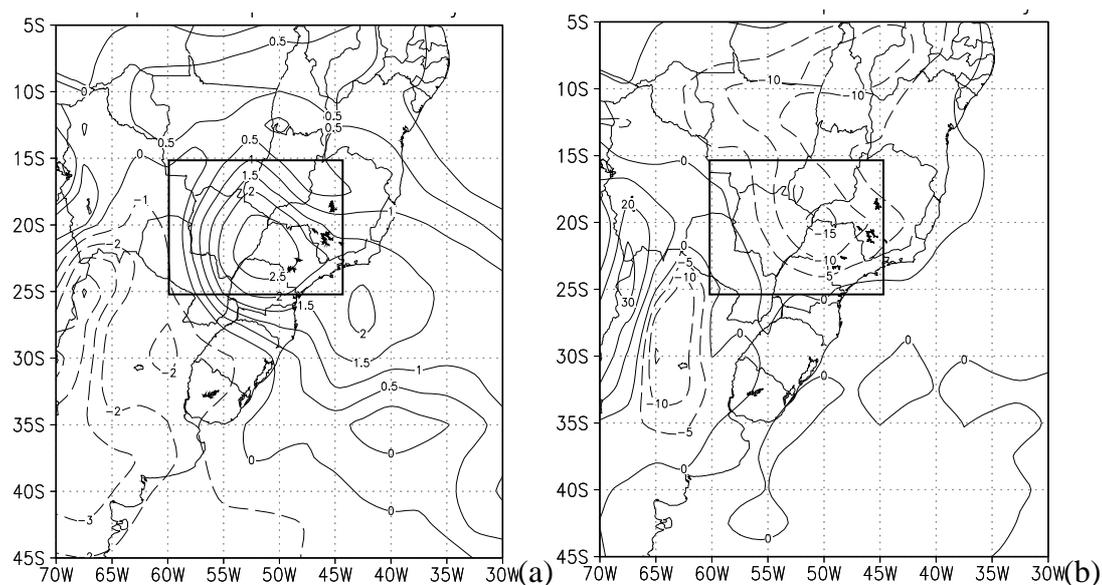


FIGURA 5.1 – Anomalia de (a) Temperatura do ar em superfície (°C) e (b) Umidade relativa do ar em superfície (%) para o mês de junho de 2002.

As Figuras 5.2 e 5.3 mostram as temperaturas do ar medidas em estações meteorológicas de superfície para algumas cidades da região central do Brasil. Em geral, especialmente nas estações localizadas a sul de 20°S (Figura 5.2), existe um aumento de temperatura do ar que ocorre do dia 25 de maio até o dia 2 de junho de 2002, seguido de estabilização da temperatura do ar e declínio a partir do dia 13 de junho. Nas estações a norte de 20°S (Figura 5.3), há um aumento da temperatura do ar nos dias anteriores ao início da EMAQS, embora a queda ocorra após o dia 16 de junho de 2002.

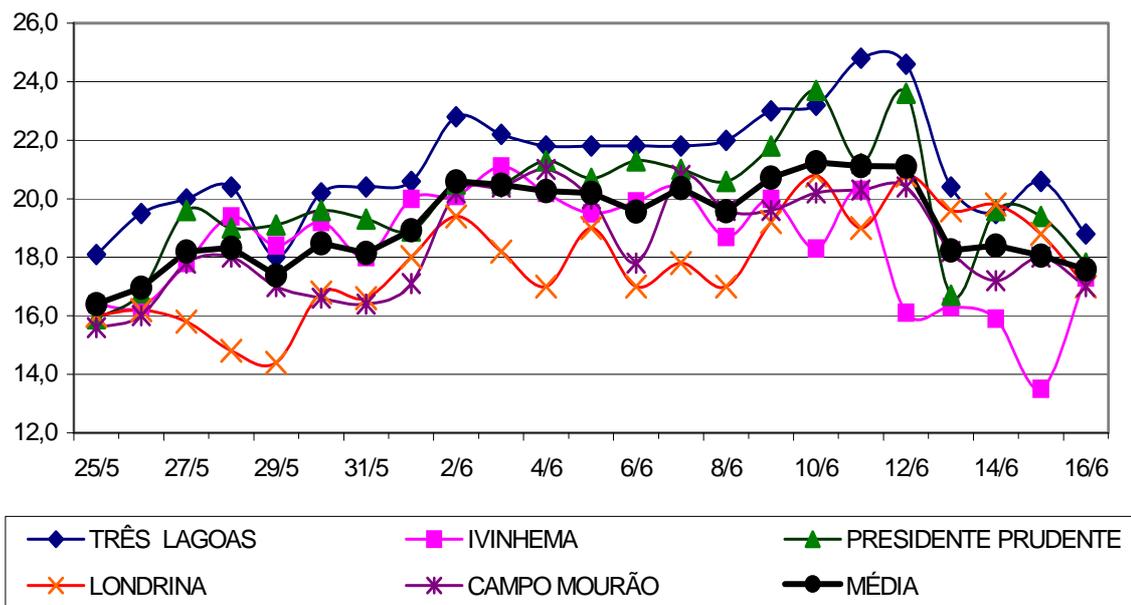


FIGURA 5.2 - Temperatura do ar em superfície (°C), às 12 TMG, durante a EMAQS de junho de 2002, para as cidades de Três Lagoas, Ivinhema, Presidente Prudente, Londrina, Campo Mourão e a média das 5 cidades (localização, ver Tabela 3.1 e Figura 3.5).

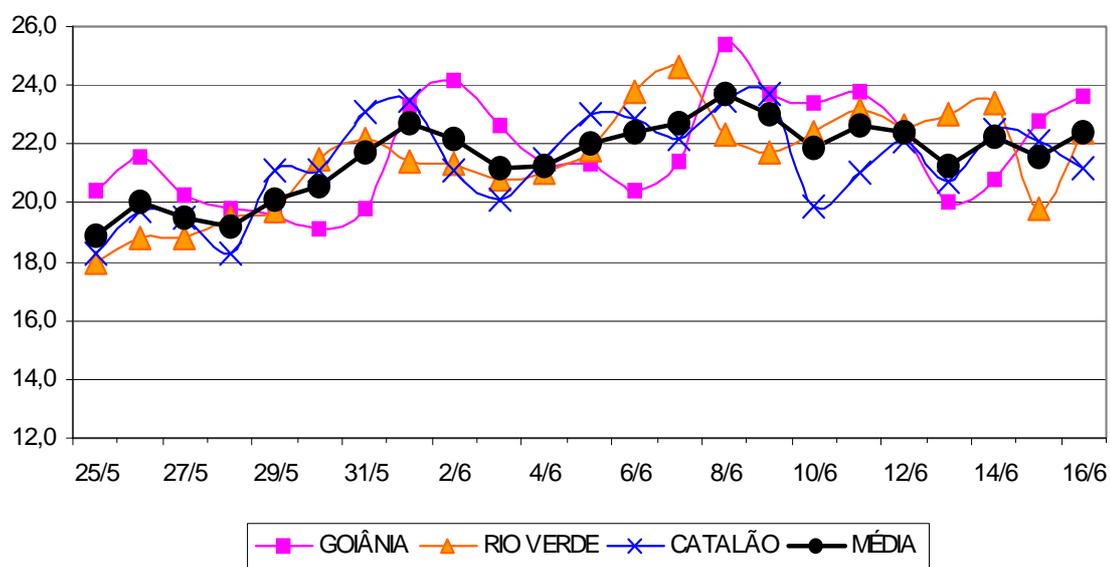
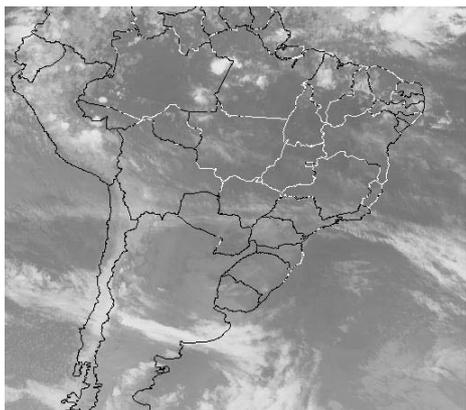


FIGURA 5.3 – Temperatura do ar em superfície (°C), às 12 TMG, durante a EMAQS de junho de 2002, para as cidades de Goiânia, Rio Verde e Catalão e a média das 3 cidades (localização, ver Tabela 3.1 e Figura 3.5).

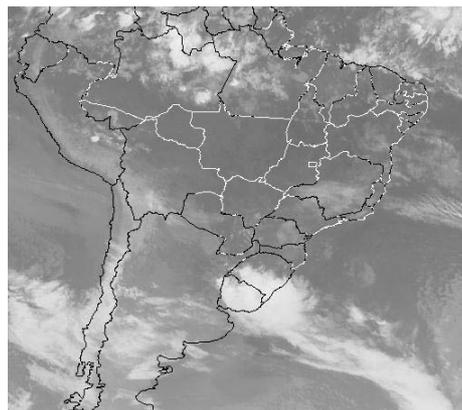
Conforme mostrado na seqüência de imagens de satélite (Figura 5.4), no primeiro dia de EMAQS, observa-se nebulosidade sobre São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná, que está associada a última frente que atuou sobre o Brasil no mês de maio. Neste dia, a frente estava em dissipação sobre o Oceano Atlântico. Nos dias seguintes, verifica-se pouca nebulosidade associada a sistemas frontais sobre a região central do Brasil. Por outro lado, no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina as frentes foram muito intensas. Destaca-se a imagem do dia 10 (Figura 5.4d), em que uma frente atingiu o litoral da Região Sudeste, porém sem provocar precipitação e diminuição de temperatura do ar na região central do Brasil, naquele dia.

Foram analisados os campos diários de temperatura média do ar em superfície para cada dia do evento e observou-se que em todos os dias os valores estiveram pelo menos 2°C acima da média climatológica, em parte da região central do Brasil. No campo médio de anomalia de temperatura do ar para os 15 dias de evento (Figura 5.5a), observam-se valores superiores a 4°C em São Paulo e norte do estado do Paraná. Além disso, a anomalia de umidade relativa do ar média para os 15 dias (Figura 5.5b) esteve 15% abaixo da média climatológica na região de estudo.

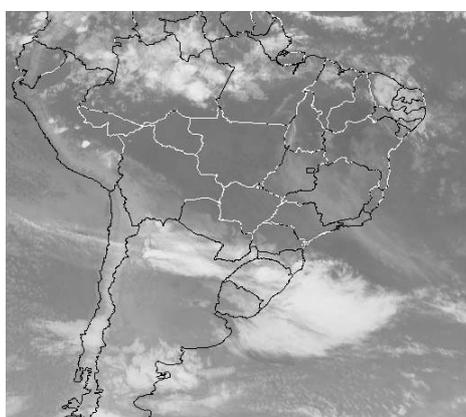
A diminuição da umidade relativa do ar está diretamente relacionada ao aumento da temperatura do ar, já que esta medida de umidade é função da quantidade de vapor d'água e da temperatura do ar (Iribarne, 1985; Varejão-Silva, 2000). Como durante o inverno as Regiões Centro-Oeste e Sudeste apresentam pouca quantidade de vapor d'água na baixa troposfera (Rao et. al, 1996; Gan et. al, 2004), o aumento da temperatura do ar contribui ainda mais para o declínio da umidade relativa do ar.



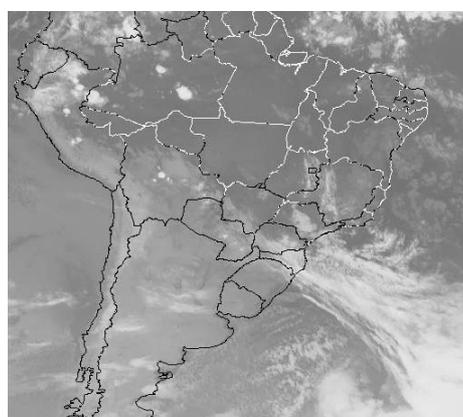
(a) 01/06/2002 as 12:09 TMG



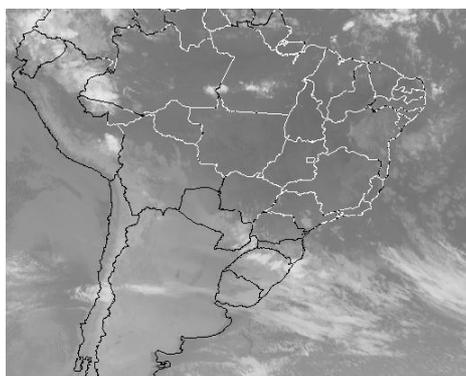
(b) 02/06/2002 as 12:09 TMG



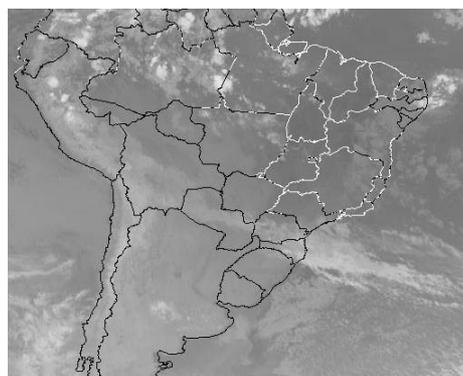
(c) 07/06/2002 as 12:09 TMG



(d) 10/06/2002 as 11:09 TMG



(e) 11/06/2002 as 12:09 TMG



(f) 15/06/2002 as 12:09 TMG

FIGURA 5.4 – Imagens do Satélite GOES-8 no canal infravermelho, por volta de 12 TMG, para alguns dias de EMAQS no mês de junho de 2002.

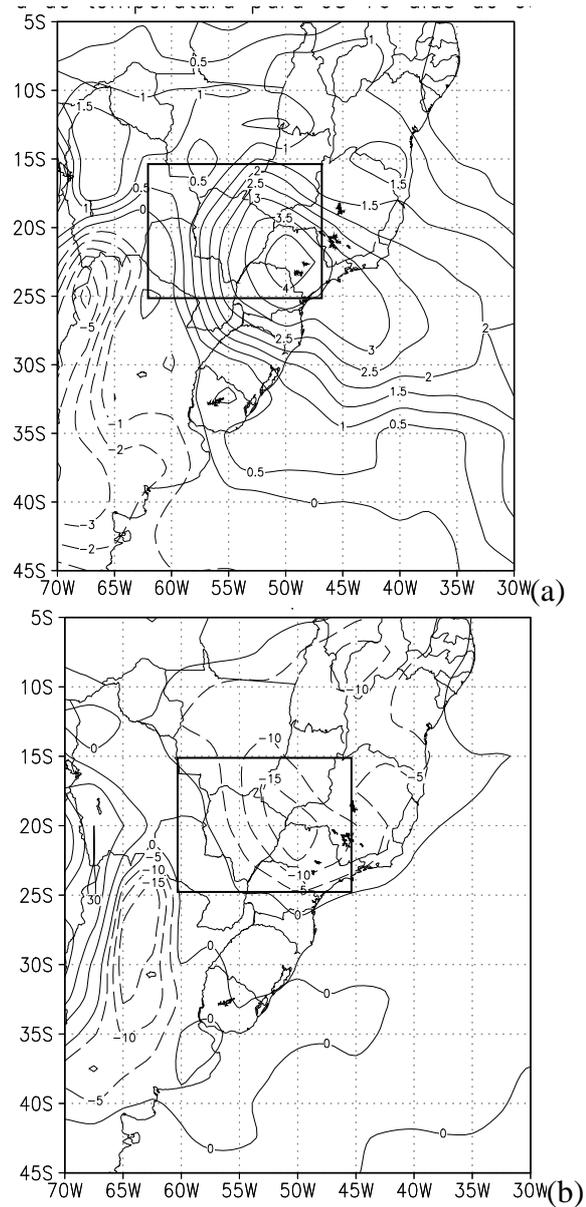


FIGURA 5.5 – Campo de (a) anomalia média de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e (b) anomalia média de umidade relativa do ar (%), na superfície, para os 15 dias de EMAQS de junho de 2002.

5.1.2 - Descrição Sinótica

A Figura 5.6 apresenta a posição da isolinha de temperatura potencial igual a 300 K, em 925 hPa, durante a EMAQS sobre a região central. Os campos mostram, de forma simplificada, a incursão da massa de ar quente para sul nos dias de EMAQS. Observa-se que, a partir do dia 3 (Figura 5.6a), a isolinha de 300 K encontra-se bem a sul da região central do Brasil. A Figura 5.6b mostra que nos dias seguintes não ocorreu mudança significativa no campo de temperatura potencial, o que evidencia a situação de manutenção da massa de ar quente sobre a região central. A dissipação da situação de EMAQS ocorreu após o dia 12 (Figura 5.6c), gradualmente até o dia 15, quando uma massa de ar frio atingiu a região.

A tendência de temperatura do ar (TT) em superfície para alguns dias de EMAQS é mostrada na Figura 5.7. A incursão de massa de ar quente sobre a região subtropical da AS, na fase de formação da EMAQS (Figuras 5.7a e 5.7b), é evidenciada, devido a TT positiva em superfície, entre 15°S e 40°S. Na fase de manutenção (Figuras 5.7c e 5.7d), em latitudes a sul de 25°S, a TT em superfície é negativa no dia 08 e no dia 09 torna-se negativa. No entanto a região central do Brasil apresentou TT aproximadamente nula nestes dias. A dissipação gradual (Figura 5.7e e 5.7f) é verificada nos campos de TT em superfície.

Os campos de temperatura do ar e umidade relativa do ar auxiliaram na identificação da massa de ar quente e seco que atuou na região central. Para descrever a situação sinótica associada a EMAQS e sua evolução, foram analisados campos de linhas de corrente em 925 hPa e 200 hPa, campos de pressão ao nível médio do mar e campos de altura geopotencial e anomalia de altura geopotencial em 500 hPa.

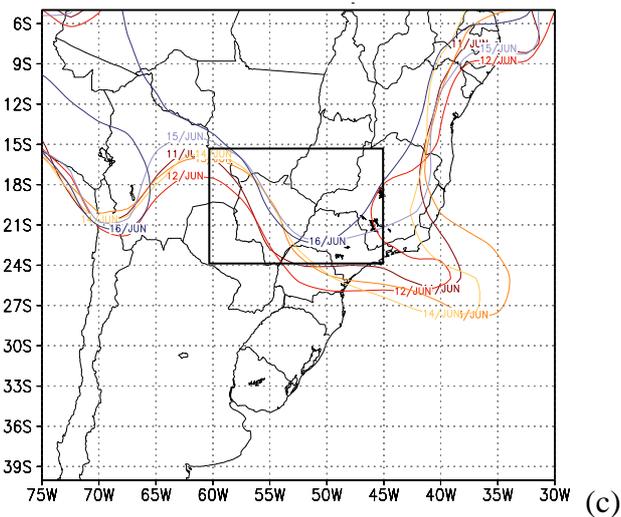
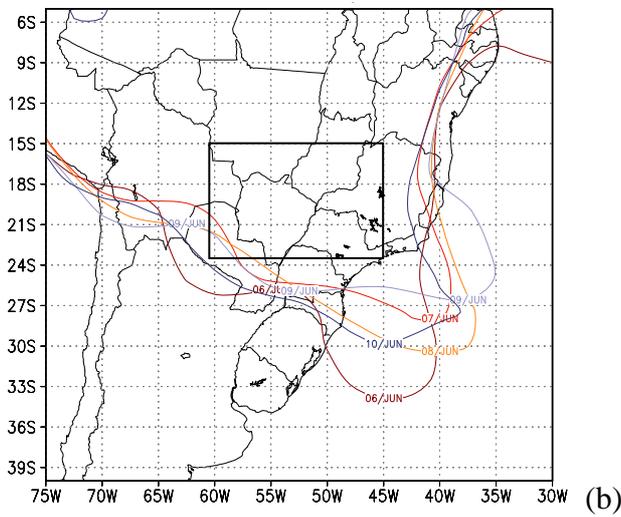
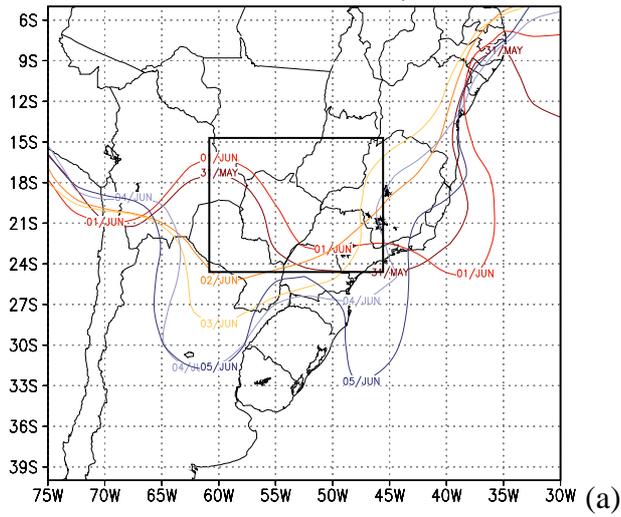


FIGURA 5.6 – Temperatura potencial em 925 hPa, linha de $\theta = 300$ K, para: a) 31 de maio a 5 de junho de 2002; b) 6 a 10 de junho de 2002 e c) 11 a 16 de junho de 2002. As datas estão marcadas nas isolinhas.

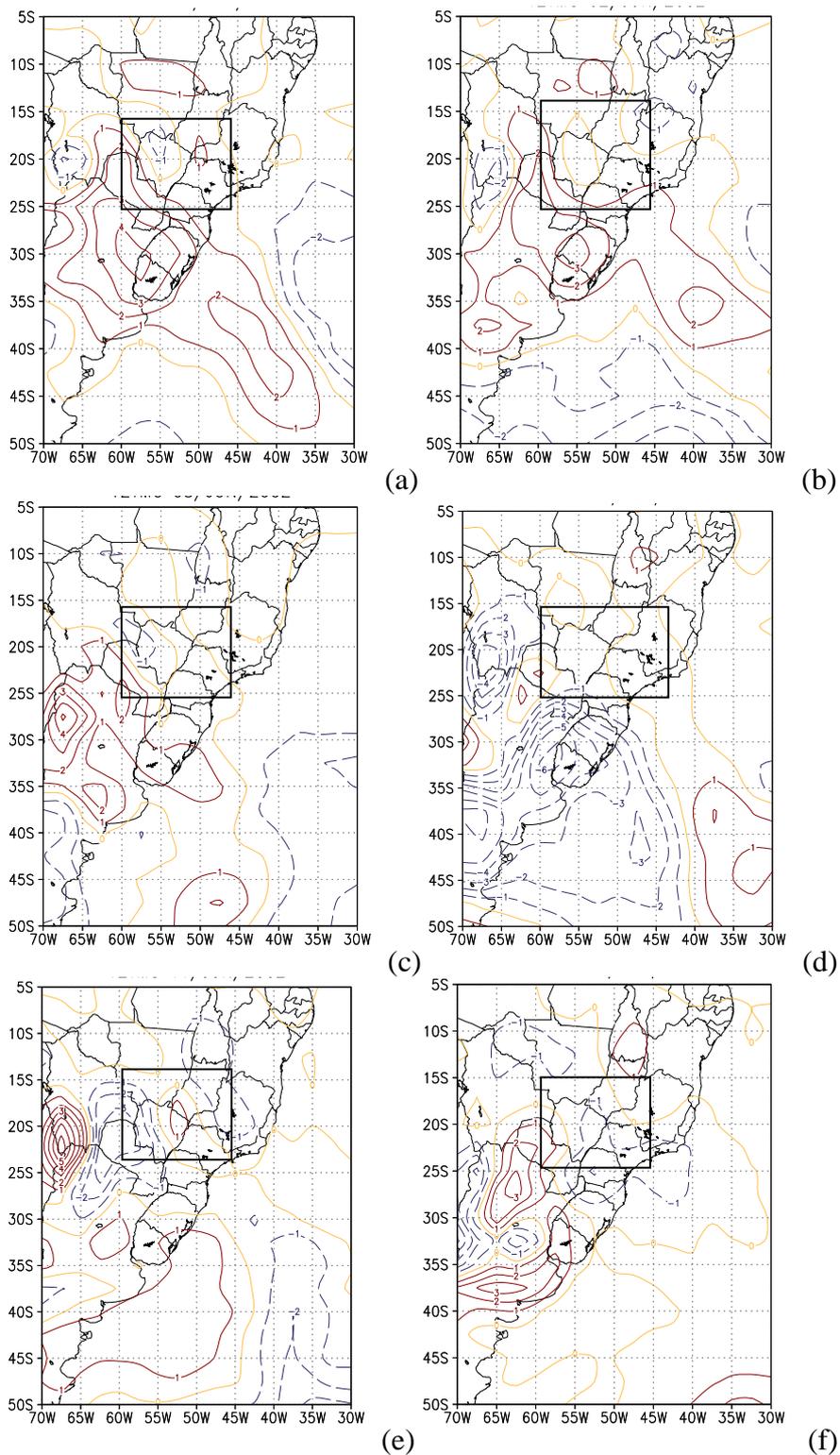


FIGURA 5.7 – Tendência de temperatura do ar em superfície (K/dia), para: a) 01/06/2002; b) 02/06/2002; c) 08/06/2002; d) 09/06/2002; e) 11/06/2002; f) 13/06/2002, todas as figuras as 12:00 TMG, em intervalo de 1 K/dia.

A Figura 5.8 mostra os campos de pressão ao nível médio do mar para alguns dias do evento de EMAQS sobre a região central. Do dia 01 até o dia 05 de junho de 2002, a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) aproximou-se do continente sul-americano (Figura 5.8a e 5.8b) e as isóbaras apresentaram orientação meridional entre 20°S e 25°S. Nos dias 6 (Figura 5.8c) e 10 (Figura 5.8d), observam-se dois cavados sobre a Região Sul associados a sistemas de baixa pressão, que não atingiram o Sudeste do país. Após a passagem do sistema mostrado no dia 10, um anticiclone permaneceu sobre a Região Sul do Brasil até o dia 15 (Figura 5.8f), quando a temperatura começou a diminuir sobre o Brasil central. O avanço da ASAS sobre o continente sul-americano é uma característica relevante para a formação e a manutenção da EMAQS. Esse padrão atmosférico verificado ao nível médio do mar, durante o evento de EMAQS, concorda com as características atmosféricas associadas a frentes que não avançaram sobre a Região Sudeste do Brasil, as quais foram estudadas por Andrade (2005).

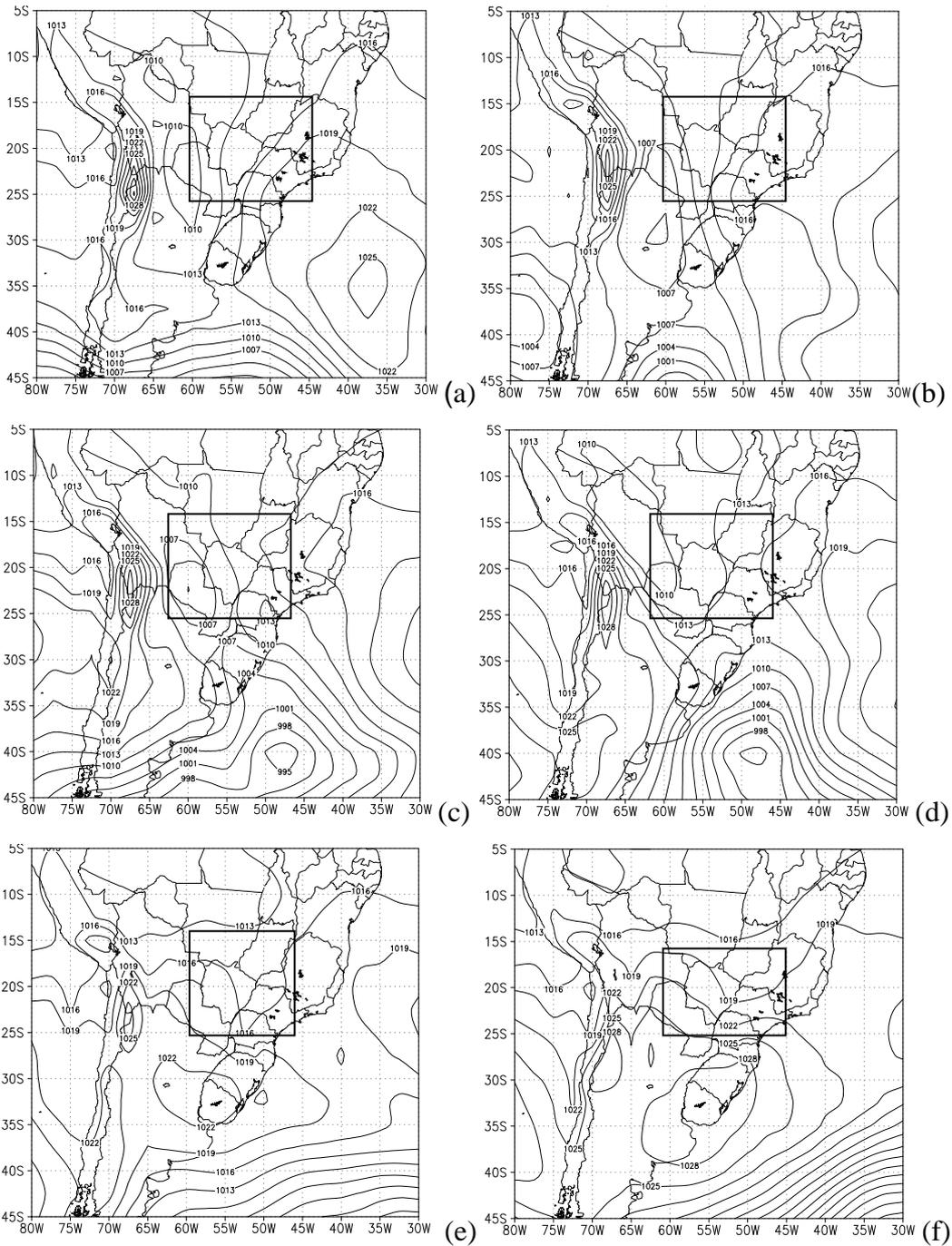


FIGURA 5.8 – Campos de pressão ao nível médio do mar para alguns dias de EMAQS: (a) 2/06/2002, 00 TMG, (b) 4/06/2002, 00 TMG, (c) 6/06/2002, 00 TMG, (d) 10/06/2002, 00 TMG, (e) 13/06/2002, 00 TMG, (f) 15/06/2002, 00 TMG.

No campo do vento em 925 hPa (Figura 5.9), observa-se que, a oeste da região central do Brasil, o escoamento é de norte e intenso na primeira semana (Figuras 5.9a, 5.9b, 5.9c), o que contribuiu para a advecção meridional de calor, dos trópicos em direção ao sul do país. Nos dias seguintes (Figura 5.9d), a intensidade do vento diminuiu a oeste da região central do Brasil e a partir do dia 13 (Figura 5.9e) já apresentou uma fraca componente de sul. No dia 15 (Figura 5.9f), observam-se ventos de sudeste sobre São Paulo e Paraná e escoamento do ar de sul, sobre o Mato Grosso do Sul, devido à entrada do anticiclone de latitudes extratropicais, o que possibilitou a diminuição da temperatura do ar, na baixa troposfera, na região da EMAQS.

Com o intuito de analisar as ondas da troposfera média, foram utilizados os campos de altura geopotencial e anomalia de altura geopotencial em 500 hPa para os dias de EMAQS. Entre os dias 01 e 06 de junho de 2002 (Figura 5.10a e 5.10b), verifica-se uma alta de bloqueio, do tipo ômega invertido, na longitude de 110°W. A partir do dia 06 (Figura 5.10c, para o dia 7), um cavado, acompanhado de anomalia negativa de altura geopotencial deslocou-se, lentamente, para leste, em latitudes a sul de 35°S sobre a AS até o dia 10 de junho (Figura 5.10d). Acompanhando a região de anomalia negativa de geopotencial, verifica-se que a velocidade de fase da onda foi de 4° de longitude por dia. Segundo Satyamurty et al (2002), em situações de passagem de frentes e friagens sobre a AS, a velocidade de fase das ondas sinóticas é de 10° de longitude por dia. Portanto, observou-se que durante este episódio de EMAQS, a velocidade de propagação das ondas sinóticas foi muito lenta. Nos dias 8 a 12 de junho (Figura 5.10d), o bloqueio em 110°W, esteve com configuração do tipo dipolo e no dia 13 (Figura 5.10e), a anomalia positiva de geopotencial, que acompanha a alta de bloqueio, começou a se deslocar para leste, atingindo o sul da AS, no dia 14 de junho de 2002. Verificou-se que o término da situação de bloqueio no Oceano Pacífico coincidiu com a fase de dissipação do evento de EMAQS sobre a região central do Brasil.

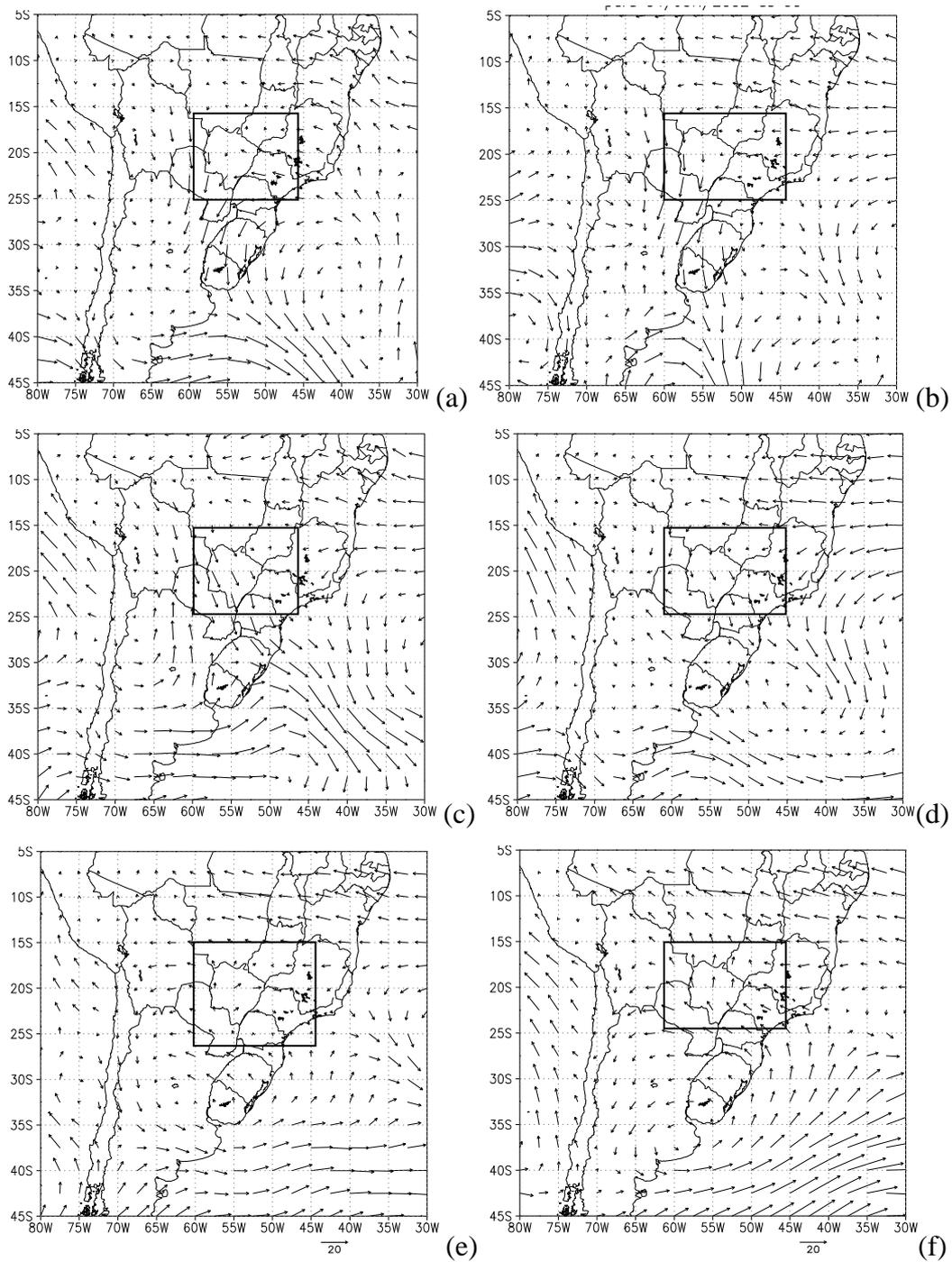


FIGURA 5.9 – Campos de vento (m s^{-1}) em 925 hPa para alguns dias de EMAQS: (a) para 2/06/2002, 00 TMG, (b) para 4/06/2002, 00 TMG, (c) para 6/06/2002, 00 TMG, (d) para 8/06/2002, 00 TMG, (e) para 13/06/2002, 00 TMG e (f) para 15/06/2002, 00 TMG.

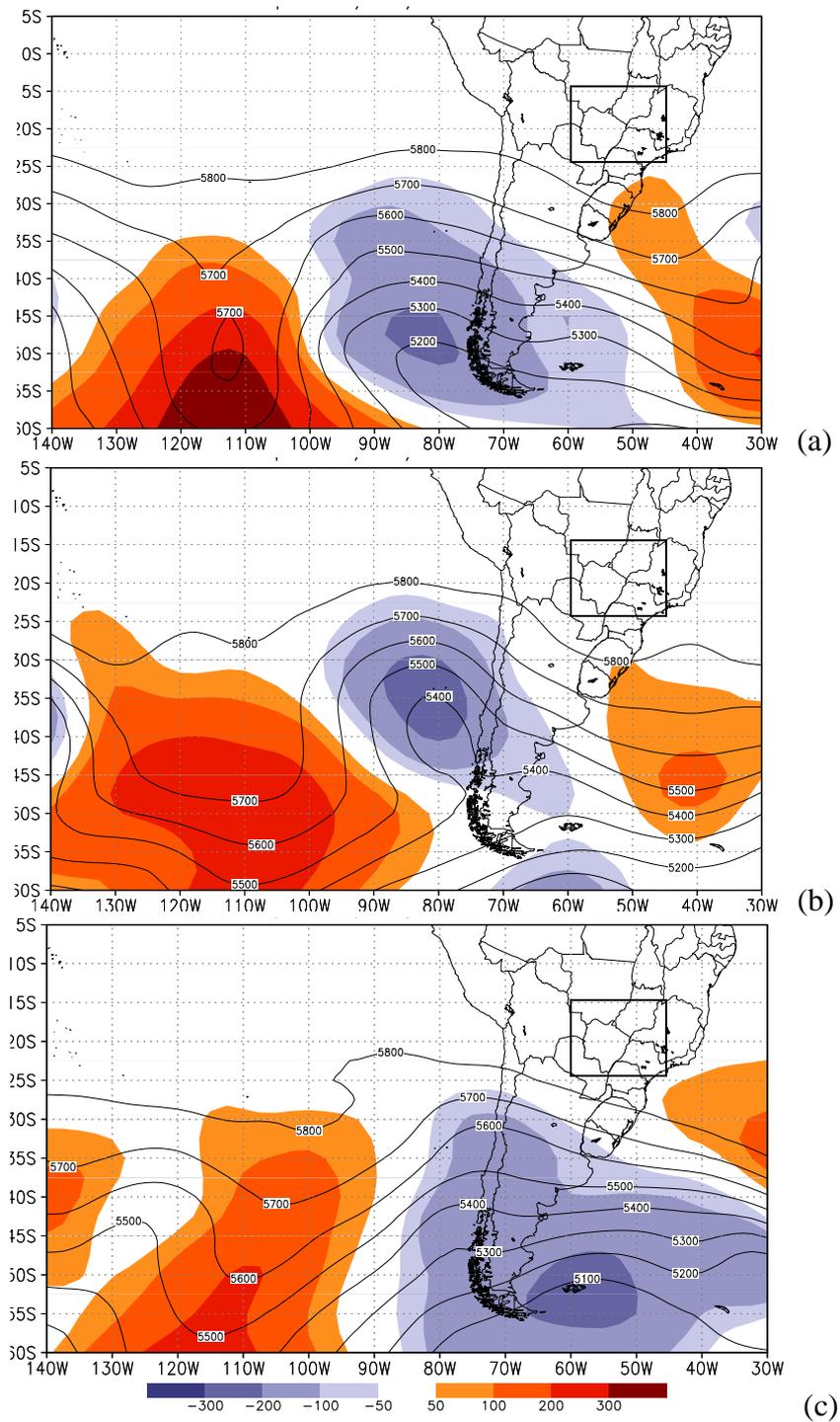


FIGURA 5.10 – Campos de altura geopotencial (m_{gp}) e anomalia de altura geopotencial (m_{gp}) em 500 hPa para os dias: a) 2/06/2002, 00TMG; b) 4/06/2002, 00TMG; c) 7/06/2002, 00TMG; d) 10/06/2002, 00TMG; e) 13/06/2002, 00TMG; f) 15/06/2002, 00TMG.

(Continua)

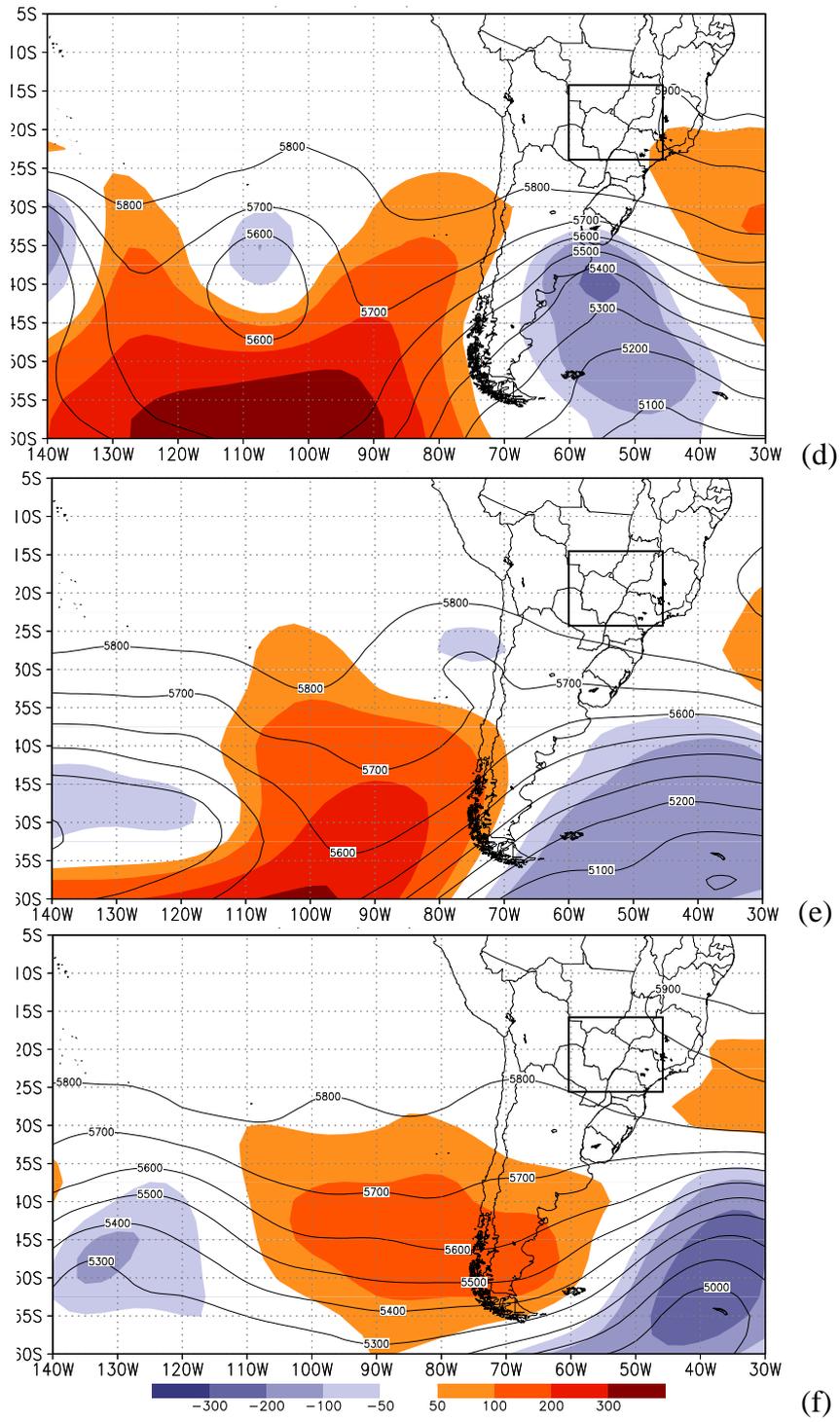


FIGURA 5.10 – (Conclusão).

Analisando os campos de linhas de corrente em 200 hPa (Figura 5.11), observa-se que a corrente de jato subtropical (contorno de isotacas acima de 45 m s^{-1}) nas fases de formação e manutenção (Figura 5.11a, 5.11b e 5.11c) teve orientação noroeste-sudeste ou praticamente zonal sobre o continente sul americano. Este fato desfavoreceu a entrada de sistemas frontais e massas de ar frio para latitudes próximas a 20°S , uma vez que os sistemas frontais que estão sobre o Uruguai e Região Sul, não recebem suporte em altos níveis para progredirem em direção a Região Sudeste do Brasil (Inazawa e Ambrizzi, 1996).

Outro aspecto que se destaca é a presença de uma circulação anticiclônica em torno de 10°S sobre o continente sul-americano, no período de formação e manutenção da EMAQS. Este padrão é típico de verão no Hemisfério Sul (Gan et al, 2004). A presença desta estrutura nos meses de inverno não é muito estudada em textos científicos. Possivelmente, o escoamento adquiriu esta configuração devido ao aquecimento em superfície e na baixa troposfera.

Segundo a Climanálise (2002), no dia 7 a corrente de jato subtropical atingiu a maior intensidade do mês, com magnitude superior a 70 m s^{-1} na parte central da América do Sul. Neste dia, foram registradas precipitações maiores que 50 mm no sudoeste da Região Sul do país. Devido à circulação transversal indireta na saída do núcleo do jato (Holton, 1992), foi gerado movimento ascendente do ar no sul da Região Sul do Brasil e no Uruguai, o qual, provavelmente, foi compensado pela subsidência sobre as Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Este movimento também pode ter contribuído para o aquecimento do ar, na baixa troposfera, sobre a região central do Brasil.

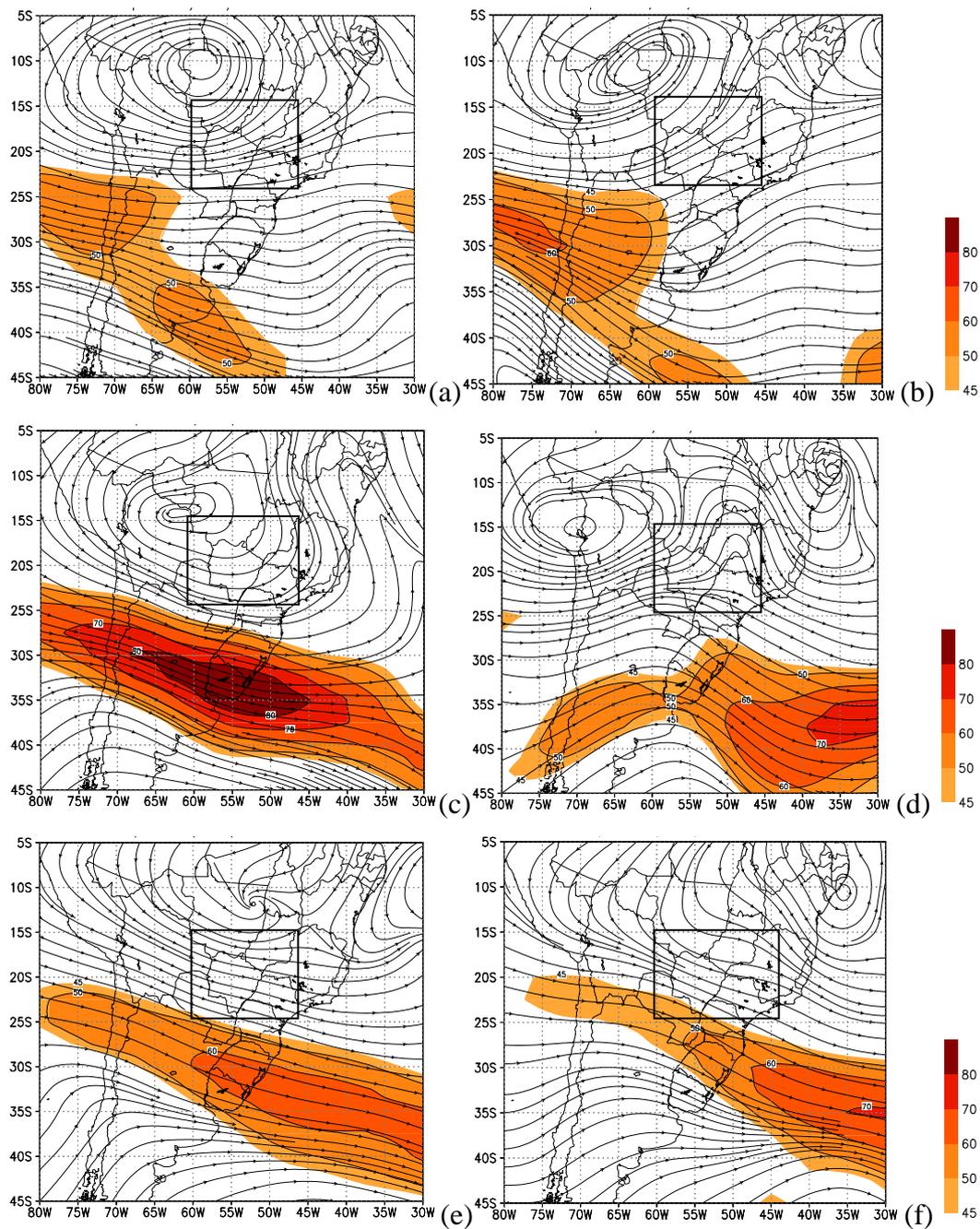


FIGURA 5.11 – Campos de linha de corrente em 200 hPa e isotacas acima de 45 ms^{-1} para: (a) 2/06/2002, 00 TMG; (b) 4/06/2002, 00 TMG; (c) 7/06/2002, 00 TMG; (d) 10/06/2002, 00 TMG; (e) 13/06/2002, 00 TMG e (f) 15/06/2002, 00 TMG.

Pezza e Ambrizzi (1999) encontraram um padrão atmosférico em altos níveis (Figura 2.1a) semelhante à Figura 5.11, durante o mês de agosto de 1995, quando ocorreram dois casos de EMAQS, totalizando 19 dias. No campo de anomalia de vento em 1000 hPa (Figura 2.1b), os autores verificaram anomalias de norte bastante intensas, a oeste da região central do Brasil, canalizando um fluxo de ar quente desde o oeste da Amazônia até a Região Sul. No campo de anomalia de pressão, para o mês de agosto de 1995, a ASAS projetou uma crista anômala sobre o continente sul-americano. Estes campos concordaram com o caso estudado neste item.

5.2 - 2º Estudo de Caso: 7 a 29 de julho de 1987

A motivação para a realização deste estudo de caso foi o período de duração (23 dias), a intensidade da anomalia térmica mensal de julho de 1987 (maior dentre todos os casos de 2003 a 1985), e a estrutura de EMAQS composta, que apresenta dois picos de alta temperatura.

5.2.1 - Descrição do Evento

A Figura 5.12 mostra a anomalia mensal de temperatura do ar e umidade relativa do ar, em superfície, para o mês de julho de 1987. Observa-se que a anomalia positiva de temperatura do ar neste mês abrangeu toda a AS, desde latitudes tropicais até aproximadamente 45°S. Além disso, a região de maior anomalia de temperatura do ar esteve centrada sobre o Paraguai em 60°W e 23°S, em torno de 4°C. A umidade relativa apresentou anomalia negativa maior que 5% sobre a região central do Brasil.

A anomalia de temperatura do ar e de umidade relativa do ar para os 23 dias de EMAQS é mostrada na Figura 5.13. Comparando esta figura com a Figura 5.12, verifica-se que as anomalias de temperatura e umidade relativa durante a EMAQS foram ainda maiores que a anomalia mensal. Sobre o Paraguai, a anomalia de temperatura esteve em torno de 5,5°C. Na região central do Brasil, a anomalia

negativa de umidade relativa esteve em torno de 10%. Estes dois campos, vistos na Figura 5.13 mostraram que além da longa duração, este caso se destacou pela intensidade. Destaca-se também que o centro de maior intensidade está deslocado em torno de 10° de longitude para oeste, em relação ao primeiro caso.

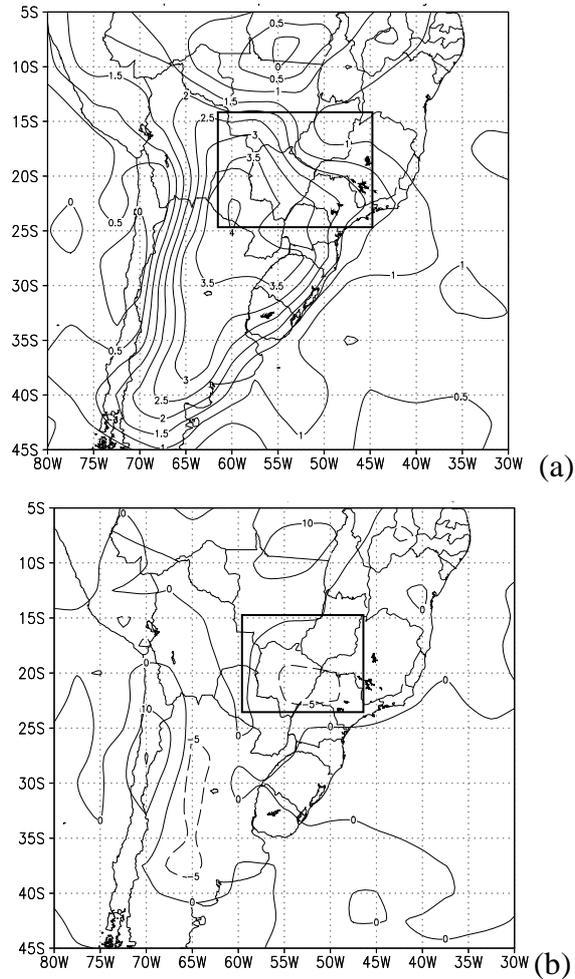


FIGURA 5.12 – Anomalia de: (a) temperatura do ar (°C) e (b) umidade relativa do ar (%) em superfície, para o mês de julho de 1987.

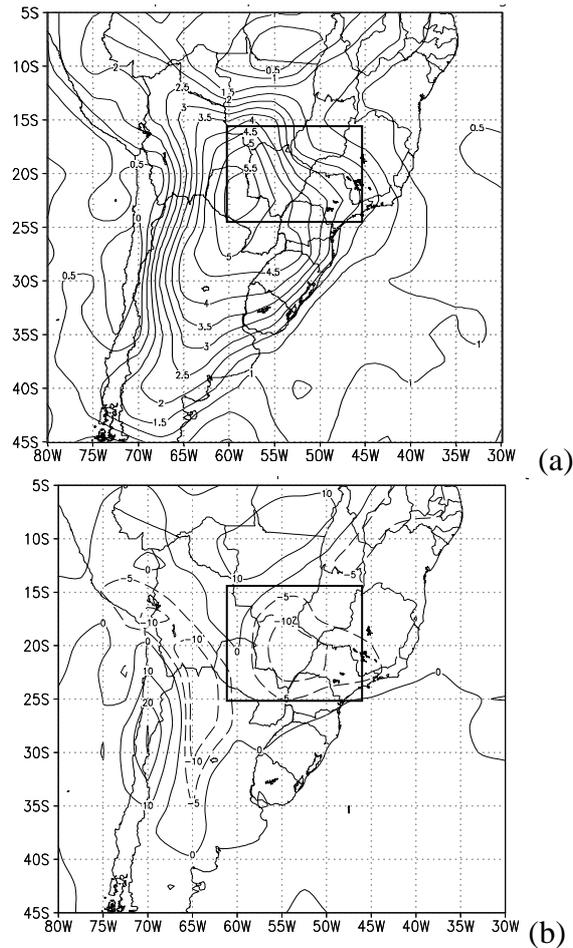
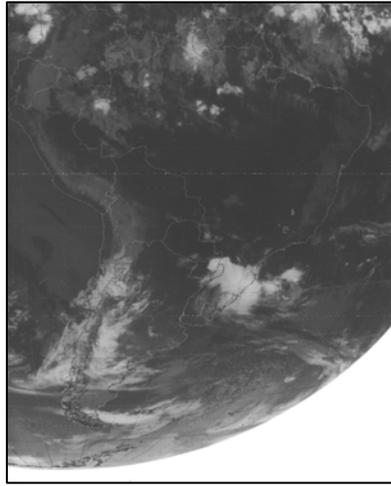
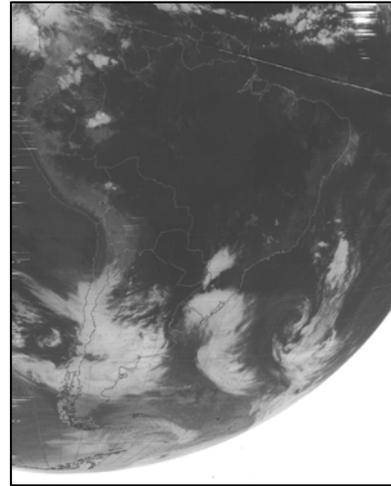


FIGURA 5.13 – Anomalia de: (a) temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e (b) umidade relativa do ar, em superfície, para os 23 dias de EMAQS.

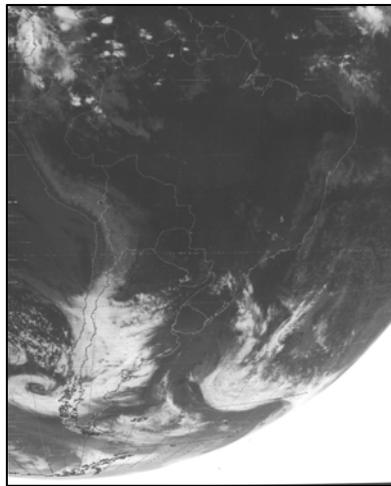
A Figura 5.4 mostra as imagens do satélite GOES, às 12 TMG, para alguns dias da EMAQS. Observa-se que na região central do Brasil não há nebulosidade associada a frentes, no período de EMAQS. No último dia (Figura 5.14f), o deslocamento para norte do sistema frontal que estava no dia 29 de julho sobre a Região Sul do Brasil e norte da Argentina causou a dissipação da EMAQS. A nebulosidade associada a esta frente evidencia a presença de um forte gradiente de temperatura entre a massa de ar quente e a massa de ar frio de origem extratropical.



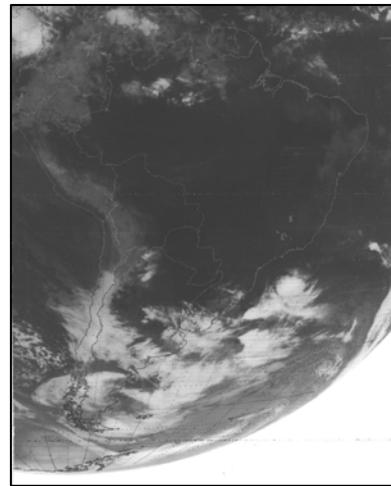
(a)



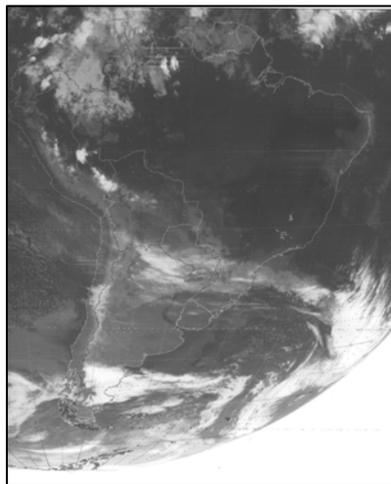
(b)



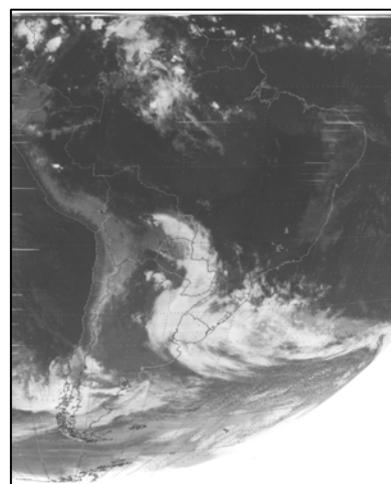
(c)



(d)



(e)



(f)

FIGURA 5.14 – Imagens do satélite GOES 7 no canal infravermelho para alguns dias de EMAQS: (a) 07/07/87; (b) 11/07/87; (c) 15/07/87; (d) 19/07/87; (e) 24/07/87 e (f) 29/07/87, as 12 TMG.

5.2.1 - Descrição Sinótica

A Figura 5.15 apresenta as isolinhas de temperatura potencial igual a 300 K em 925 hPa, nos dias de EMAQS. Entre os dias 06 e 10 de julho de 1987 (Figura 5.15a), a situação de EMAQS estava em sua fase de formação. Do dia 11 até o dia 15 (Figura 5.15b) a isoterma de temperatura potencial igual a 300 K não mudou muito de posição e a EMAQS estava na fase de manutenção. A partir do dia 17 (Figura 5.15c), houve um deslocamento para norte da isolinha de $\theta = 300$ K que permaneceu até o dia 21. Entre os dias 22 e 26 a situação de EMAQS se intensificou e, do dia 27 até o dia 29, a EMAQS apresentou uma segunda fase de manutenção. Do dia 29 para o dia 30, a incursão de uma massa de ar fria possibilitou a dissipação da EMAQS (Figura 5.15e). Nestes campos, observa-se a evolução da EMAQS composta, com diminuição de temperatura potencial em 925 hPa, entre os dias 17 e 21 de julho de 1987, na região central do Brasil.

A Figura 5.16 mostra a tendência de temperatura do ar em superfície para alguns dias das três fases do evento de EMAQS. As Figuras 5.16a, 5.16b e 5.16c representam a fase de formação da EMAQS. Comparando com a fase de formação do caso de EMAQS anterior (Figura 5.7a e 5.7b), verifica-se que as variações de temperatura (TT) foram mais intensas durante o segundo caso. A fase de manutenção (Figura 5.16d) apresentou tendência aproximadamente nula, sobre a AS, em latitudes a norte de 30°S. No entanto, na fase de dissipação (Figura 5.16e e 5.16f), a TT apresentou-se fortemente negativa sobre a AS entre as latitudes de 35°S a 5°S, dissipando a EMAQS em apenas um dia.

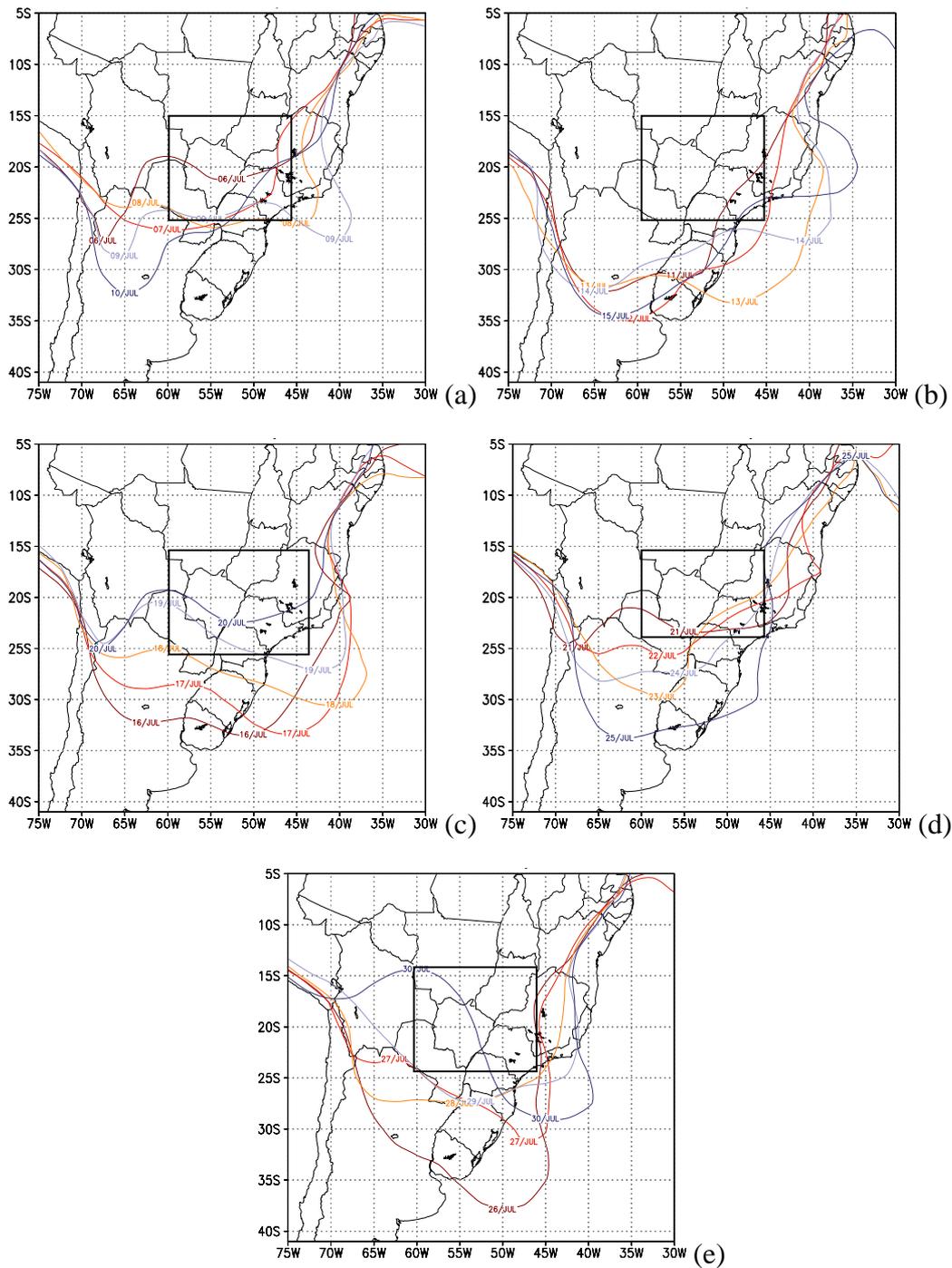


FIGURA 5.15 – Temperatura potencial em 925 hPa, isolinha de $\theta = 300$ K: a) de 6 a 10 de julho de 1987; b) de 11 a 15 de julho de 1987; c) de 16 a 20 de julho de 1987; d) de 21 a 25 de julho de 1987 e e) de 26 a 30 de julho de 1987, às 00 TMG. Cada linha representa um dia de EMAQS.

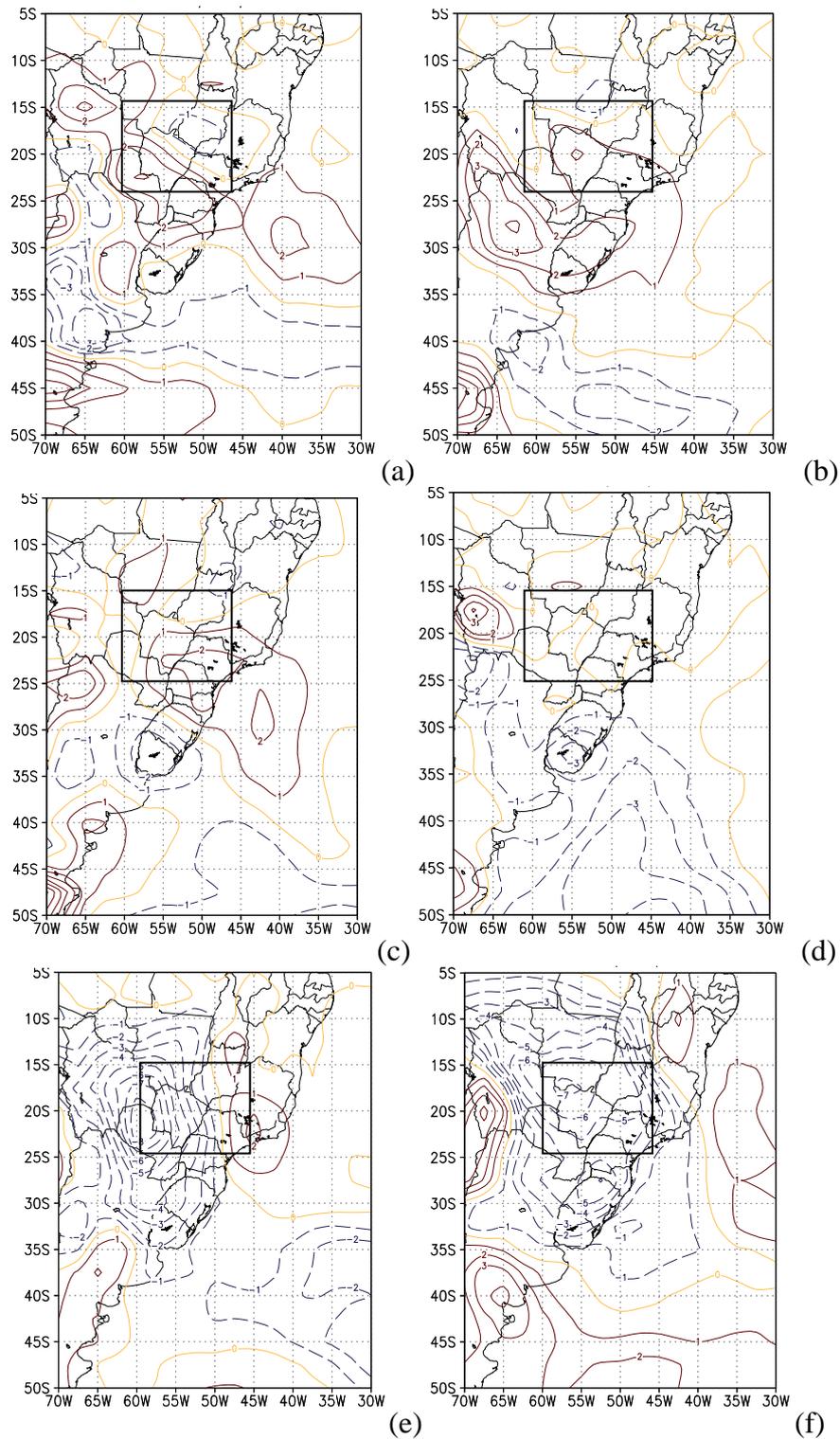


FIGURA 5.16 – Tendência de temperatura do ar em superfície (K/dia), para: a) 07/07/1987; b) 11/07/1987; c) 12/07/1987; d) 27/07/1987; e) 29/07/1987; f) 30/07/1987, todas as figuras as 12:00 TMG, em intervalos de 1 K/dia.

Os campos de pressão ao nível médio do mar, em intervalos de aproximadamente cinco dias durante o período de EMAQS, podem ser vistos na Figura 5.17. No primeiro dia (Figura 5.17a), a ASAS se aproximou do Brasil, estendendo-se desde 10°S até 35°S. No dia 8, não mostrado na figura, um cavado invertido formou-se a leste da Região Sul do Brasil, devido a intensa advecção de ar quente. Durante estes dias, o setor oeste da ASAS permaneceu sobre o Brasil. Em 13 de julho, um cavado, associado a um sistema de baixa pressão centrado em 40°S, atingiu o Paraguai e o estado do Rio Grande do Sul, no entanto, a região central do Brasil ainda estava sob influência da ASAS. De 15 a 18 de julho, os sistemas transientes propagaram-se zonalmente a sul de 40°S, sem atingir a região central do Brasil. No dia 19 (Figura 5.17d), um sistema de alta pressão cruzou a cordilheira dos Andes e se deslocou para nordeste, estando sobre a Região Sul do Brasil no dia 20, quando ocorreu um enfraquecimento da situação de EMAQS sobre a região central, com diminuição da temperatura do ar. Nos dias 22 a 26 de julho (Figura 5.17e), a temperatura do ar voltou a aumentar, devido a invasão da ASAS, que permaneceu até o dia 29 de julho (Figura 5.17f). No dia 30, um sistema de alta pressão transiente, deslocando-se sobre o continente, causou a dissipação da situação de EMAQS.

Os campos de pressão ao nível médio do mar mostraram que o avanço da ASAS esteve presente em grande parte dos dias de EMAQS, sendo que nos dias em que esta situação não aconteceu, houve uma leve diminuição da temperatura do ar. Percebe-se que tanto neste caso como no anterior, as isóbaras permaneceram no sentido meridional, sobre a região da EMAQS. Verifica-se que a pressão esteve mais alta na região central do país durante as fases de formação e manutenção da EMAQS, do que durante a fase de dissipação (dia 29 de julho de 1987).

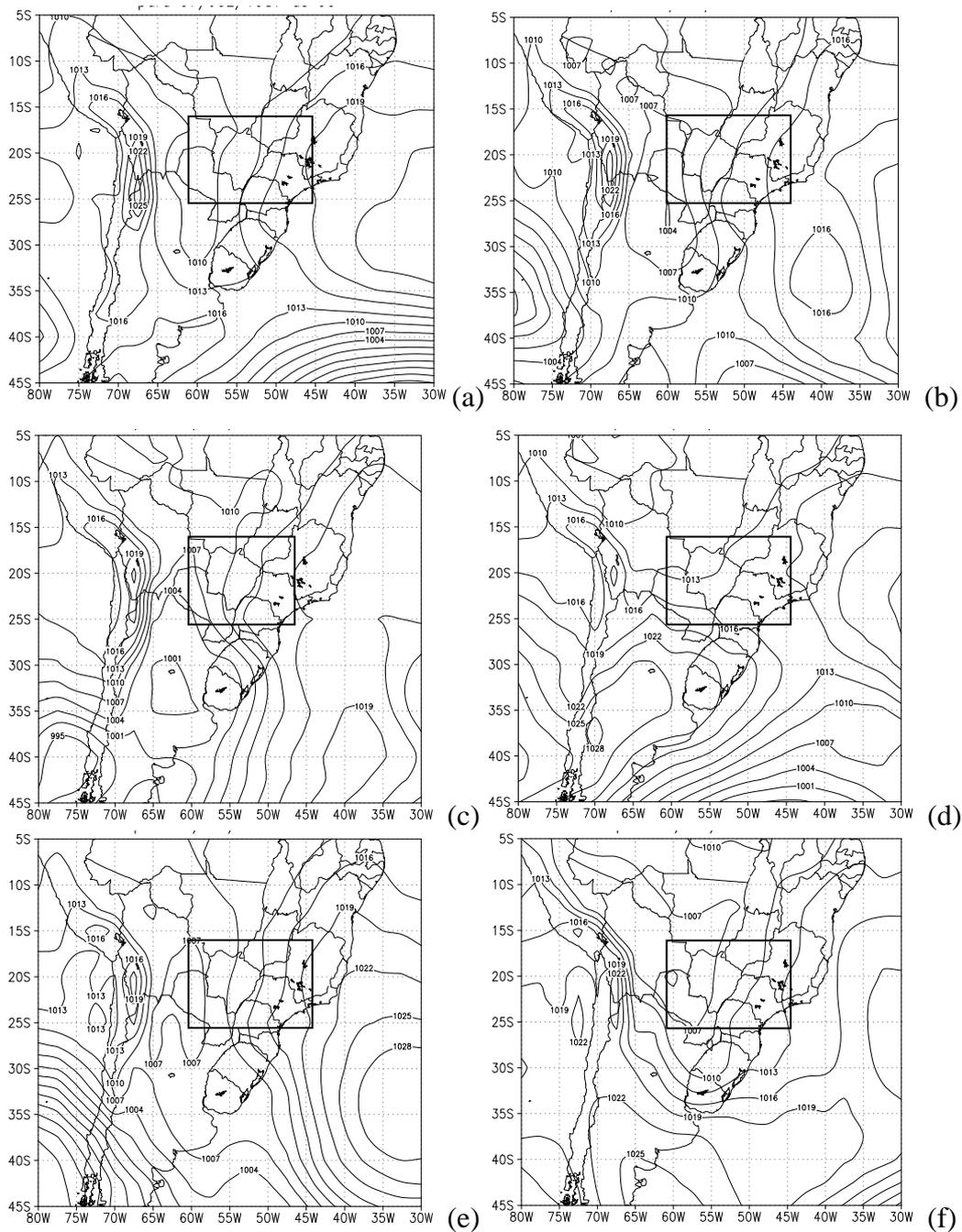


FIGURA 5.17 – Campos de pressão ao nível médio do mar para: a) 07/07/1987, as 00 TMG, b) 11/07/1987, as 00 TMG, c) 15/07/1987, as 00 TMG, d) 19/07/1987, as 00 TMG, e) 24/07/1987, as 00 TMG, f) 29/07/1987, as 00 TMG.

Nos campos de vento em 925 hPa (Figura 5.18) observou-se, no primeiro dia, ventos fortes com componente de norte sobre o Paraguai e sul do país. Nos dias 8, 9 e 10, a velocidade do vento na região central do Brasil e no Paraguai diminuiu gradativamente. Neste período houve uma leve diminuição da anomalia térmica diária, conforme mostrado na Figura 3.4.

Entre os dias 11 e 18 de julho (Figura 5.18b e 5.18c), verificou-se, novamente, ventos mais fortes sobre o Paraguai e Região Sul do Brasil, de norte ou de noroeste e fracos na região central do Brasil. No dia 19, a mudança na direção do vento ocorreu devido à passagem do anticiclone sobre a Argentina trazendo ar frio para a Região Sul do Brasil, como mostrado na Figura 5.18d. Porém, a diminuição de temperatura do ar, ocorrida na região central do país, não foi suficiente para dissipar a EMAQS. No dia 23, a situação anterior ao dia 19 voltou a se estabelecer até o dia 28. No dia 29 de julho (Figura 5.18f), fortes ventos de sul sobre o norte da Argentina, contribuíram para o resfriamento do continente. No dia 30 de julho de 1987, estes ventos fortes de sul estavam sobre o Paraguai, possibilitando a dissipação da EMAQS.

Nos campos de vento em 925 hPa, ficou claro nos dois casos que os períodos de formação e manutenção do evento ocorreram com ventos fracos na região central do Brasil e ventos de norte mais fortes sobre o Paraguai e Região Sul do Brasil. A dissipação do evento ou sua desintensificação ocorreu com ventos de sul, advectando ar frio para a região central do Brasil.

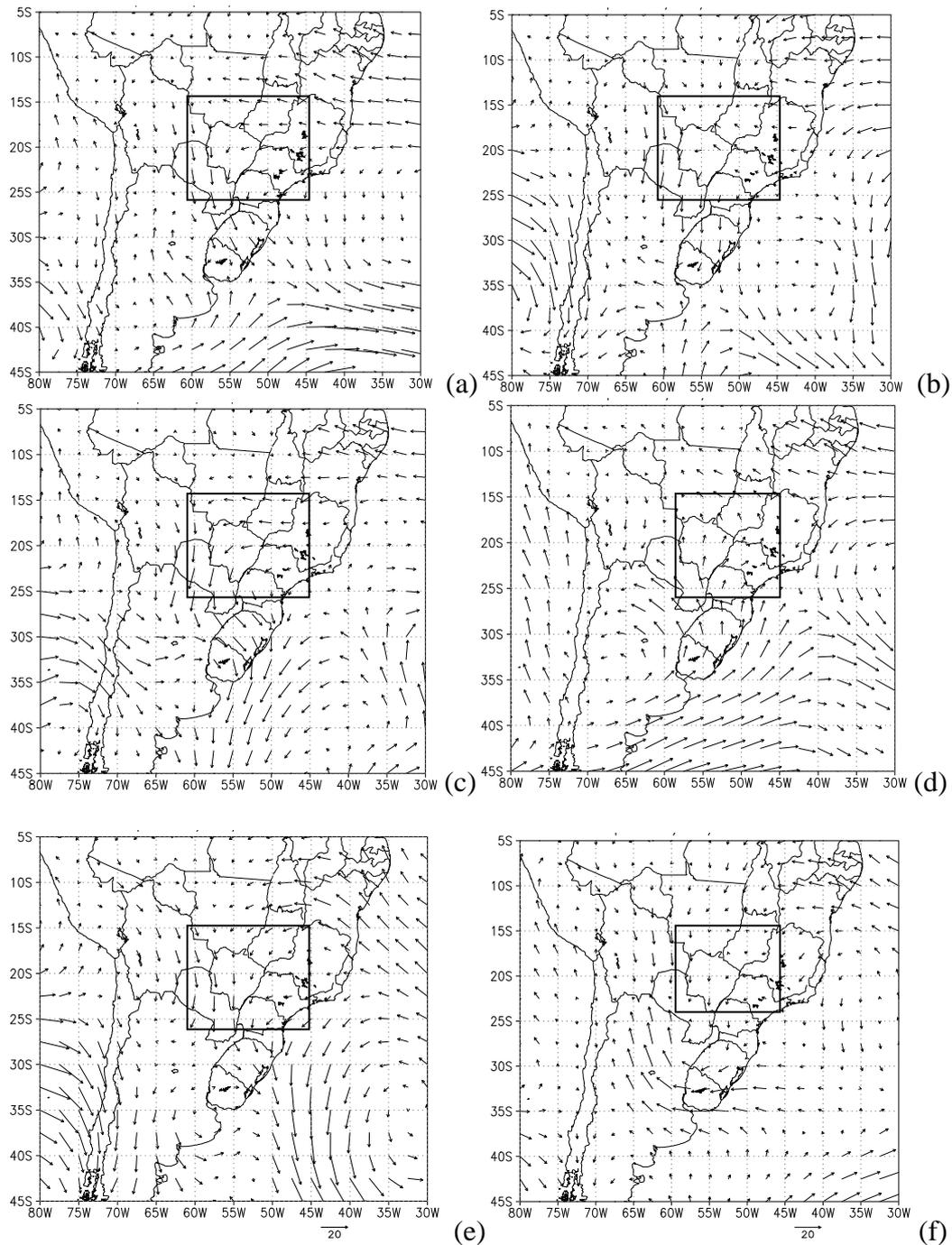


FIGURA 5.18 – Campos de vento em 925 hPa (m/s) para: a) 07/07/1987, as 0 TMG, b) 11/07/1987, as 0 TMG, c) 15/07/1987, as 0 TMG, d) 19/07/1987, as 0 TMG, e) 24/07/1987, as 0 TMG, f) 29/07/1987, as 0 TMG.

A Figura 5.19 mostra os campos de altura geopotencial em 500 hPa e anomalia de altura geopotencial. Segundo a Climanálise (1987), nos primeiros vinte e um dias do mês, um bloqueio encontrava-se sobre o Oceano Pacífico Sul. Na figura 5.19a, 5.19b, 5.19c e 5.19d, observa-se a alta de bloqueio, que se formou em 120°W, sobre o Oceano Pacífico e deslocou-se para leste, lentamente, até próximo à costa do Chile (Figura 5.19d), onde houve a dissipação do bloqueio. O bloqueio apresentou ora uma configuração do tipo dipolo (Figura 5.19a e 5.19d), ora uma configuração do tipo ômega invertido (Figura 5.19b e 5.19c). Sobre a AS, as linhas de altura geopotencial estiveram com orientação noroeste-sudeste, desfavorecendo a entrada de sistemas frontais. Entre os dias 21 e 23 (campos não mostrados), o bloqueio sobre o Oceano Pacífico se dissipou, devido ao deslocamento da alta de bloqueio para leste. No entanto, a região de anomalia negativa de altura geopotencial continuou sobre o Oceano Pacífico, entre 80°W e 90°W.

Assim, entre os dias 23 e 27, um cavado encontrava-se sobre o Oceano Pacífico e uma crista encontrava-se sobre o oceano Atlântico (Figura 5.19e), fazendo com que as isolinhas de altura geopotencial permanecessem com orientação noroeste-sudeste. Do dia 28 até o dia 30 de julho, o cavado localizado entre 80°W e 90°W, moveu-se para leste, atingindo a AS em 29 de julho (Figura 5.19f) e dissipando a EMAQS no dia 30 de julho de 1987, quando houve a queda acentuada de temperatura.

Um trem de onda atingiu os subtrópicos da AS um dia antes da queda acentuada de temperatura (Figura 5.19f), durante a dissipação da EMAQS. Este padrão é semelhante ao encontrado por Marengo et al. (2002) que estudou entrada de massa de ar frio nos subtrópicos da AS e por Reinke (2005), que estudou quedas acentuadas de temperatura sobre a Região Sul do Brasil. Destaca-se que no período em que houve enfraquecimento da situação de EMAQS, não houve mudanças significativas no campo de altura geopotencial em 500 hPa.

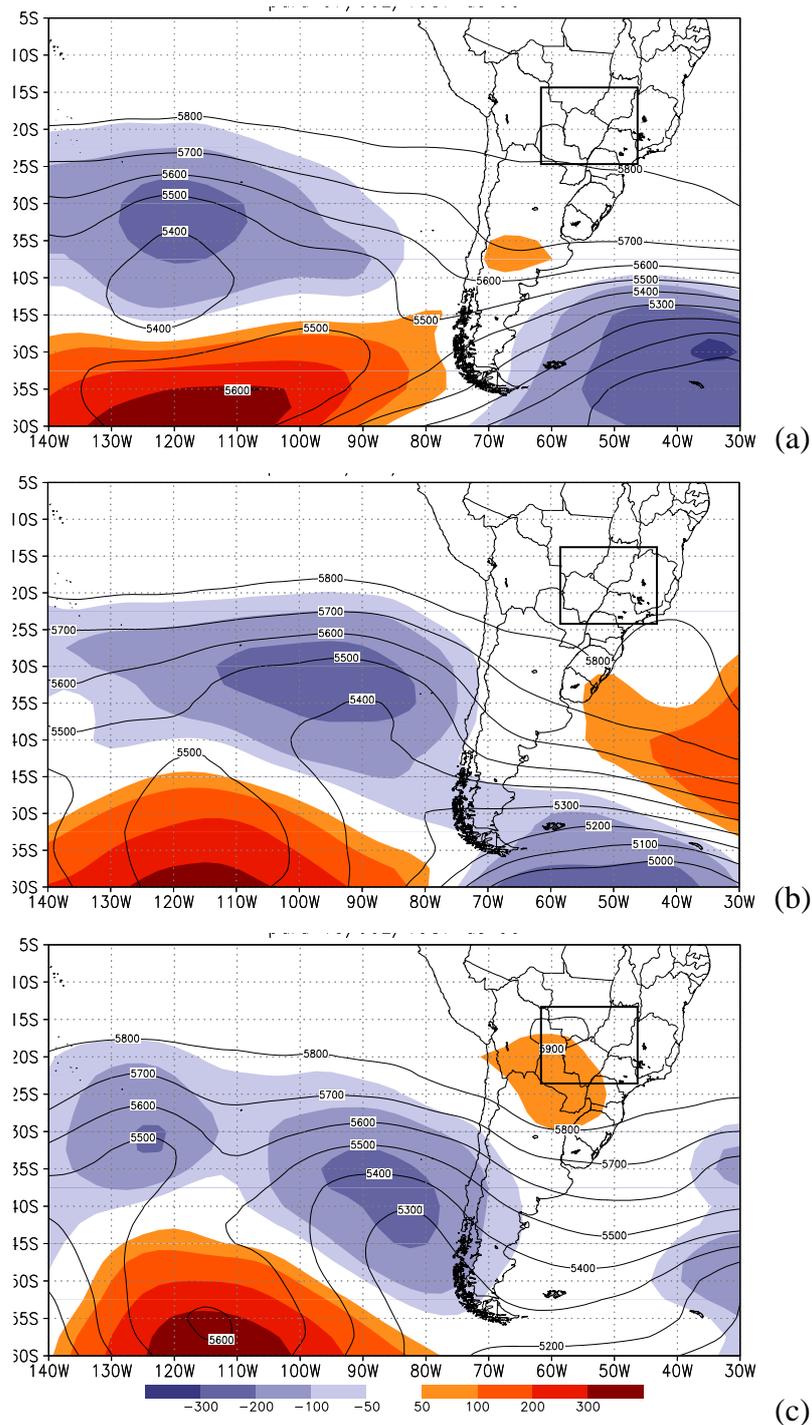


FIGURA 5.19 – Campos de altura geopotencial (mgp) e anomalia de altura geopotencial em 500 hPa para: a) 07/07/1987, as 00 TMG, b) 11/07/1987, as 00 TMG, c) 15/07/1987, as 00 TMG, d) 20/07/1987, as 00 TMG, e) 24/07/1987, as 00 TMG, f) 29/07/1987, as 00 TMG.

(continua)

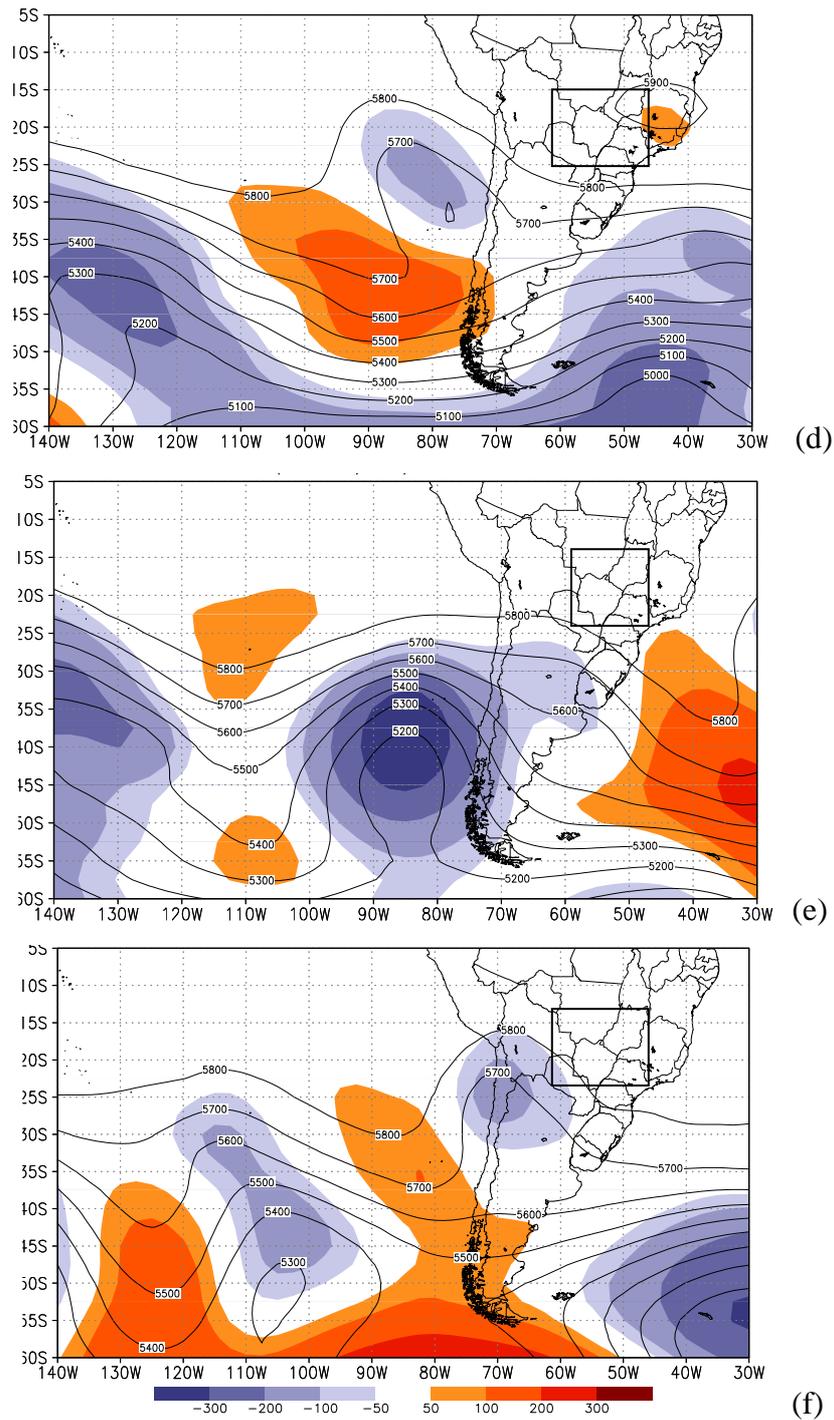


FIGURA 5.19 – (Conclusão)

Os campos de altura geopotencial e anomalia de altura geopotencial em 500 hPa mostraram a associação entre bloqueio no Oceano Pacífico Sul e episódio de EMAQS sobre a região central do Brasil, durante os dois casos estudados. Além

disso, verificou-se que a baixa velocidade de propagação das ondas sinóticas, em latitudes médias e altas, contribuiu para a persistência dos eventos de EMAQS.

Para completar a descrição sinótica do evento, apresentam-se os campos de linhas de corrente em 200 hPa (Figura 5.20). Nos dias 7 e 8 de julho de 1987 o escoamento do ar esteve aproximadamente zonal sobre a AS. Entre os dias 09 e 11 de julho, observou-se uma ondulação no escoamento, e uma fraca confluência do ar, sobre a região central do Brasil (Figura 5.20b). Esta confluência gerou convergência em altos níveis e, conseqüentemente, movimentos subsidentes sobre a região.

A partir do dia 13 de julho (Figura 5.20c e 5.20d), foi observada uma crista em baixas latitudes, provavelmente devido ao aquecimento anômalo, sobre a AS. Além disso, foi observado um cavado sobre o Oceano Atlântico, onde uma bifurcação do escoamento do ar gerou difluência em altos níveis. Assim, a região central do Brasil encontrava-se na retaguarda do cavado e próximo a região de difluência. Nos dias 19 e 20 (Figura 5.20d), o jato subtropical atingiu a maior velocidade do mês sobre o continente sul-americano e no dia 21 este núcleo de alta velocidade se deslocou para o Oceano Atlântico, ainda com orientação noroeste-sudeste. A orientação noroeste-sudeste ou zonal do escoamento sobre a AS ocorreu até o final do evento (Figura 5.20f), quando um cavado, que estava sobre o Oceano Pacífico, deslocou-se para leste, atingindo a AS.

Pode-se concluir que a manutenção dos eventos de EMAQS ocorreu através da invasão da ASAS e ventos fortes de norte sobre parte da Região Centro-Oeste, Região Sul do Brasil e Paraguai em baixos níveis. Nos níveis médios observou-se a configuração de bloqueio e baixa velocidade de propagação das ondas sinóticas. Um cavado a oeste dos Andes que se desloca para leste, permitiu a dissipação da EMAQS. Nos campos de linhas de corrente em altos níveis, a manutenção da EMAQS é favorecida pelo escoamento do ar com orientação noroeste-sudeste.

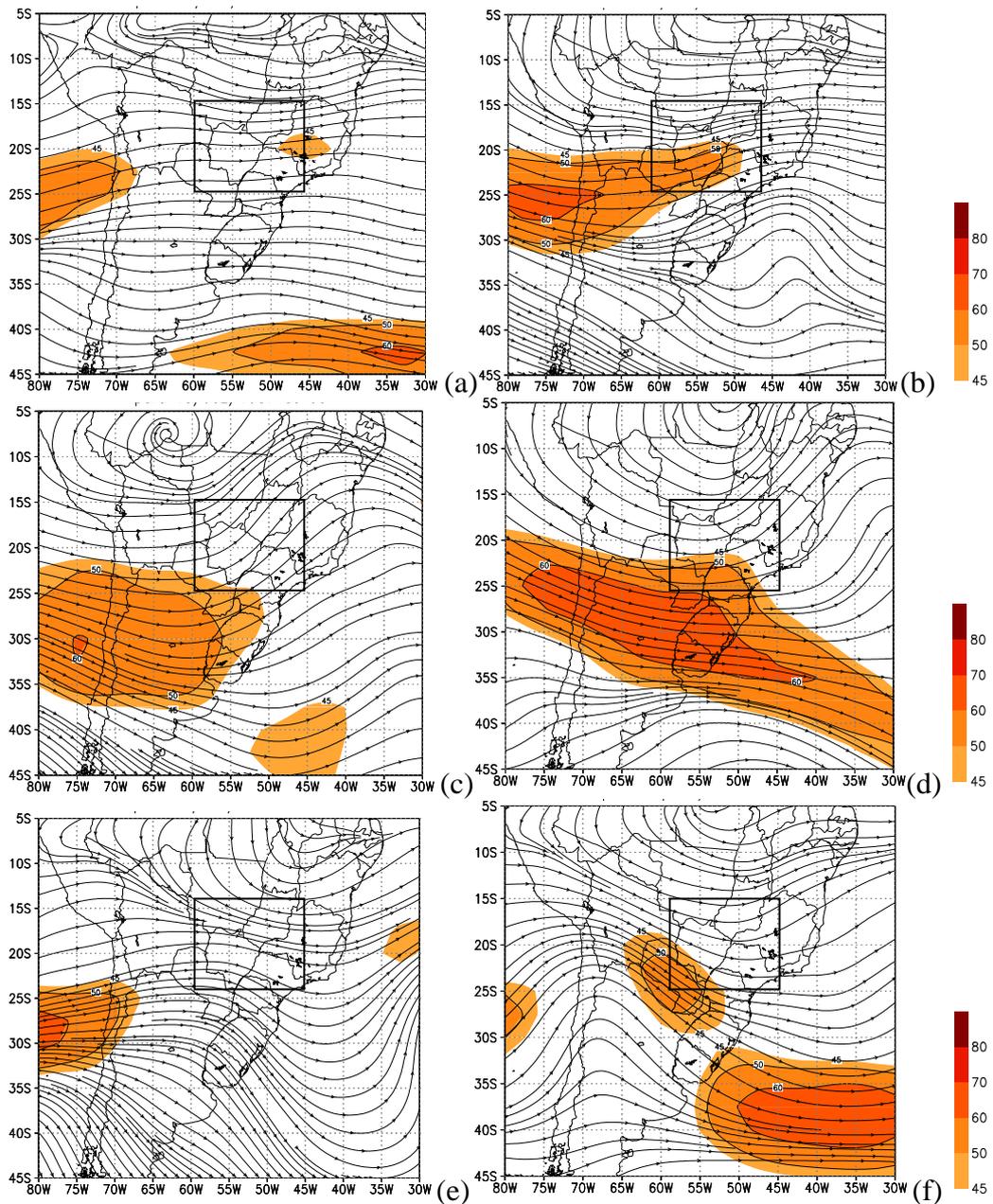


FIGURA 5.20 – Campos de linhas de corrente em 200 hPa e isotacas acima de 45 m s^{-1} para: a) 07/07/1987, as 00 TMG, b) 10/07/1987, as 00 TMG, c) 15/07/1987, as 00 TMG, d) 19/07/1987, as 00 TMG, e) 24/07/1987, as 00 TMG, f) 29/07/1987, as 00 TMG.

CAPÍTULO 6

BALANÇO TERMODINÂMICO EM EPISÓDIOS DE EMAQS

A Equação da Energia Termodinâmica (EET) é bastante usada em estudos de friagem e incursões de massas de ar frio sobre a AS (Marengo et al., 1997; Garreaud, 2000; Vera e Vigliarolo, 2000; Longo et al., 2004). No entanto, a EET é pouco usada em eventos de tendência positiva de temperatura do ar sobre a AS. Sendo assim, neste Capítulo será realizado o balanço termodinâmico para os dois estudos de casos de EMAQS analisados no Capítulo 5.

6.1 - 1º Estudo de Caso: 1º a 15 de junho de 2002

As Figuras 6.1, 6.2 e 6.3 mostram os termos da EET nas fases de formação, manutenção e dissipação da EMAQS, respectivamente, por meio do corte meridional em 50°W. Essa longitude representa a região de maior anomalia positiva de temperatura do ar sobre a AS, a qual está localizada entre a faixa latitudinal de 20°S e 25°S (Figura 5.5). A fase de formação ocorreu entre os dias 1 e 6 de junho de 2002, que foi o período de maior aumento de temperatura do ar na EMAQS (Figura 3.3). A fase de manutenção foi observada entre 7 e 10 de junho e a fase de dissipação ocorreu entre os dias 11 e 14 de junho de 2002 (Figura 3.3).

Para a fase de formação, os termos da EET foram calculados por meio da média dos dias 2 e 3 de junho de 2002 (Figura 6.1). Verifica-se que, nas três fases do evento, a Tendência de Temperatura do Ar (TT) tem valores menores que os outros termos da EET.

Observa-se que, na fase de formação, a TT positiva é profunda, ou seja, atinge todos os níveis da troposfera, entre 20°S e 40°S. Além disso, nota-se que o termo que contribuiu significativamente para a TT positiva durante este período, na faixa latitudinal de 20°S e 30°S, foi o Aquecimento Adiabático (AA) (Figura 6.1c). Este campo apresenta valores positivos em praticamente toda a troposfera entre 20°S e

25°S. Em latitudes maiores que 30°S ocorreram valores negativos de AA, possivelmente devido à presença de um cavado invertido que esteve sobre o Uruguai e sobre o estado do Rio Grande do Sul, no dia 3 de junho de 2002. Durante esta fase, a Advecção Horizontal de Temperatura do ar (AHT) foi muito pequena na região central do Brasil, nesta longitude.

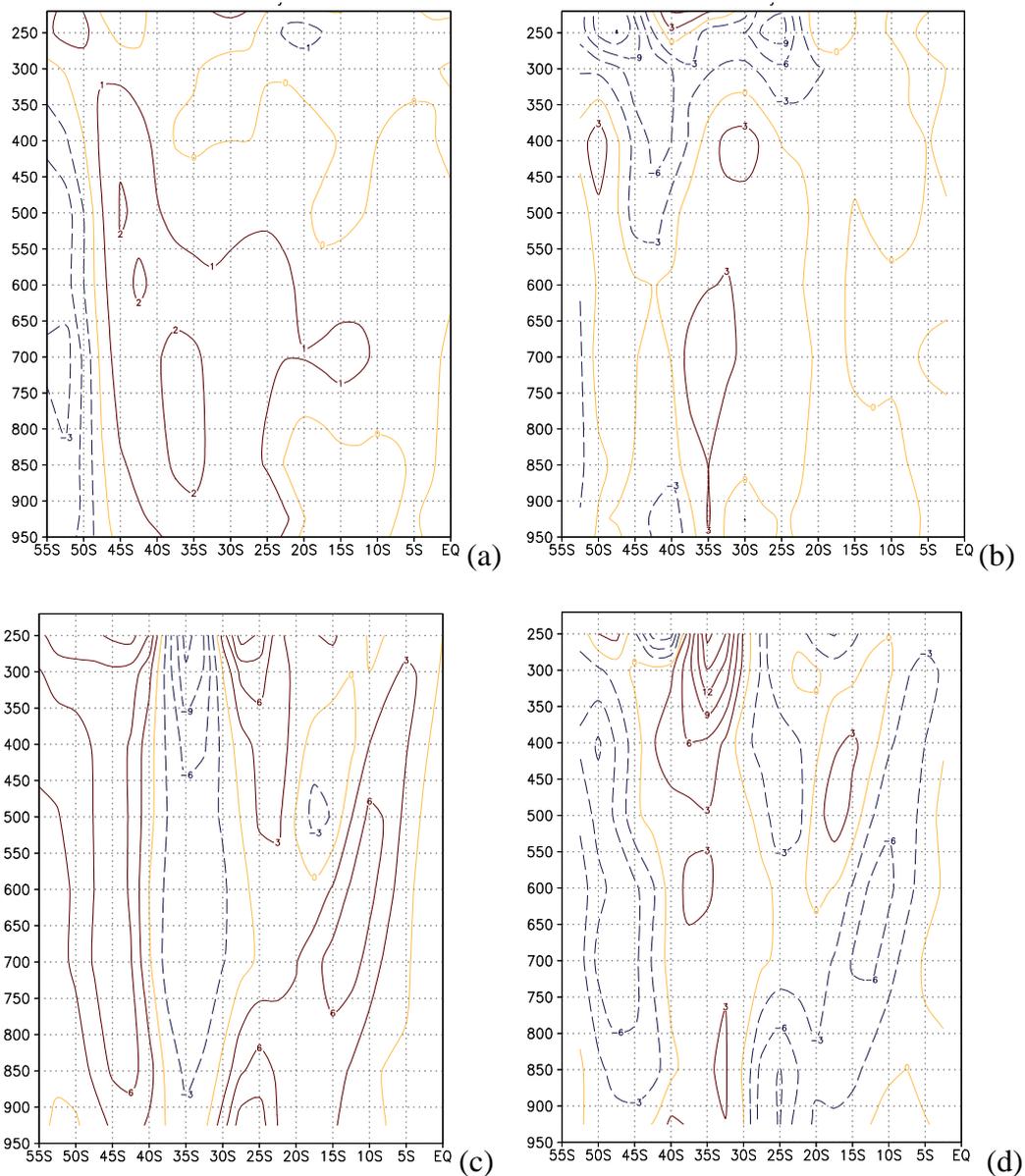


FIGURA 6.1 – Corte vertical em 50°W dos termos da EET para a fase de formação, representada pela média dos dias 2 e 3 de junho de 2002 as 12 TMG (K/dia): a) TT, em intervalo de 1K/dia; b) AHT; c) AA; d) AD; de b) a d) em intervalo de 3K/dia.

O Aquecimento Diabático (AD) (Figura 6.1d), obtido como resíduo da EET, tem o mesmo padrão do AA, mas com o sinal oposto. Este termo se deve à perda de radiação de onda longa para o espaço e a liberação de calor latente. No entanto, como o campo de AD é apenas estimado indiretamente, erros computacionais tornam os resultados deste termo pouco confiáveis (Longo et al., 2004).

Os termos da EET no período de manutenção da EMAQS (Figura 6.2) mostram que a TT esteve próxima de zero, em baixos níveis e em 700 hPa apresentou valores em torno de -1 K dia^{-1} . Tanto a AHT quanto o AA estiveram aproximadamente nulos em baixos níveis da troposfera, entre 20°S e 25°S . Em altos níveis, a AHT e o AA apresentaram padrões opostos, sendo o AA positivo em latitudes menores que 22°S e negativo em latitudes maiores que 22°S , o que indica uma circulação térmica indireta, provavelmente forçada pelos sistemas transientes que atuaram a sul de 25°S .

Na fase de dissipação (Figura 6.3), a TT esteve negativa em torno de 1 K/dia em baixos níveis, entre 20°S e 15°S . Isso indica que a dissipação da EMAQS ocorreu lentamente a partir do dia 11 até o dia 15, conforme visto na Figura 3.3. O termo do AA tornou-se negativo sobre o Brasil central em baixos níveis, devido ao ramo de ar ascendente, associado a frente que se aproximou da Região Sudeste do Brasil. Em relação ao termo de AHT (Figura 6.3b), o resfriamento observado em latitudes a sul de 25°S ocorreu devido ao deslocamento da massa de ar frio sobre a AS. Portanto, tanto o AA quanto a AHT foram responsáveis pela dissipação da EMAQS, sobre a região central do Brasil.

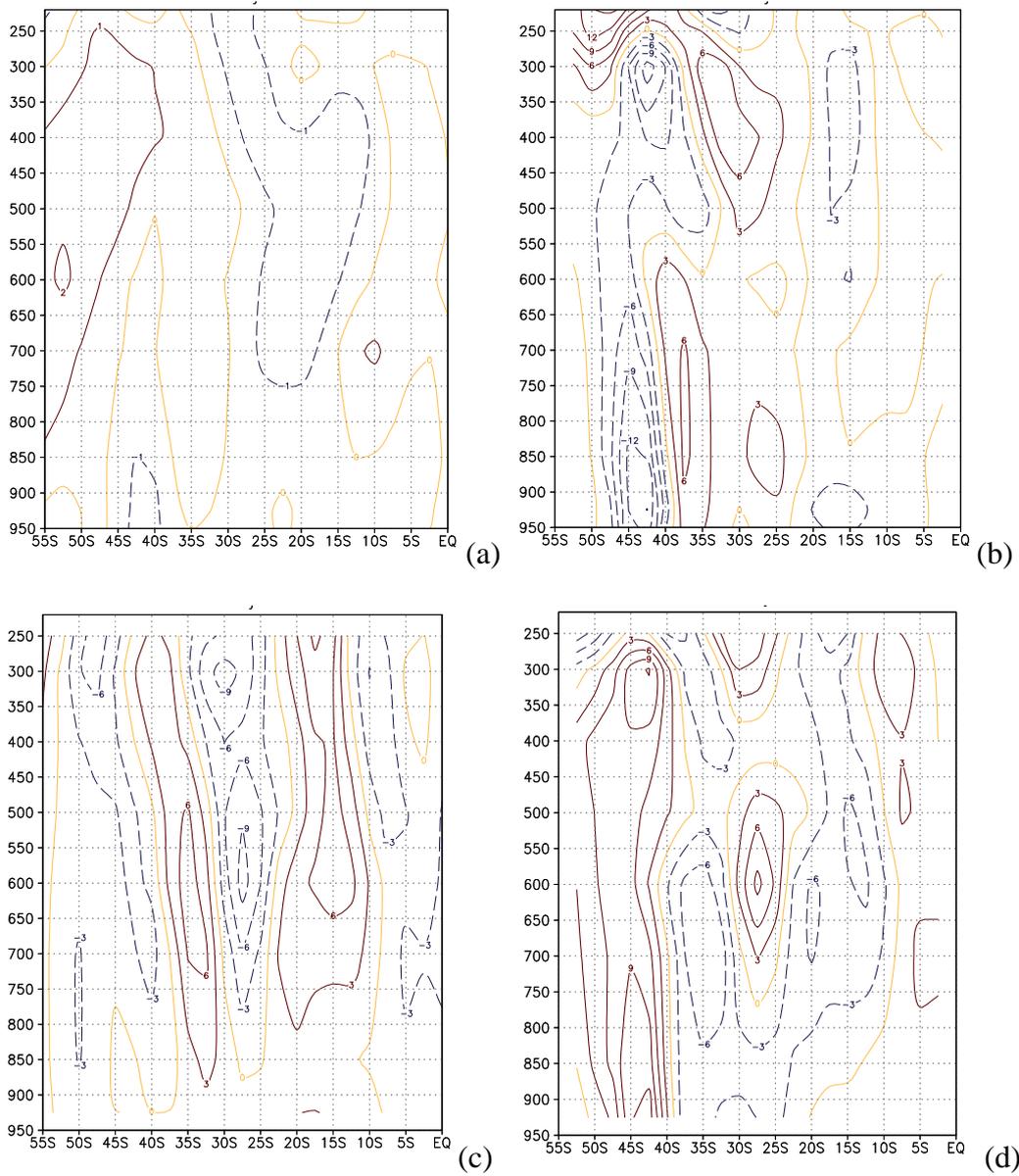


FIGURA 6.2 – Corte vertical em 50°W dos termos da EET para a fase de manutenção, representada pela média dos dias 8 e 9 de junho de 2002 (K/dia) às 12 TMG: a) TT, em intervalo de 1 K dia^{-1} ; b) AHT; c) AA; d) AD; de b) a d) em intervalo de 3 K dia^{-1} .

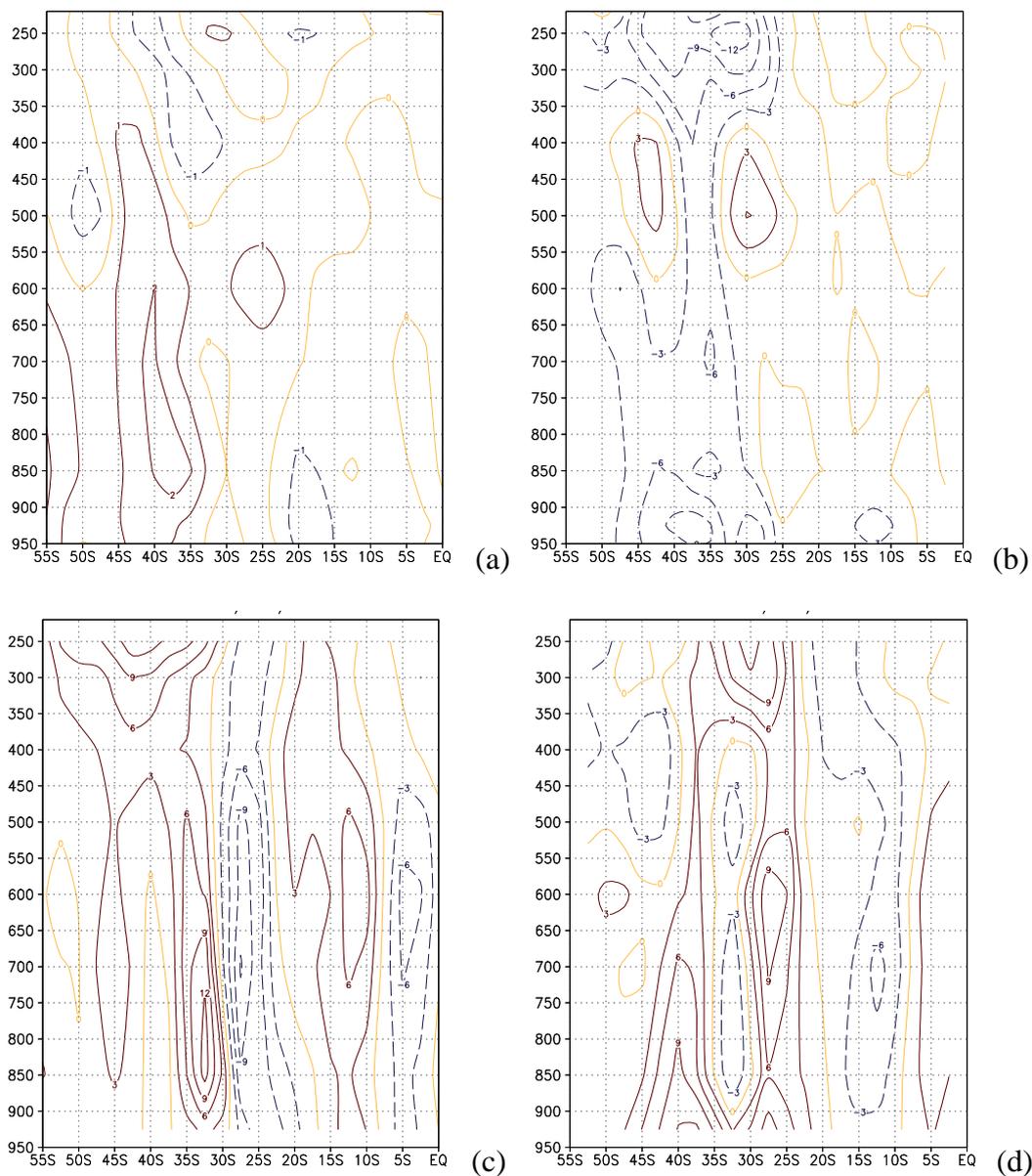


FIGURA 6.3 – Corte vertical em 50°W dos termos da EET para a fase de dissipação, representada pelo dia 12 de junho de 2002 (K dia⁻¹) as 12 TMG: a) TT, em intervalo de 1 K dia⁻¹; b) AHT; c) AA; d) AD, de b) a d) em intervalo de 3 K dia⁻¹.

As Figuras 6.4, 6.5 e 6.6 mostram os campos dos termos da EET em 925 hPa, para as fases de formação, manutenção e dissipação, respectivamente. Na fase de formação, o campo de AHT (Figura 6.4b) mostrou uma região de intensa advecção quente sobre o sul do estado do Mato Grosso do Sul até o Uruguai, em 57°W. Outro centro de AHT positivo ocorreu no Oceano Atlântico em 35°S e 45°W. A advecção meridional de temperatura do ar (figura não mostrada) foi a

principal responsável por estes dois centros, devido ao forte vento de norte e de noroeste verificado nestas duas regiões. Os ventos intensos, em 55°W , trazem ar quente das regiões equatoriais para latitudes subtropicais, auxiliando na advecção de ar quente dos trópicos para sul (Gan et al. 2004). A Figura 6.4c mostra que o AA é o principal responsável pelo aquecimento sobre a região central do Brasil, embora seu centro de maior intensidade esteja sobre os estados do Paraná e Santa Catarina. O centro de aquecimento a leste da Cordilheira dos Andes nos campos de AA, é excessivamente intenso provavelmente devido à subsidência anormalmente forçada pela cadeia de montanhas e contaminada pelos erros computacionais, que também apareceram nos campos em 850 hPa (figuras não mostradas), devido ao fenômeno de Gibbs (Navarra et al., 1994). Portanto é errôneo levar em conta o aquecimento imediatamente a leste da cadeia de montanhas, devido aos erros computacionais.

Na fase de manutenção, o núcleo de AHT positiva a sudoeste da região central enfraqueceu (Figura 6.5b). A sul de 35°S , a AHT mostra a oposição de um centro positivo e outro negativo sobre o oceano Atlântico, devido à circulação de um sistema de baixa pressão. Sobre a região central do Brasil, a AHT é aproximadamente nula. Além disso, o termo de AA positivo (Figura 6.5c) enfraqueceu sobre a Região Sul do Brasil, e oeste de São Paulo. Andrade (2005) verificou, através de campos compostos, que subsidência pouco intensa sobre o centro-sul do Brasil é um fator que favorece o avanço de frentes frias sobre o Sudeste do Brasil. Assim, a diminuição tanto da AHT quanto do AA próximo a região central do Brasil, contribuíram para a diminuição da TT, que apresenta valores aproximadamente nulos.

Na fase de dissipação, observa-se um pequeno e fraco núcleo negativo do AA em 25°S e 52°W (Figura 6.6c). Este termo contribuiu para o resfriamento do ar sobre a Região Sudeste, devido ao movimento ascendente do ar sobre esta região, associado à aproximação de um sistema frontal na fase de dissipação da EMAQS. O termo de AHT (Figura 6.6b) mostra advecção negativa sobre o estado do Rio Grande do Sul e o Uruguai. Nos dias seguintes (figuras não mostradas), o

deslocamento para norte deste centro negativo, possibilitou a incursão da massa de ar frio associada ao sistema de alta pressão de latitudes médias, que dissipou a EMAQS.

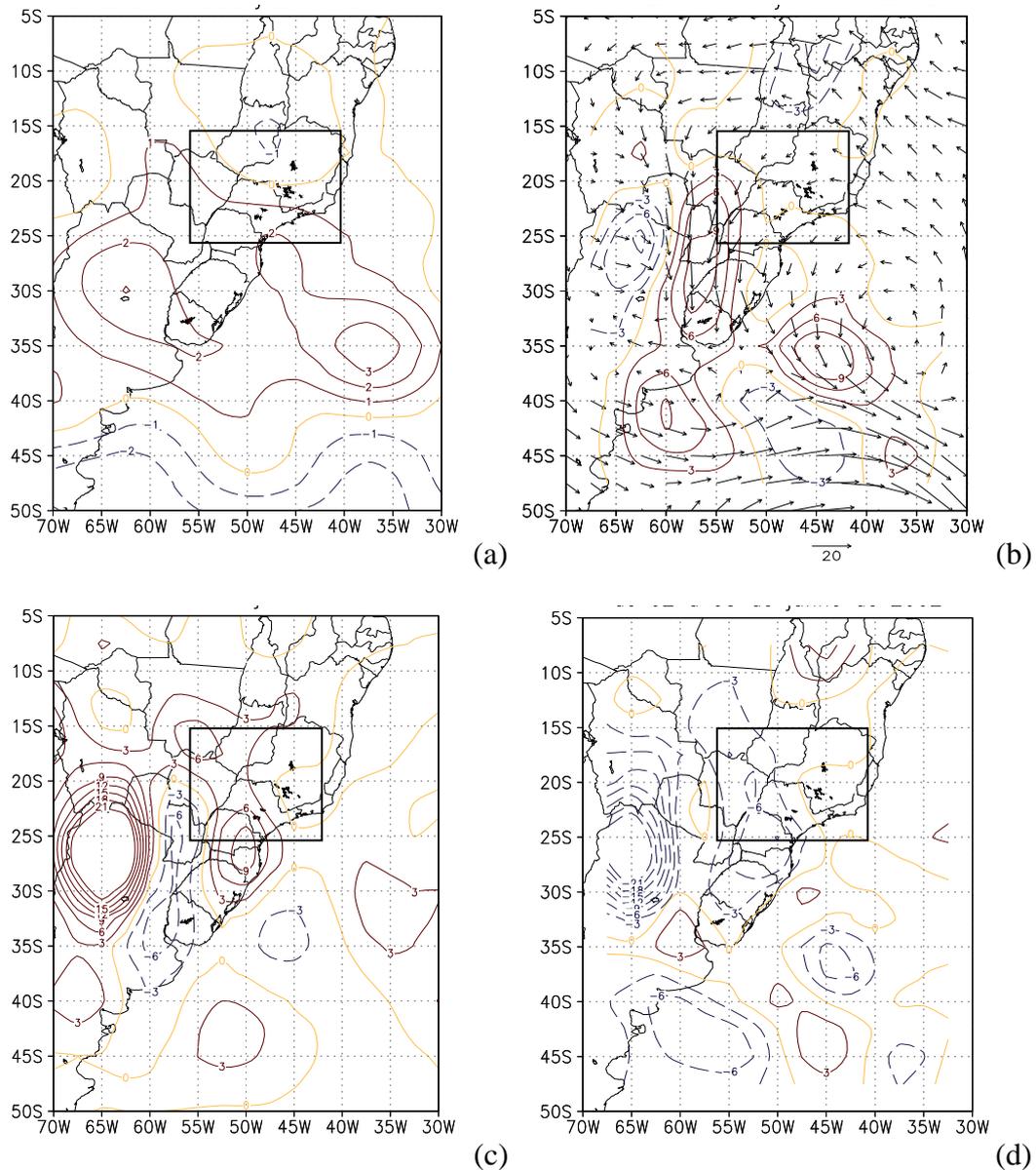


FIGURA 6.4 – Termos da EET (K dia^{-1}) em 925 hPa para a fase de formação, representada pela média dos dias 2 e 3 de junho de 2002: a) TT, em intervalo de 1 K dia^{-1} ; b) AHT; c) AA; d) AD, de b) a d) em intervalo de 3 K dia^{-1} .

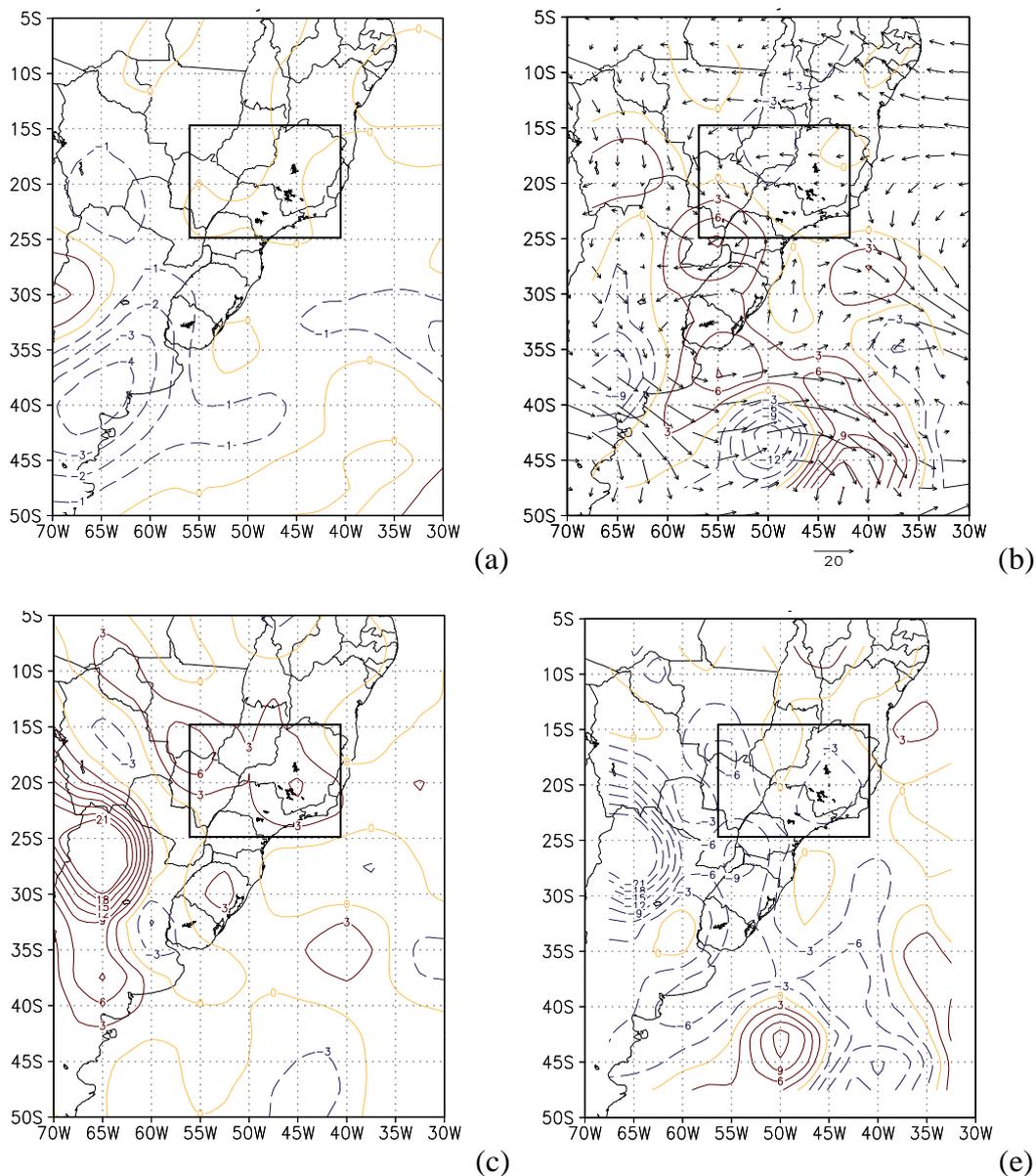


FIGURA 6.5 – Termos da EET (K dia^{-1}) em 925 hPa para a fase de manutenção, representada pela média dos dias 8 e 9 de junho de 2002: a) TT, em intervalo de 1 K dia^{-1} ; b) AHT; c) AA; d) AD; de b) a d) em intervalo de 3 K dia^{-1} .

Assim, nos dias em que a frente fria se aproximou da região central, o termo de AA teve maior contribuição para a TT negativa (Figura 6.6a), enquanto que o termo de AHT foi mais importante durante o deslocamento da massa de ar fria sobre esta região. Ambos os termos contribuiram para o término da EMAQS.

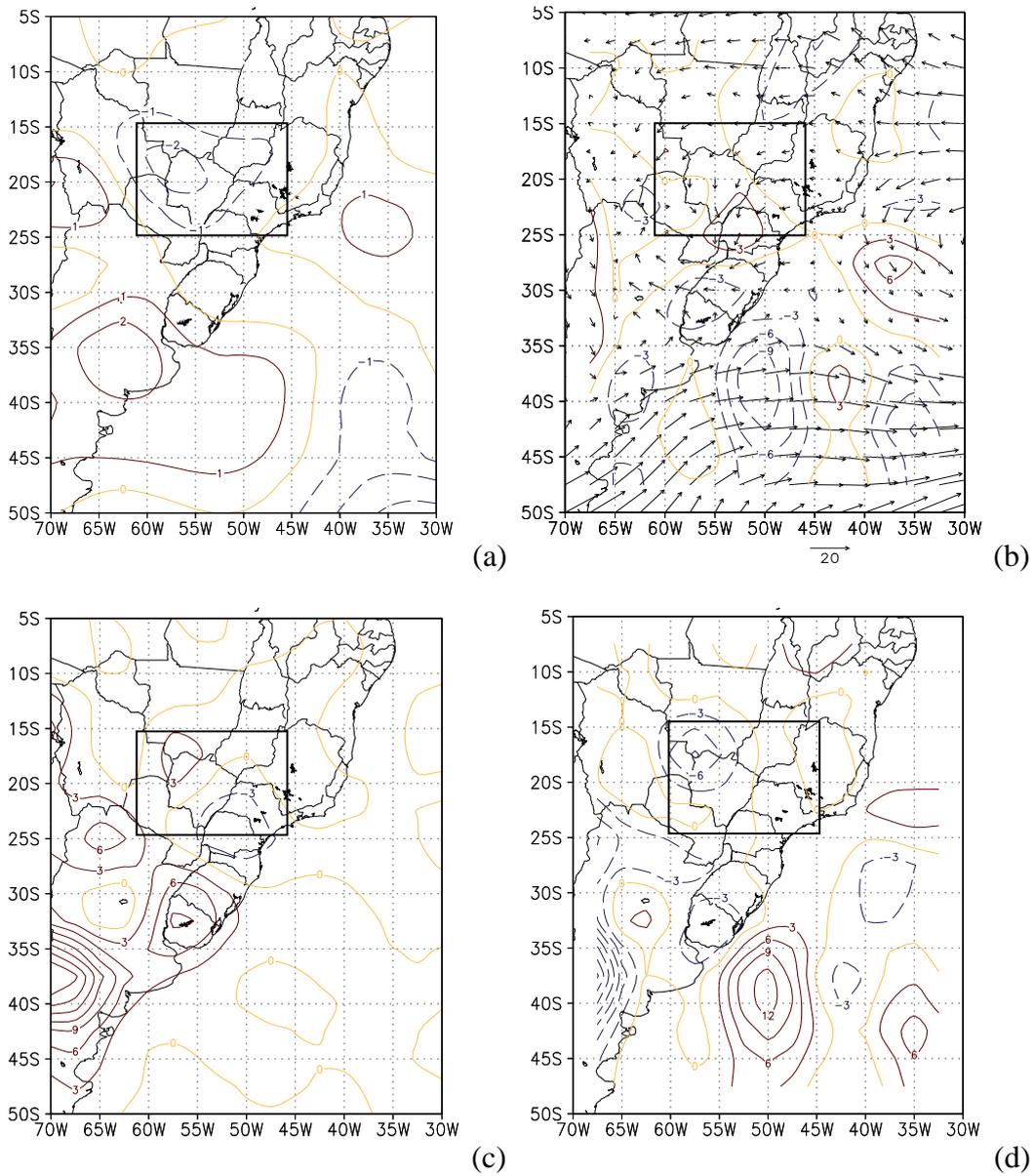


FIGURA 6.6 – Termos da EET (K dia^{-1}) em 925 hPa para a fase de dissipação, representada pela média dos dias 11 e 12 de junho de 2002: a) TT, em intervalo de 1 K dia^{-1} ; b) AHT; c) AA; d) AD, de b) a d) em intervalo de 3 K dia^{-1} .

6.2 - 2º Estudo de Caso: 7 a 29 de julho de 1987

O segundo caso estudado no Capítulo 5 apresentou aumento e queda de temperatura do ar mais brusca que no primeiro caso, na região central do Brasil. Para representar a fase de formação, foi escolhido o dia 7 de julho de 1987, quando houve aumento na anomalia térmica em torno de 2K, em superfície (Figura 3.4). A média dos dias 26 a 28 representou a fase de manutenção e a fase de dissipação foi representada pelo dia 29 de julho de 1987, quando ocorreu a queda brusca de anomalia térmica de aproximadamente 6°C, em superfície (Figura 3.4).

As Figuras 6.7, 6.8 e 6.9 mostram o corte vertical em 55°W dos termos da EET, nas fases de formação, manutenção e dissipação, respectivamente. Durante a fase de formação (Figura 6.7a), a TT esteve em torno de 2K/dia, entre 20°S e 25°S, em baixos níveis. Nos níveis médios e altos, não houve um aumento de temperatura tão intenso quanto nos baixos níveis. Diferente do primeiro caso (Figura 6.1), o termo que mais contribuiu para o aumento de temperatura do ar, entre 20°S e 25°S, foi a AHT (Figura 6.7b). O AA (Figura 6.7c) foi negativo e mais fraco que a AHT, portanto não contribuiu para a formação da EMAQS.

Na fase de manutenção (Figura 6.8), a TT foi aproximadamente nula em todos os níveis da troposfera, na região central do Brasil. A sul de 30°S observa-se um intenso resfriamento do ar em todas as camadas da troposfera, aumentando a baroclinia sobre esta região. O termo do AA foi aproximadamente nulo em baixos níveis e a AHT positiva, logo o balanço da EET nesta fase ocorreu entre o termo da AHT e o termo do AD.

No dia 29 de julho de 1987 (Figura 6.9), quando a situação de EMAQS estava na fase de dissipação, a TT negativa esteve em torno de 7 K dia⁻¹ entre 20°S e 25°S. O termo de AHT continuou positivo, no entanto, apresentou redução de, aproximadamente, 6 K dia⁻¹ e o termo de AA esteve em torno de -6 K dia⁻¹ entre

20°S e 30°S. Além disso, conforme o balanço da EET, verifica-se que o termo de AD (Figura 6.9d) negativo também contribuiu para o término da EMAQS.

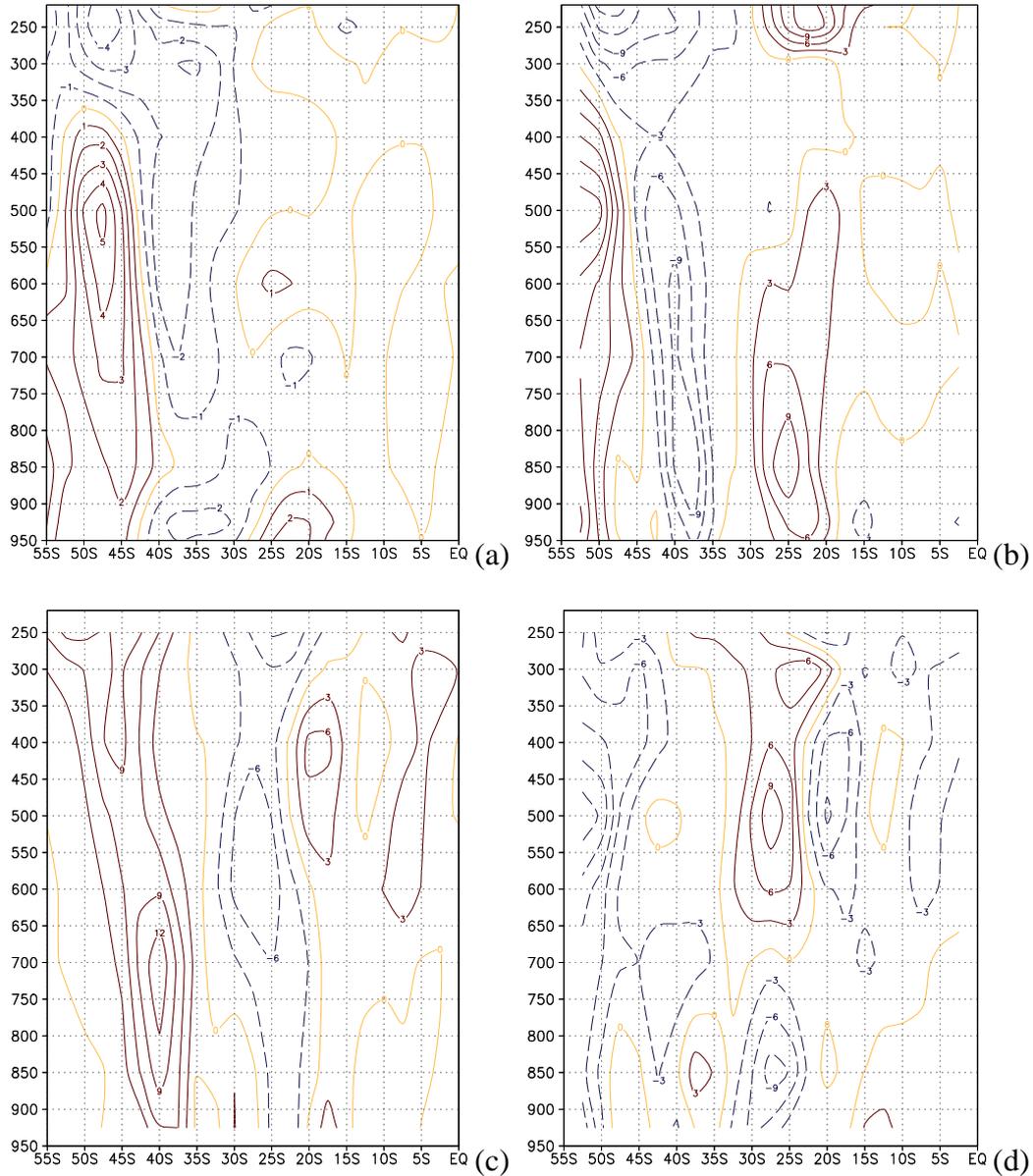


FIGURA 6.7 – Corte vertical em 55°W dos termos da EET para a fase de formação, representada pelo dia 7 de julho de 1987 (K dia⁻¹): a) TT, em intervalo de 1 K dia⁻¹; b) AHT; c) AA; e) AD, de b) a d) em intervalo de 3 K dia⁻¹.

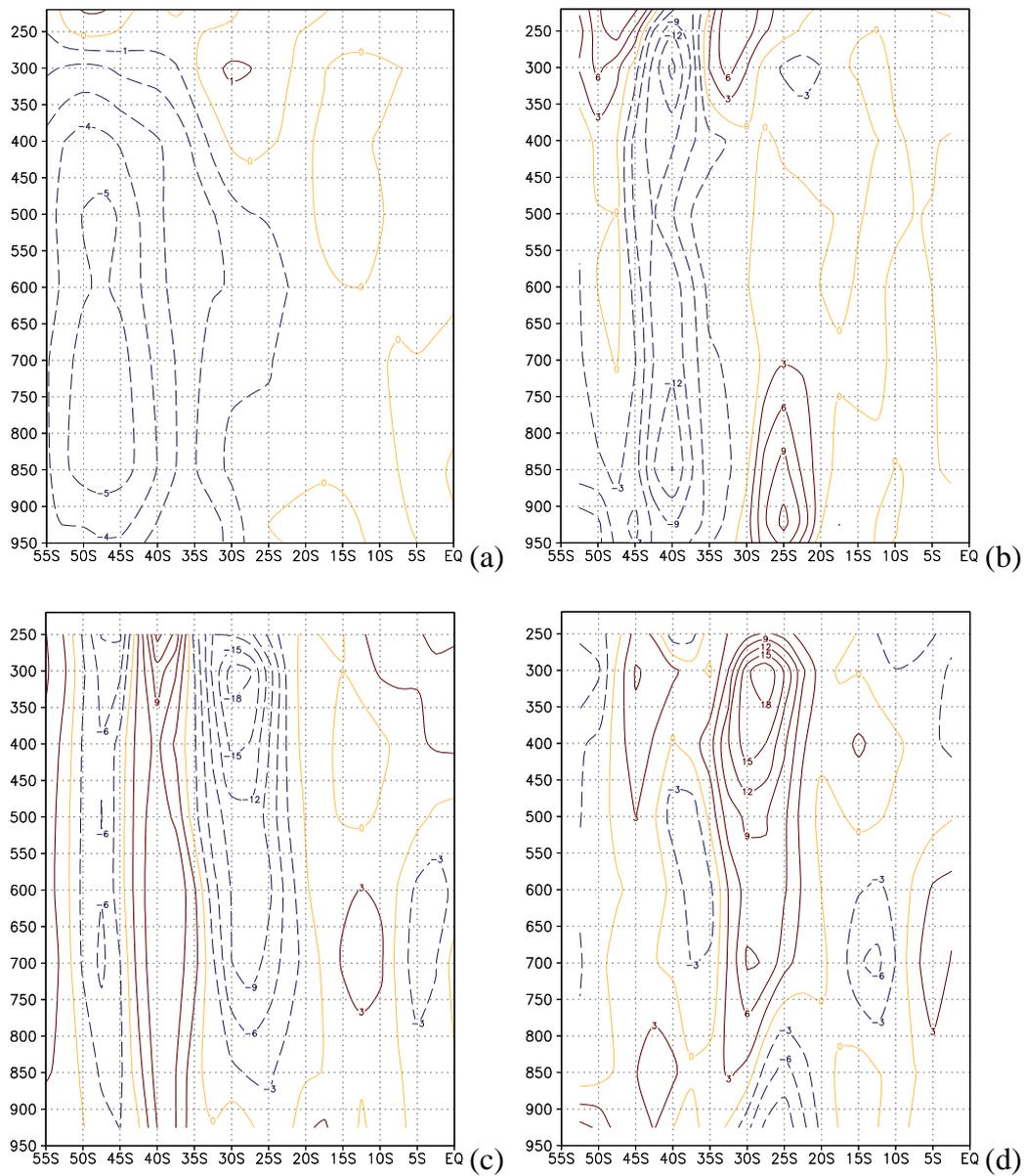


FIGURA 6.8 – Corte vertical em 55°W dos termos da EET, para a fase de manutenção, representada pela média dos dias 26 a 28 de julho de 1987 (K dia^{-1}): a) TT, em intervalo de 1 K dia^{-1} ; b) AHT; c) AA; d) AD, de b) a d) em intervalo de 3 K dia^{-1} .

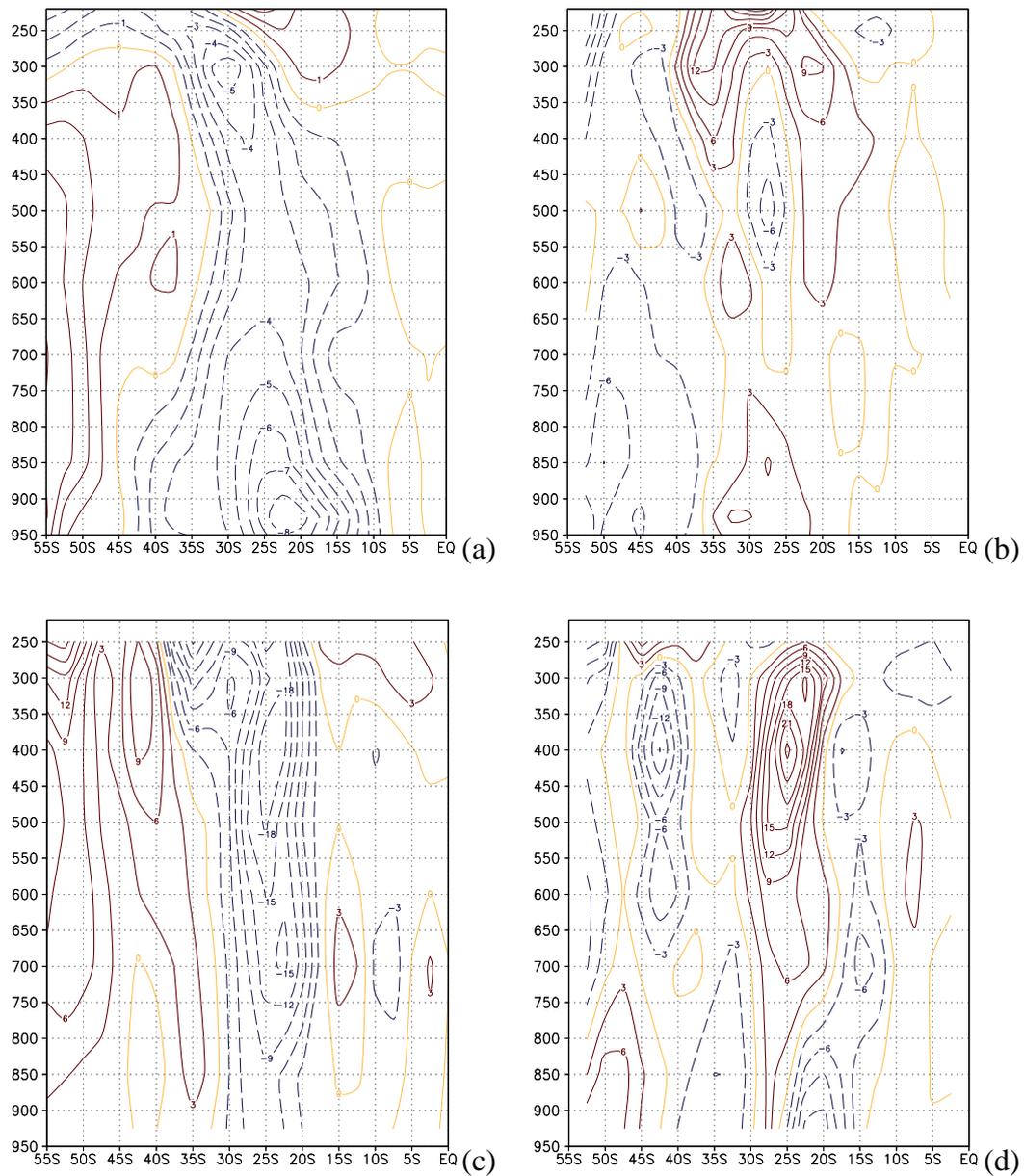


FIGURA 6.9 – Corte vertical em 55°W dos termos da EET, para a fase de dissipação, representada pelo dia 29 de julho de 1987 (K dia⁻¹): a) TT, em intervalo de 1 K dia⁻¹; b) AHT; c) AA; d) AD, de b) a d) em intervalo de 3 K dia⁻¹.

Os campos dos termos da EET em 925hPa, representando as três fases do evento de EMAQS, são mostrados nas Figuras 6.10, 6.11 e 6.12. Na fase de formação (Figura 6.10) é nítida a contribuição do termo de AHT, principalmente da advecção meridional (não mostrado) para a formação da EMAQS, devido aos fortes ventos de norte sobre a região de maior aquecimento, em 55°W, entre 20°S e 25°S. O termo do AA tem menor magnitude, mas é positivo em toda a região central e Região Sul do Brasil. Sobre o Paraguai e norte da Argentina, a ascendência do ar em 65°W e a subsidência do ar em 57°W foi anormalmente intensificada, devido à proximidade da Cordilheira dos Andes, já que a descontinuidade da topografia gera erros computacionais, como argumentado no item anterior.

Na fase de manutenção (Figura 6.11), ocorreu um balanço entre os termos da AHT e do AA. No estado de São Paulo, norte de Mato Grosso do Sul e sul de Goiás, o termo da AHT foi negativo e o AA positivo. Por outro lado, sobre o Paraguai, sul do Mato Grosso do Sul e parte do estado do Paraná, o padrão é invertido, com AHT positiva e AA negativo. Em termos de AHT, novamente a advecção meridional (não mostrado) foi responsável pelos valores positivos sobre o Paraguai.

Na fase de dissipação (Figura 6.12), observa-se que o maior resfriamento ocorreu sobre a parte central da AS, a oeste de 55°W. A massa de ar frio teve uma trajetória continental atingindo a região central do Brasil, o Paraguai, a Bolívia e o norte da Argentina. Os valores de AHT sobre a região central do continente, mostraram a incursão da massa de ar fria nesta região, durante a fase de dissipação da EMAQS. Como em estudos anteriores (Marengo et al., 1997; Longo et al., 2004), que utilizaram a EET para incursões de ar frio sobre a AS, a maior contribuição para a TT negativa sobre o continente, foi do termo da AHT neste segundo caso.

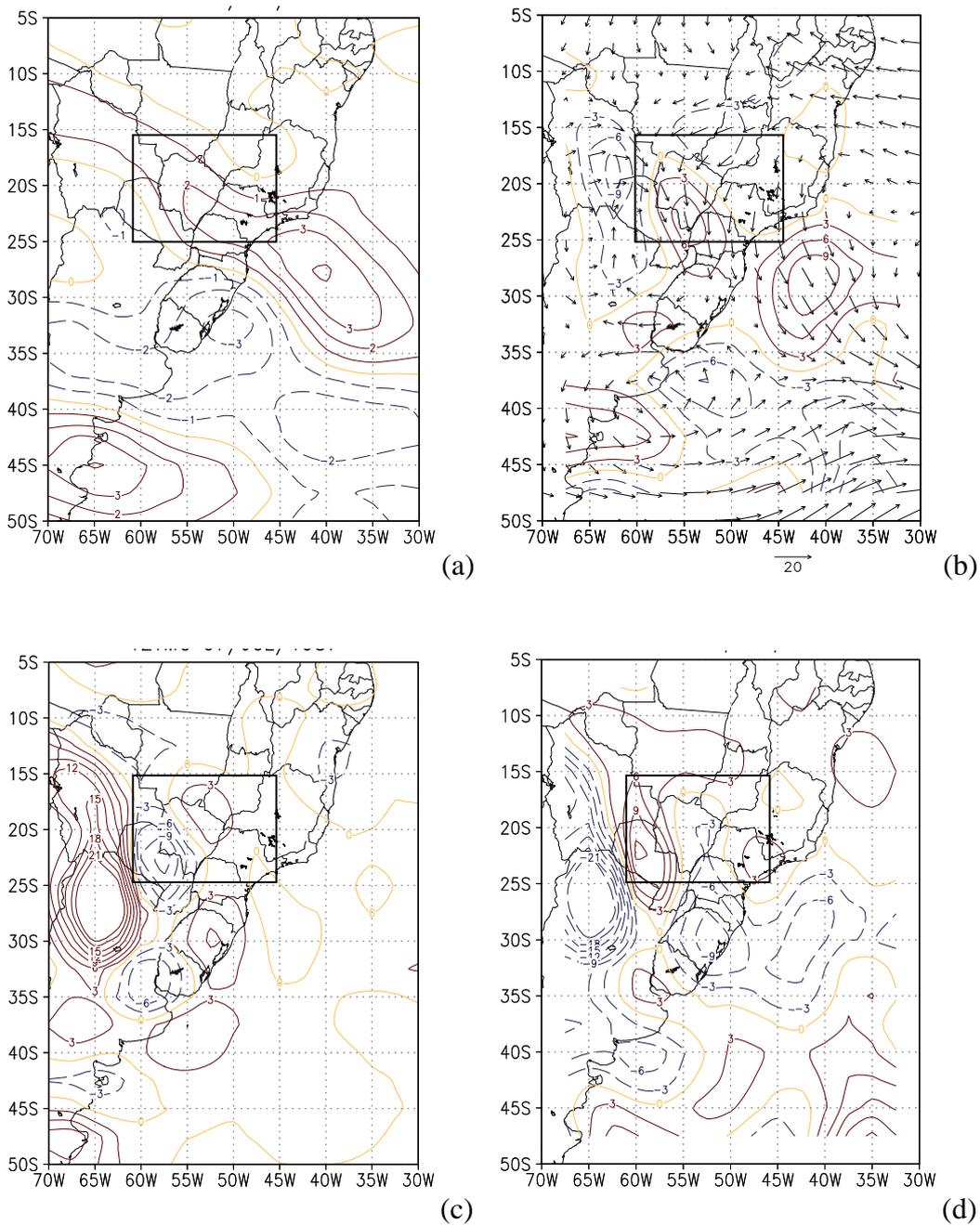


FIGURA 6.10 – Termos da EET (K dia^{-1}) em 925 hPa para a fase de formação, representada pelo dia 7 de julho de 1987: a) TT, em intervalo de 1 K dia^{-1} ; b) AHT; c) AA; d) AD, de b) a d) em intervalo de 3 K dia^{-1} .

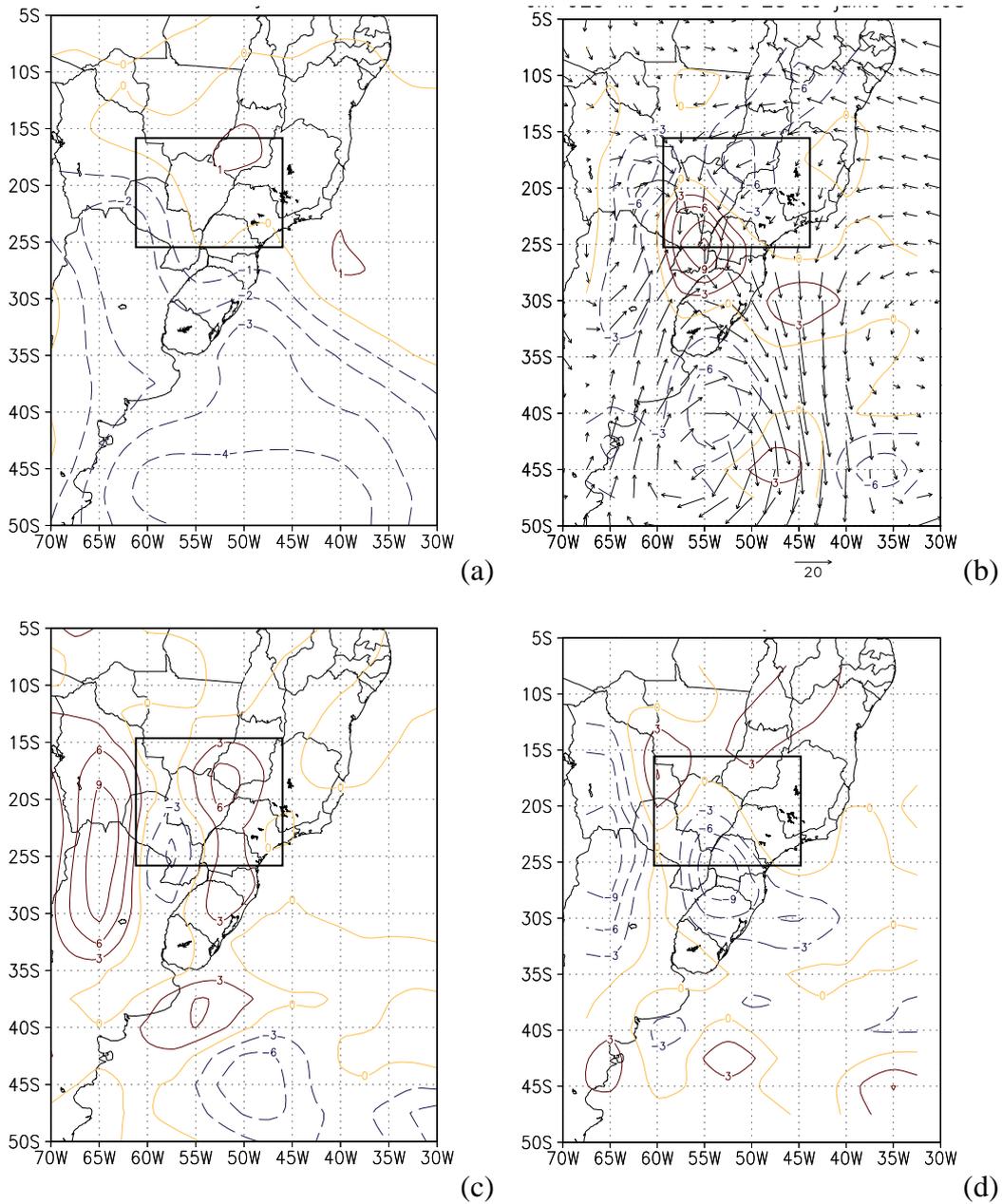


FIGURA 6.11 – Termos da EET (K dia^{-1}) em 925 hPa para a fase de manutenção, representada pela média dos dias 26 e 28 de julho de 1987: a) TT, em intervalo de 1 K dia^{-1} ; b) AHT; c) AA; d) AD, de b) a d) em intervalo de 3 K dia^{-1} .

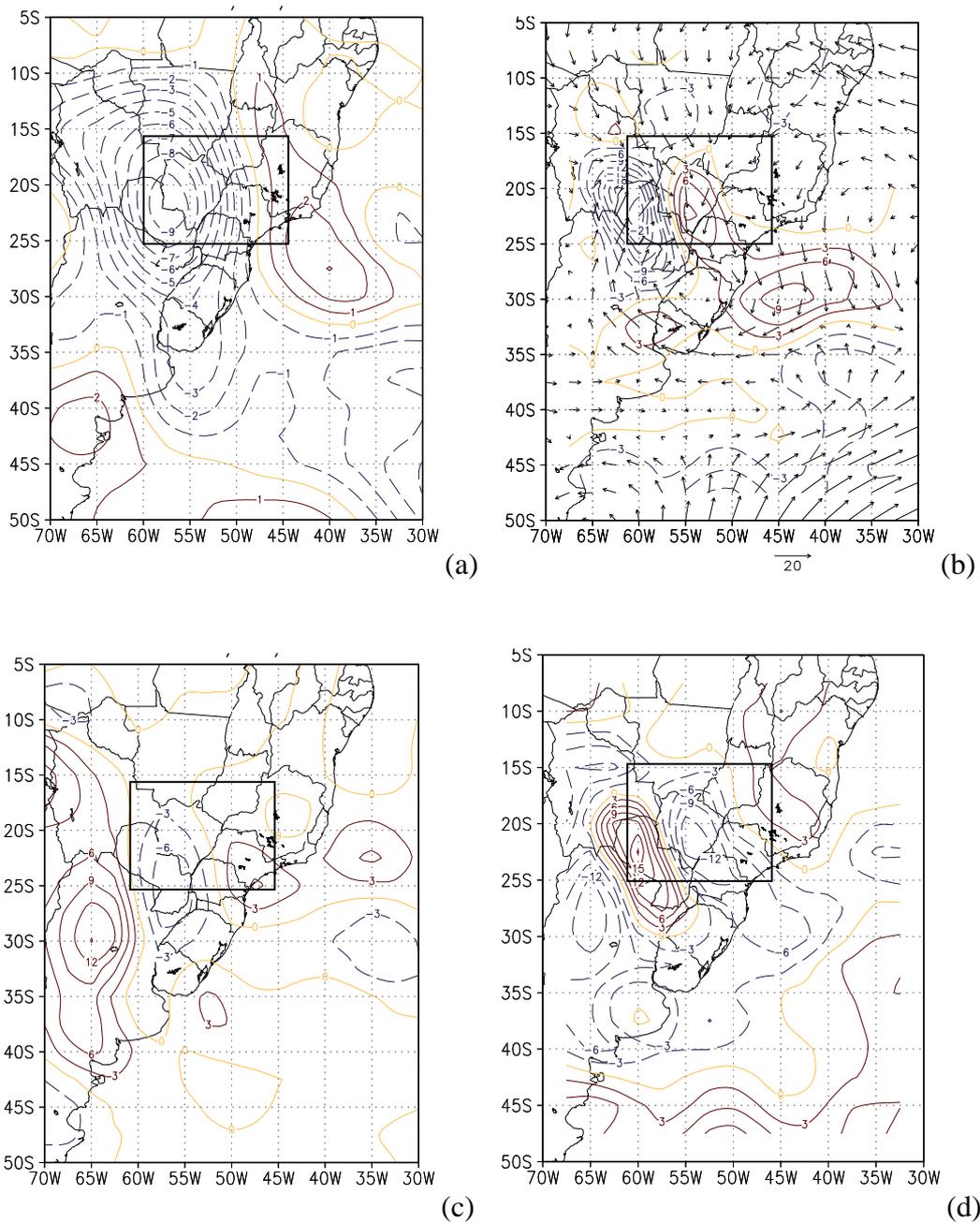


FIGURA 6.12 – Termos da EET (K dia^{-1}) em 925 hPa para a fase de dissipação, representada pelo dia 29 de julho de 1987: a) TT, em intervalo de 1 K dia^{-1} ; b) AHT; c) AA; d) AD, de b) a d) em intervalo de 3 K dia^{-1} .

Nestes dois casos foram observados padrões diferentes, em relação aos termos da EET. Enquanto no primeiro caso a TT foi em torno de 1 K/dia nas fases de formação e dissipação, no segundo caso a variação de temperatura do ar foi mais brusca, tanto na fase de formação, como na fase de dissipação, na região central do Brasil. Em relação ao termo de AHT, os dois casos apresentaram intensa AHT positiva na fase de formação sobre o Paraguai e oeste da Região Sul e AHT negativa, na fase de dissipação da EMAQS, a sul (primeiro caso) e a oeste (segundo caso) da região de EMAQS. Sobre o estado de São Paulo, em 50°W, a AHT não foi significativa nos dois casos.

O termo de AA teve uma contribuição diferente para os dois casos. No primeiro caso, a intensidade e o sinal deste termo contribuiu positivamente sobre a região central para o desenvolvimento da EMAQS. Já no segundo caso, o termo do AA apresentou mudanças pouco significativas, em termos de sinal e intensidade, na ocorrência do evento de EMAQS.

Assim, verificou-se que a AHT foi um bom indicativo do início, manutenção e dissipação da EMAQS, nos dois casos. O AA contribuiu para o desenvolvimento da EMAQS, apenas no primeiro caso, em que a variação de temperatura do ar foi gradual.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O estudo da estagnação de massa de ar quente e seco (EMAQS) sobre a região central do Brasil é de grande importância porque primeiramente, esta situação anômala é um dos fenômenos que comumente ocorrem no Brasil, durante o inverno, e causa prejuízos a população, tanto à saúde como ao meio ambiente em que vivem. Em segundo lugar, poucos estudos trataram diretamente deste assunto, principalmente em relação a fatores meteorológicos troposféricos que contribuem para o início, manutenção e dissipação da situação de EMAQS. Assim, a dissertação tratou de uma situação atmosférica pouco explorada e que ainda necessita de muito estudo. A EMAQS apresenta três fases distintas: fase de formação, quando a temperatura do ar aumenta, fase de manutenção, em que a temperatura do ar permanece alta por alguns dias e fase de dissipação, quando a temperatura do ar volta para valores próprios do período de inverno.

7.1 - Síntese e Conclusões

Primeiramente, foram identificadas as situações de EMAQS ocorridas entre os anos de 1985 e 2003, nos meses de abril a setembro, na região central do Brasil. O critério de identificação foi baseado na anomalia térmica diária positiva, sua extensão horizontal e temporal e a taxa de precipitação. A área utilizada para a seleção dos casos compreende 25°S a 15°S de latitude e 45°W a 60°W de longitude. Como limitante, foram escolhidos casos com anomalia térmica diária maior ou igual a 2°C, por pelo menos 4 dias e com anomalia térmica diária superior a 1,5°C em períodos de no mínimo 7 dias, sobre a área definida.

Com isso, foram encontrados 35 casos ocorridos nos 19 anos de estudo (média aproximada de 2 casos por ano). A duração média dos casos foi de 11 dias, todos eles com médias de anomalia térmica diária positiva maior que 2,1°C e anomalia de umidade relativa negativa. Foi desenvolvido o índice I(EMAQS) (Equação 3.3),

que é uma função da anomalia térmica diária, da anomalia de umidade relativa para o período e do número de dias. Este índice teve como propósito verificar a intensidade dos eventos de EMAQS. Dos 35 casos identificados, 7 episódios foram intensos ($I(\text{EMAQS}) > 4,7$) e 4 episódios foram fracos ($I(\text{EMAQS}) < 1,6$).

Observou-se que o período preferencial para a ocorrência de EMAQS é entre os meses de junho e setembro. Verificou-se, também, que os meses em que ocorreram EMAQS mais intensos foram agosto e setembro.

Foi observada alta variabilidade interanual de eventos de EMAQS. Três anos não apresentaram episódios de EMAQS e o maior número de eventos ocorreu em 1995 (5 episódios). Para explicar esta alta variabilidade, a EMAQS na região central do Brasil foi relacionada aos eventos de ENOS. Concluiu-se que as fases do ENOS não foram importantes para o desenvolvimento, a frequência e a intensidade das situações de EMAQS.

Por outro lado, explorou-se uma possível relação entre eventos de EMAQS sobre a região central do Brasil e bloqueios no Oceano Pacífico Sudeste. Foi constatado que 63% dos casos de EMAQS ocorreram em períodos de bloqueio no Oceano Pacífico Sudeste. Em 19 casos o bloqueio terminou alguns dias antes da dissipação da EMAQS. Além disso, todos os 07 casos intensos, de acordo com o índice $I(\text{EMAQS})$, ocorreram em períodos de bloqueios. A partir deste estudo, concluiu-se que os bloqueios atmosféricos, sobre o Oceano Pacífico Sudeste, influenciam a ocorrência e intensidade de EMAQS na região central do Brasil.

Após a análise estatística de casos de EMAQS, foi realizado o estudo sinótico destes eventos sobre a região central do Brasil, através de dois estudos de casos. O primeiro caso ocorreu entre os dias 01 e 15 de junho de 2002 e o segundo ocorreu entre os dias 07 e 29 de julho de 1987. Como resultado do estudo dos aspectos sinóticos das EMAQS sobre a região central do Brasil, foi obtida a seguinte estrutura troposférica:

- No campo de pressão ao nível médio do mar, durante a fase inicial foi observado o avanço do setor oeste da ASAS sobre a AS, com aumento de pressão ao nível médio do mar, entre as latitudes 20°S e 30°S. Verificou-se que as isóbaras adquiriram orientação meridional, sobre o Brasil. Na fase de manutenção, não ocorreu mudança significativa no campo de pressão ao nível médio do mar. Na fase de dissipação, a pressão diminuiu e as isóbaras tornaram-se menos meridionais, devido à incursão de sistemas de alta pressão de origem extratropical em direção aos trópicos.

- No campo de vento em 925 hPa, observou-se nos dois casos que havia ventos fortes sobre o Paraguai, sobre o estado do Rio Grande do Sul e em alguns dias, sobre parte do estado do Mato Grosso do Sul, com orientação de norte, na fase de formação. A mesma orientação do vento foi a característica da fase de manutenção, porém em alguns dias ocorreu uma leve diminuição da intensidade dos ventos. Na fase de dissipação, a mudança para ventos de sul, trazendo uma massa de ar fria é observada nos dois casos. Nota-se que o enfraquecimento durante a fase de manutenção do segundo caso de EMAQS também apresentou ventos de sul, no entanto, como a temperatura já estava muito alta, não houve a dissipação da EMAQS.

- No campo de altura geopotencial e anomalia de altura geopotencial em 500 hPa, a característica predominante na fase de formação foi uma crista sobre a AS e orientação das linhas de geopotencial de noroeste-sudeste em grande parte dos dias. Nos dois casos a configuração de bloqueio atmosférico sobre o Oceano Pacífico Sudeste foi um fator que dificultou a incursão de massas de ar frio sobre a AS. Verificou-se que as ondas sinóticas passavam em latitudes mais altas que 30°S e com velocidade de fase inferior (4° de longitude por dia) àquela observada em casos de incursão de ar frio (8° de longitude por dia). Um cavado em torno de 70°W, que se deslocou em latitudes subtropicais, sobre a cadeia de montanhas dos Andes foi a característica mais marcante da fase de dissipação. Este cavado faz parte de um trem de onda que foi observado desde o Oceano Pacífico Sul, em 150°W, aproximadamente.

- Em 200 hPa, nas fases de formação e de manutenção, a orientação da corrente do jato subtropical é noroeste-sudeste ou zonal, o que dificultou a entrada de frentes frias sobre a região central do Brasil. Além disso, a jato apresenta-se a sul da posição típica de inverno. Em baixas latitudes há uma crista ou uma circulação anticiclônica, o que é uma característica dos meses de verão, sobre a AS e indica uma troposfera relativamente mais quente.

As mesmas características em baixos, médios e altos níveis foram encontradas nos campos compostos, para os casos intensos de EMAQS, no dia com maior anomalia térmica diária. No campo de anomalia de temperatura do ar, as anomalias positivas ocorreram sobre a AS até aproximadamente 35°S, enquanto que as anomalias negativas de umidade específica ocorreram apenas sobre a região central do Brasil. As características principais do escoamento do ar encontradas nos níveis baixos e altos da troposfera e nos campos de pressão ao nível médio do mar concordaram com os padrões atmosféricos encontrados por Pezza e Ambrizzi (1999), para o mês de agosto de 1995 (Figura 2.1), quando ocorreram dois casos de EMAQS. Além disso, os padrões atmosféricos sobre a AS estiveram de acordo com Andrade (2005), em casos de frentes que se deslocaram zonalmente, sem atingir a região central de Brasil. Portanto, a observação destes padrões é valiosa na previsão de eventos de EMAQS na região central do Brasil.

O cálculo dos termos da Equação de Energia Termodinâmica (EET) para os dois casos permitiu algumas conclusões relevantes. No primeiro caso, a variação de temperatura do ar foi mais lenta, em torno de 1 K dia⁻¹. O termo do Aquecimento Adiabático (AA) foi o principal responsável para a formação do evento, embora a Advecção Horizontal de Temperatura do ar (AHT) a sudoeste da região de EMAQS fosse também um fator importante. Já no segundo caso, quando ocorreu um aumento de temperatura em torno de 2 K dia⁻¹, a maior contribuição para o aquecimento foi o termo de AHT, enquanto que o AA foi fraco.

Na fase de manutenção, o primeiro caso apresentou valores pequenos de AA e AHT, enquanto que o segundo caso apresentou valores mais elevados. Na fase de dissipação, a tendência de temperatura negativa (TT) foi gradual no primeiro caso e no segundo caso foi em torno de 6 K dia^{-1} . No primeiro caso, tanto a AHT como o AA apresentaram contribuição para a TT negativa, enquanto que no segundo caso, a AHT foi a principal causadora da queda brusca de temperatura do ar. Foi observado que em outros estudos de incursão de massa de ar frio, a AHT também é o principal responsável pela TT negativa (Marengo et al., 1997; Garreaud, 2000; Vera e Vigliarolo, 2000; Longo et al., 2004).

Portanto, verificou-se que a AHT participou ativamente na formação, manutenção e dissipação da EMAQS, nos dois casos. No primeiro caso, quando a variação de temperatura do ar foi lenta, o AA contribuiu para o desenvolvimento da EMAQS. No entanto, no segundo caso, quando a variação de temperatura do ar foi mais brusca, o AA foi fraco comparado a AHT, durante a formação, manutenção e dissipação da EMAQS.

7.2 - Sugestões para Estudos Futuros

Os resultados aqui apresentados permitiram o conhecimento de características básicas da EMAQS sobre a região central do Brasil, que podem ser usados no dia-a-dia do meteorologista que faz previsão de tempo. A realização de novas pesquisas sobre este assunto é necessária, pois, como escrito anteriormente, não existem muitas pesquisas sobre períodos quentes e secos, durante o inverno, que persistem por vários dias nesta região. A seguir são listadas algumas sugestões pertinentes para o estudo de EMAQS.

- Fazer uma climatologia com um maior número de anos, a fim de obter variações interdecadais, além de melhorar o estudo das variações interanuais.

- Relacionar de forma detalhada os eventos de bloqueio atmosférico sobre o Oceano Atlântico Sul às EMAQS sobre a região central do Brasil.
- Verificar a dimensão dos impactos social e econômico da EMAQS. É interessante obter a correlação entre o índice I(EMAQS) e o índice de risco de queimadas. Uma pesquisa sobre o aumento do número de internações em hospitais, devido a doenças respiratórias, nas cidades mais afetadas pela EMAQS é outro exemplo de estudo de impacto da EMAQS na população.
- Verificar se os modelos regional e global de previsão de tempo conseguem prever o início, término e a intensidade dos eventos de EMAQS. Caso a resposta seja negativa, sugere-se pesquisar como contribuir para que os modelos façam uma previsão melhor destes eventos.
- Investigar a possibilidade de as mudanças de posição das células de Hadley e Walker causarem essas mudanças na temperatura do ar sobre as Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. O deslocamento das células, principalmente nos ramos de subsidência, pode influenciar na formação das EMAQS devido ao termo do AA.
- Relacionar a Temperatura da Superfície do Mar do Atlântico Equatorial e a posição e intensidade da ASAS e da Alta Subtropical do Atlântico Norte a episódios de EMAQS. Nesta dissertação, observou-se o avanço da ASAS sobre o continente sul-americano, no entanto é importante pesquisar a intensidade central deste sistema e a possível causa deste avanço.
- Relacionar as oscilações de escala intrasazonal que atingem a AS, como a oscilação de Madden Julian aos eventos de EMAQS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alessandro, A. P.; Lichtenstein, E. Trayectorias de anticiclones em Sudamerica. **Meteorológica**, v. 20, p. 95-100, 1995.

Andrade, K. M. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2005. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1982.

Assad, E. D.; Sano, E. E.; Masutomo, R.; Castro, L. H.; Silva, F. A. M. Veranicos na região dos Cerrados Brasileiros frequência e probabilidade de ocorrência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, p. 993-1003, 1993.

Barros, V. R.; Scasso L. Surface pressure and temperature anomalies in Argentina in connection with the Southern Oscillation. **Atmosfera**, v. 7, p. 159-171, 1994.

Bastos, C. C.; Ferreira, N. J. Análise climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11. **Anais ...Rio de Janeiro: SBMET**, 2000.

Bluestein, H. B. **Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes**. New York: Oxford University Press, 1992. v. 1, 431p.

Bluestein, H. B. **Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes**. New York: Oxford University Press, v. 2, 594 p., 1993.

Carvalho, D. F.; Oliveira, M.A.A.; Souza, S. A. V.; Carvalho, P. O. L. Estimativas de ocorrência de veranicos em Seropédica, Vassouras e Piraí (RJ), e suas influências no rendimento da cultura de feijão ("Phaseolus vulgaris L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 23, p. 323-330, 1999.

Casarin, D. P. **Um estudo observacional sobre os sistemas de bloqueio no Hemisfério Sul.** (INPE – 2638 TDL/114) Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1982.

Charney, J. G.; Shukla, J.; Mo, K. C. Comparison of a barotropic blocking theory with observation. **Journal of the Atmospheric Science**, v. 38, p. 762-779, 1981.

Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista, CPTEC/INPE, v.17, n.06, 2002. Disponível em:

<<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/>>. Acesso em: 20 fev. 2004.

Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista, CPTEC/INPE, v. 2, n. 07, 1987.

Climate Prediction Center - CPC/NOAA. **Índice do El Niño Oscilação Sul.**

Disponível em < <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products> > Acesso em: 30 jun. 2004.

Fuentes, M. V. Bloqueios. **Climanálise Especial**, Edição Comemorativa de 10 Anos, 1996.

Gan, M. A.; Kousky V. E.; Ropelewsky, C. F. The South America circulation and its relationship to rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, v. 17, p. 47-66, 2004.

Garreaud, R. D. Cold air incursions over subtropical and tropical South America: A numerical case study. **Monthly Weather Review**. v. 127, p. 2823-2853, 1999.

Garreaud, R. D. Cold air incursions over subtropical South America: mean structure and dynamics. **Monthly Weather Review**, v. 128, p. 2544-2559, 2000.

Grimm, A. M.; Barros, V. R.; Doyle, M. E. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 13, p. 35-58, 2000.

Holton, J. R., 1992. **An introduction to dynamic meteorology**. New York: Academic Press, 1992. 511p.

Inazawa, E. E.; Ambrizzi, T. Modelagem numérica da interação entre corrente de jato subtropical e sistemas frontais – simulação inicial. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9. **Anais ...** Campos do Jordão: SBMET, 1996.

Iribarne J. V.; Godson W. L. **Atmospheric thermodynamics**. 3.ed. Hardcover: D. Reidel, 1985. 259p.

Jacóbsen, L. O. Estudo de casos de veranico em Porto Alegre/RS de 1961 a 1985. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 9. **Anais ...** Florianópolis, SC: SBA, 1999.

Kalnay, E.; Kanamitsu, M.; Kistler, R.; Collins, W.; Deaven, D.; Gadin, L.; Iredell, M.; Saha, S.; White, G.; Woollen, J.; Zhu, Y.; Chelliah, M.; Ebisuzaki, W.; Higgins, W.; Jonawiak, J.; Mo, K. C.; Ropelewisk, C.; Wang, J.; Leetmaa, A.; Reynold, R.; Jenne, R.; Joseph, D. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, p. 437-471, 1996.

Kayano, M. T.; Kousky, V. E. Southern Hemisphere blocking: a comparison between two indices. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.42, p. 165-170, 1990.

Kayano, M. T. S Pacific blocking episodes and their effects on the south american weather. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 69, p. 145-155, 1999.

Kousky, V. E.; Ropelewsky, C. F. Extremes in the Southern Oscillation and their relationship to precipitation anomalies with emphasis on the South America regions. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 4, p. 351-363, 1989.

Lejenas, H. Characteristics of southern hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, v. 110, p. 967-979, 1984.

Lenters, J.; Cook, K. H. Simulations and diagnosis of the regional summertime precipitation climatology of South America. **Journal of Climate**, v. 8, p. 2988-3005, 1995.

Lenters, J.; Cook, K. H. Summertime precipitation variability over South America: role of the large scale circulation. **Monthly Weather Review**, v. 127, n. 3, p. 409-431, 1998.

Longo M.; de Camargo, R.; Silva Dias, M. A. F. Análise das características dinâmicas e sinóticas de um evento de friagem durante a estação chuvosa no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 19, p. 59-72, 2004.

Machado, F. P. **Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: Serviço Gráfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1950.

Madden, R. A.; Julian, P. R. Detection of the 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. **Journal of the Atmospheric Science**, v. 28, p. 702-708, 1971.

Marengo, J. A.; Cornejo, A. G.; Satyamurty, P.; Nobre C. Cold surges in tropical and extratropical South America: The strong event in June 1994. **Monthly Weather Review**, v. 125, n. 11, p. 2759-2786, 1997.

Marengo, J. A.; Oliveira, G. S. Impactos do fenômeno La Niña no tempo e clima do Brasil: Desenvolvimento e intensificação do La Niña 1998/99. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10. **Anais ... Brasília, DF: SBMET, 1998.**

Marengo, J. A.; Ambrizzi, T.; Kiladis, G.; Liebmann, B. Upper-air wave trains over the Pacific Ocean and wintertime cold surges in tropical-subtropical South America leading to freezes in Southern and Southeastern Brazil. **Theoretical and Applied Meteorology**, v. 73, p. 223-242, 2002.

Marques, R. F. C. **Bloqueio atmosférico no Hemisfério Sul**. São José dos Campos, SP. 1996. (INPE-6742-TDI/632). Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1996.

Nascimento, E. L.; Ambrizzi, T. Aspectos dinâmico-sinóticos associados à ocorrência de bloqueios próximos da América do Sul no inverno de 1995. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9. **Anais ... Campos do Jordão, SP: SBMET, 1996.**

Nascimento, E. L.; Ambrizzi T. The influence of atmospheric blocking on the Rossby wave propagation in Southern Hemisphere winter flows. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 80, p. 139-159, 2002.

Navarra, A.; Stern, W. F.; Miyakoda, K. Reduction of the Gibbs Oscillation in Spectral Model Simulations. **Journal of Climate**, v.7, p.1169-1183, 1994.

Nimer, E., **Climatologia do Brasil**. Brasília: Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente (SUPREN), IBGE, 1979. 422p.

Nogués-Paegle, J.; Mo, K. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Monthly Weather Review**, v. 125, p. 279-291, 1997.

Padilha, C. K.; Satyamurty P. Um caso de estagnação de massa de ar quente e seco sobre a região central do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13. **Anais ...** Fortaleza, CE: SBMET, 2004.

Peixoto, J. P.; Oort A. H. **Physics of climate**. New York, Airpress, 1991. 520p.

Pezza, A. B.; Ambrizzi, T. Um estudo das flutuações de temperatura para o período de inverno na América do Sul, correlacionando a Patagônia com o Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 14, p. 23-34, 1999.

Pezza, A. B. **Ondas de frio na América do Sul e as trajetórias dos ciclones e anticiclones extratropicais: Climatologia sinótica**. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2003.

Quadro, M. F. L.; Abreu, M.L. Estudos de episódios de Zonas de Convergências do Atlântico Sul sobre a América do Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8. **Anais ...** Belo Horizonte, MG: SBMET, 1994. p. 620-623.

Quadro, M. F. L.; Machado, L. H. R.; Calbete, S.; Batista, N. N. M.; Olivera, G. S. Climatologia de Precipitação e Temperatura. **Climanálise**, Edição comemorativa de 10 anos, 1996.

Rao, V. B.; Hada, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connection with the Southern Oscillation. **Theoretical Applied Climatology**, v. 42, p. 81-92, 1990.

Rao, V. B.; Cavalcanti I. F. A.; Hada, K. Annual variations of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysics Research**, v. 101, p. 26 539-26 551, 1996.

Reinke, R. L. **Estudo das Condições Atmosféricas em Situações de Queda Acentuada de Temperatura do Ar na Região Sul do Brasil**. 2005. 190p.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. 2005.

Rex, D. F. Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate II – The climatology of blocking action. **Tellus**, v. 2, p. 275-301, 1950.

Sanchez-Ccoyllo, O. R.; Fátima Andrade, M.. Características da circulação de grande escala durante episódios de extremos de concentração de poluentes em São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10. **Anais ... Brasília, DF: SBMET**, 1998.

Satyamurty, P.; Nobre, C. A.; Silva Dias, P. L. South America: tropics. **Meteorology of the Southern Hemisphere. American Meteorological Society**, v. 27, p. 119-139, 1998.

Satyamurty, P.; Fonseca, J. F. B.; Bottino, M. J.; Seluchi, M. E.; Lourenço, M. C. M.; Gonçalves, L. G. G. An early freeze in southern Brazil in april 1999 and its NWP guidance. **Meteorological Applications**, v. 9, n. 1, p. 113-128, 2002.

Seluchi, M. E.; Serafini, Y. V.; Le Treut, H. The impact of the Andes on the transient atmospheric systems: A comparison between observational and GCM results. **Monthly Weather Review**, v. 126, n. 4, p. 895-912, 1998.

Seluchi, M. E.; Marengo, J. A. Tropical-Midlatitude exchange of air masses during summer and winter in South America: Climatic aspects and examples of intense events. **International Journal of Climatology**, v. 20, p. 1167-1190, 2000.

Seluchi, M. E.; Norte F. A.; Satyamurty P.; Chou S. C. Analysis of three situations of Foehn effect over Andes (Zonda wind) using the Eta/CPTEC regional model. **Weather and Forecast**, v. 18, p. 481-501, 2003.

Seluchi, M. E.; Garreaud, R. D.; Norte, F. A.; Saulo, A. C. Influência da Cordilheira dos Andes sobre os sistemas frontais na América do Sul: Estudo de caso utilizando o modelo regional Eta/CPTEC. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13. **Anais ...** Fortaleza, CE: SBMET, 2004.

Silva, M. A. V.; Pinto, J. M.; Silva, I. O. Análise de Veranicos dentro da estação chuvosa do cerrado baiano. Estudo de períodos de 20 dias. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 9. **Anais ...** Florianópolis, SC: SBA, 1999.

Sinclair, M. R.. A climatology of anticyclones and blocking for the southern hemisphere. **Monthly Weather Review**, v. 124, p. 245-263, 1996.

Smith, T.M.; Reynolds R.W. Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS data (1854-1997). **Journal of Climate**, v. 16, p. 1495-1510, 2003.

Treidl, R. A.; Birch E. C.; Sajecki, P. Blocking action in the Northern Hemisphere: A climatological study. **Atmosphere-Ocean**, v. 19, p. 1-23, 1981.

Van Loon, H. Blocking action in Southern Hemisphere. Part 1. **Notos**, v. 5, p. 171-175, 1956.

Varejão-Silva, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: INMET, 2002. 515p.

Vera, C. S.; Vighiarolo P. K. A diagnostic study of cold-air outbreaks over South América. **Monthly Weather Review**, v. 128, p. 3-24, 2000.

Virji, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. **Monthly Weather Review**, v. 109, p. 549-610, 1981.

APÊNDICE A

CAMPOS DE PRECIPITAÇÃO

Da Figura A.1 a Figura A.14 tem-se os campos de precipitação total (soma da precipitação de todos os dias de EMAQS), para os casos que apresentam precipitação média na região superior a 0.5 mm/dia. Dentre os 35 casos encontrados, 21 tiveram precipitação inferior 0.5 mm/dia.

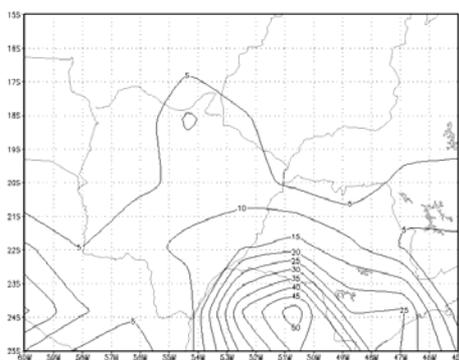


FIGURA A.1 – Precipitação total no período de 25 de agosto a 1º de setembro de 1985, referente ao Caso 1. Maior precipitação nos estados do Paraná e São Paulo.

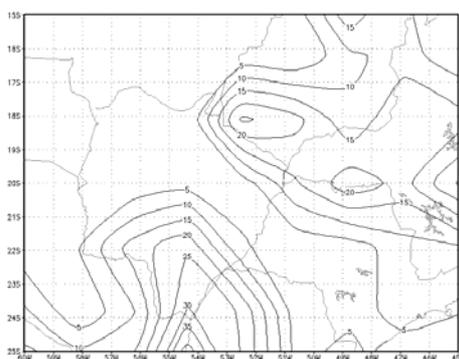


FIGURA A.2 – Precipitação total no período de 12 a 23 de setembro de 1985, referente ao Caso 2.

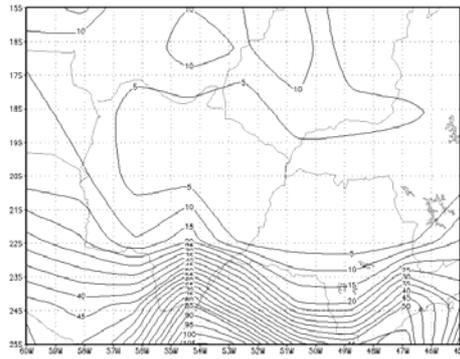


FIGURA A.3 – Precipitação total no período de 07 a 29 de julho de 1987, referente ao Caso 4. O estado do Paraná e o leste de São Paulo não foram atingidos pela EMAQS.

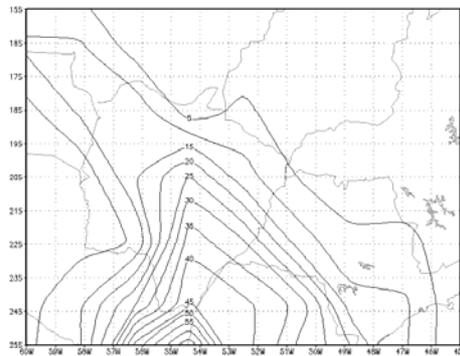


FIGURA A.4 – Precipitação total no período de 03 a 09 de junho de 1992, referente ao Caso 7.

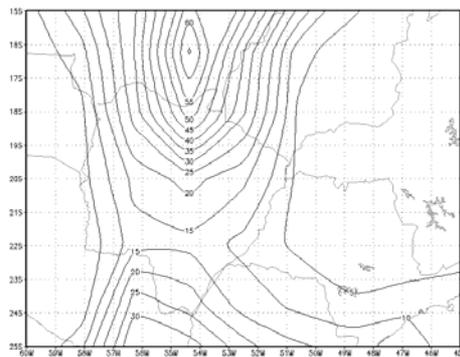


FIGURA A.5 – Precipitação total no período de 02 a 11 de maio de 1994, referente ao Caso 11.

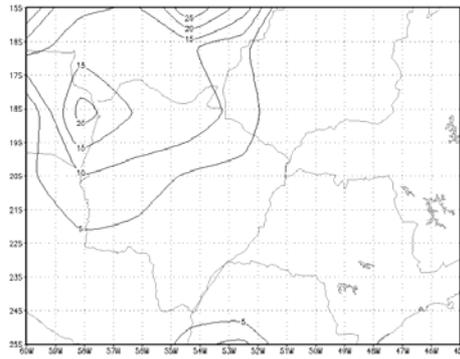


FIGURA A.6 – Precipitação total no período de 19 a 26 de setembro de 1994, referente ao Caso 13.

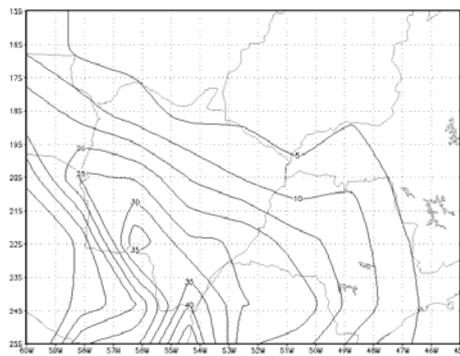


FIGURA A.7 – Precipitação total no período de 10 a 17 de junho de 1995, referente ao Caso 15.

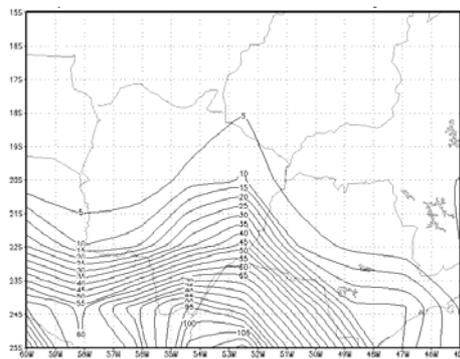


FIGURA A.8 – Precipitação total no período de 11 a 26 de agosto de 1998, referente ao Caso 22. A EMAQS atingiu latitudes menores que 22°S.

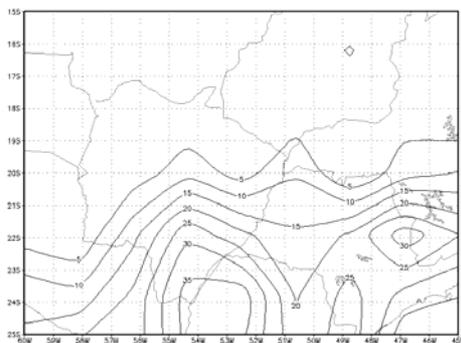


FIGURA A.9 – Precipitação total no período de 11 a 18 de setembro de 1998, referente ao Caso 23.

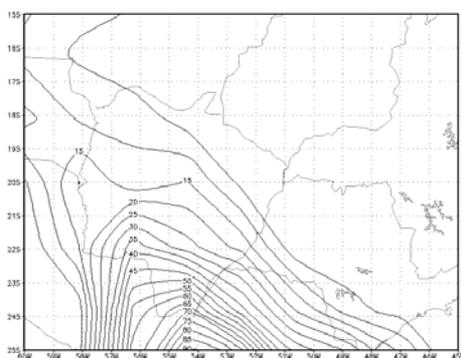


FIGURA A.10 – Precipitação total no período de 24 de junho a 02 de julho de 2000, referente ao Caso 26.

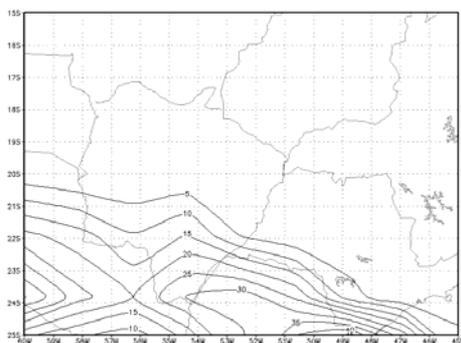


FIGURA A.11 – Precipitação total no período de 21 a 27 de agosto de 2000, referente ao Caso 27.

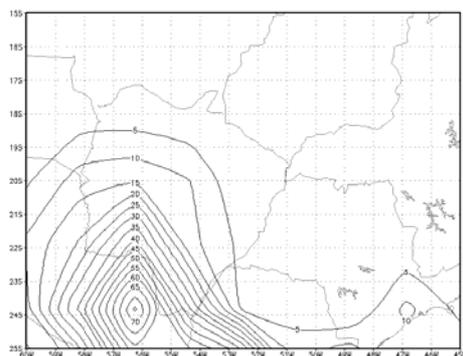


FIGURA A.12 – Precipitação total no período de 12 a 29 de agosto de 2002, referente ao Caso 31. A EMAQS não atingiu o sul do Paraguai.

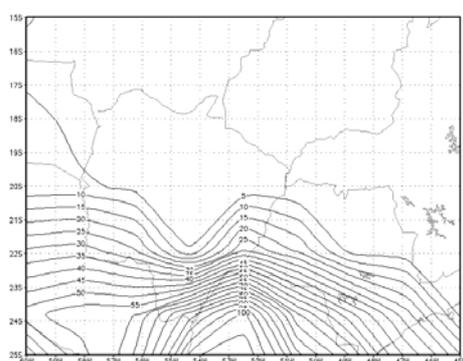


FIGURA A.13 – Precipitação total no período de 10 a 20 de setembro de 2002, referente ao Caso 32. A EMAQS atingiu as latitudes menores que 22°S.

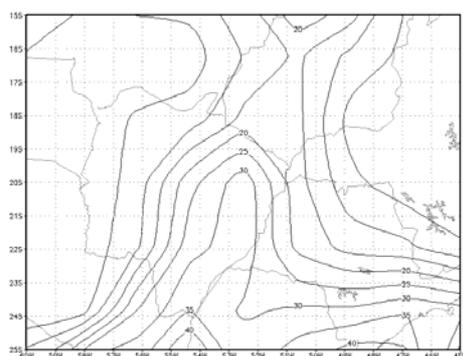


FIGURA A.14 – Precipitação total no período de 25 de abril a 02 de maio de 2003, referente ao Caso 33.

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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