MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-13833-TDI/1056

ESTUDO DAS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS EM SITUAÇÕES DE QUEDA ACENTUADA DE TEMPERATURA DO AR NA REGIÃO SUL DO BRASIL

Ricardo Lauxe Reinke

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelos Drs. Manoel Alonso Gan e Marley Cavalcante de Lima Moscati, aprovada em 11 de abril de 2005.

INPE
São José dos Campos
2006

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

551.5

Reinke, R. L.
Estudo das Condições Atmosféricas em Situações de Queda Acentuada de Temperatura do Ar na Região Sul do Brasil / Ricardo Lauxe Reinke. - São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005.
188 p.; - (INPE-13833-TDI/1056)

1.Meteorologia. 2.Queda de Temperatura do Ar. 3.Incursão de Ar Frio. 4.Geada. 5.Padrões Atmosféricos. I. Título

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

Dr. José Antonio Marengo Orsini

Presidente / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati

Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Manoel Alonso Gan

Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Marcelo Enrique Seluchi

Membro da Banca / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dra. Natália Fedorova

Convidado(a) / UFAL / Maceió - AL

Aluno (a): Ricardo Lauxe Reinke

São José dos Campos, 11 de abril de 2005

“Tudo tem a sua ocasião própria, e há tempo para todo propósito debaixo do céu.” *Eclesiastes 3.1*

A meus pais,

VALTER VEEG REINKE e
NELY VERA LAUXE REINKE.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e Seu infinito amor por mim. 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.

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

Ao 8° Distrito de Meteorologia, do Instituto Nacional de Meteorologia (8° DISME/INMET), ao Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos/Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural (CIRAM/EPAGRI) e ao Sistema Meteorológico do Paraná/Instituto Agronômico do Paraná (SIMEPAR/IAPAR) pelo fornecimento dos dados de temperatura mínima e máxima do ar, imprescindíveis à realização deste estudo.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, pelo aprendizado. Em especial, aos meus orientadores Manoel Alonso Gan e Marley Cavalcante de Lima Moscati pelo conhecimento compartilhado.

Ao colega Dirceu Luís Severo pela ajuda concedida durante o desenvolvimento da dissertação.

À minha amada Carina (namorada, amiga, colega) que sempre esteve comigo nesses dois anos de curso.

A meu irmão Guilherme, amigo pra todas as horas e distâncias. E a meus pais que sempre me mostraram a importância do estudo. “A distância mostra, ainda mais, o valor das pessoas que amamos”.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi obter os padrões atmosféricos associados à Queda Acentuada de Temperatura do ar (QAT) na Região Sul do Brasil e fazer uma análise estatística de Quedas de Temperatura (QT) e QAT nessa região. Foram utilizados dados de temperatura mínima e máxima diária do ar de 28 estações meteorológicas, dados de reanálises do NCEP/NCAR e imagens de satélite. O período de estudo foi de maio a setembro entre os anos de 1996 a 2003. Inicialmente, fez-se um estudo da magnitude, da distribuição e das freqüências espacial e temporal de QT e QAT no sul do Brasil. Nessa análise verificou-se que, em geral, as maiores (menores) magnitudes, as maiores (menores) variações intermensais e a maior (menor) variabilidade diária de QT e de QAT ocorreram no lado oeste (no litoral) da Região Sul do Brasil. Uma análise detalhada das QAT permitiu que, em uma dada estação meteorológica, essas fossem classificadas em: Tipo A, o qual abrange o evento de incursão de ar frio que não é capaz de provocar uma anomalia negativa de temperatura do ar (T); Tipo B, que representa a troca de um ar quente anômalo por um ar frio anômalo; e Tipo C, que corresponde a eventos de incursão de ar frio num período anomalamente frio. A partir dessa análise, selecionou os eventos extremos de QAT do Tipo B ocorridos em duas áreas distintas da região, com o fim de construir campos compostos. Dentre os três tipos de QAT, selecionou-se o Tipo B para a escolha dos casos utilizados nos compostos, por melhor representar a troca de massas de ar sobre a Região Sul do Brasil e, ser o tipo mais freqüente. Dentre os padrões atmosféricos associados à QAT destacam-se: (1) a influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul que é responsável pela permanência de um escoamento do ar de noroeste sobre AS antes da QAT, o qual transporta ar quente das latitudes tropicais para a Região Sul do Brasil, contribuindo para o aumento da T e da umidade específica, além da diminuição da pressão ao nível médio do mar; (2) a presença de um jato de noroeste em baixos níveis sobre a AS (22°S) dois dias antes da QAT na Região Sul do Brasil; (3) o deslocamento de um anticiclone do Oceano Pacífico Leste para o interior da AS em uma trajetória continental um dia antes da QAT; (4) intensificação do gradiente de pressão sobre o sudeste da América do Sul, entre um sistema de alta pressão sobre o continente e um de baixa pressão sobre o Oceano Atlântico, favorecendo a incursão de ar frio e seco no sul do Brasil no dia da QAT; (5) mudança do escoamento de norte para sul em baixos níveis sobre a Região Sul do Brasil no dia da QAT; (6) a intensificação da corrente de jato em altos níveis sobre a região subtropical da AS dois dias antes da QAT, contribuindo para a intensificação do anticiclone em superfície; (7) a propagação de uma onda baroclínica sobre o Oceano Pacífico vários dias antes da QAT, exibindo uma amplificação corrente abaixo da onda; este é um possível precursor de eventos de geada no sul do Brasil; e (8) os compostos dos casos selecionados no norte da Região Sul do Brasil apresentaram, em geral, um padrão atmosférico semelhante aos compostos dos casos selecionados no sul da região, porém, foram mais intensos. Assim, obteve-se um melhor entendimento das condições atmosféricas em situações de QAT, possibilitando informações mais detalhadas sobre incursões de ar frio sobre a Região Sul. Por fim, fez uma descrição sinótica de um caso de geada total na Região Sul do Brasil, ocorrido após o diagnóstico de QAT em grande parte da região de estudo, em uma tentativa de associar os padrões atmosféricos de QAT com o fenômeno geada.

STUDY OF THE ATMOSPHERIC CONDITIONS IN SITUATIONS OF INTENSE DROP OF AIR TEMPERATURE ON THE SOUTH REGION OF BRAZIL

ABSTRACT

The objective of this study was to obtain both atmospheric patterns associated with Intense Drop of air Temperature (IDT) in the South Region of Brazil and a statistical analysis about Drop of air Temperature (DT) and IDT in this region. Minimum and maximum daily air temperature (T) data from 28 meteorological stations, the reanalysis data of NCEP-NCAR and infrared satellite pictures during wintertime (May-September), from 1996 to 2003, were used. At first, the study of the magnitude, of the distribution and of the spatial and temporal frequency of both IDT and DT was realized. This analysis shows that the biggest (lesser) magnitudes, distributions and daily variability of both IDT and DT occurred on the west sector (coast) of the South Region of Brazil. A detailed analysis of the IDT allowed for one given meteorological station, a classification: Type A, events of cold air incursion that were not capable to provoke a negative T anomaly; Type B, represents the exchange of positive T anomalous for an anomalous cold air of the region; e Type C, corresponds events of cold air incursion during a period of negative T anomaly. After this analysis, extreme events of Type B IDT occurred in two distinct areas on the region were selected to construct composite fields. Amongst the three IDT types, the Type B represented better the exchange of air masses over Southern Brazil and it was more frequent. The most important atmospheric patterns associated with IDT on the South of Brazil were: (1) the influence of the Atlantic Subtropical High in the permanence northwesterly flow over South America (SA), bringing warm and humidity from the tropical latitudes to South Region of Brazil before the IDT on the region, contributing to the increase of the T and of the specific humidity, beyond the reduction of sea level pressure on the region; (2) the presence of a northwesterly jet in low levels over SA (22°S) two days before the QAT in the South Region of Brazil; (3) the displacement of an anticyclone for the Pacific Ocean East to the interior of SA with a continental trajectory just one day before the IDT; (4) intensification of the pressure gradient over the Southeast of the SA, between the high-pressure system over the continent and the low pressure over the Atlantic Ocean, favoring cold and dry air incursion over the south of Brazil in the day of the IDT; (5) change in the flow from north to south in low levels over the South Region of Brazil in the day of the IDT; (6) the intensification of the high level Jet over the subtropical region of the SA with at least two days before the occurrence of the IDT in the study region, contributing for the intensification of the anticyclone in surface; (7) the propagation of a baroclinic wave over the Pacific Ocean some days before the IDT, showing a downstream amplification of the wave. It's a possible precursor to major freeze events over South Brazil; and (8) the composites of the cases selected for the north sector of the South Region of Brazil presented, in general, a similar atmospheric patterns with the composites of the cases selected for the south sector of the region, however more intense. Thus, improvement of the knowledge of the atmospheric conditions in IDT situations, that contribution to a better understanding of the cold air incursions over South Region of Brazil were showed. Finally, a synoptic analysis of a total frost case on the South Region of Brazil occurred after the diagnosis of IDT over a large extent of the study region was made, associated with the atmospheric patterns of IDT.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SÍMBOLOS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO 27

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 33

CAPÍTULO 3 - DADOS E METODOLOGIA 47

3.1 - Dados 47
3.2 - Metodologia 50
3.2.1 - Análise Estatística 50
3.2.2 - Campos Compostos 53
3.2.3 - Estudo de Caso 55

CAPÍTULO 4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA 57

4.1 - Temperatura Diária do Ar 57
4.2 - Queda da Temperatura Diária do Ar 61
4.3 - Queda Acentuada da Temperatura Diária do Ar 70

CAPÍTULO 5 - PADRÕES ATMOSFÉRICOS ASSOCIADOS À EVENTOS EXTREMOS DE QAT_{min} 81

CAPÍTULO 6 - ESTUDO DE CASO 131

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS 165

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 171

APÊNDICE A - ANEXOS 181

LISTA DE FIGURAS

Pág.

1.1 – Relevo da Região Sul do Brasil 30

1.2 – Climatologia (1931-1960) do número de dias de ocorrência de geada durante o ano (expressa em dia ano^{-1}) 31

2.1 – Situação sinótica em superfície referente à casos de geada intensa associada a um anticiclone em superfície que ocorreram em: a) 17 de julho de 1975 as 12 UTC, b) 16 de julho de 1973 as 12 UTC 37

2.2 – Modelo Conceitual da incursão de ar frio sobre a AS 46

3.1 – Localização das estações meteorológicas na Região Sul do Brasil 48

4.1 – Distribuição espacial para o período de maio a setembro (1996 a 2003) de: a) $\overline{T}_{min}$, b) $\overline{T}_{max}$, c) $\overline{T}_{med}$ 58

4.2 – Distribuição espacial do $\overline{\sigma}$ de: a) $\overline{T}_{min}$, b) $\overline{T}_{max}$, c) $\overline{T}_{med}$, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003) 60

4.3 – Distribuição espacial de: a) $\overline{QT}_{min}$, b) $\overline{QT}_{max}$, c) $\overline{QT}_{med}$, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003) 62

4.4 – Variação intermensal de: a) $\overline{QT}_{min}$, b) $\overline{QT}_{max}$, c) $\overline{QT}_{med}$, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003) 65

4.5 – Variação regional da média e do $\overline{\sigma}$ (em preto) de: a) QT_{min}, b) QT_{max}, c) QT_{med}, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003) 67

4.6 – Distribuição espacial do $\overline{\sigma}$ de: a) QT_{min}, b) QT_{max}, c) QT_{med}, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003) 68

4.7 – Variação regional de: a) $\overline{QAT}_{min}$ (azul), b) $\overline{QAT}_{max}$ (vemelho), c) $\overline{QAT}_{med}$ (amarelo) e seus respectivos "limiares" (preto), correspondente ao período de maio a setembro (1996-2003) 71

4.8 – Distribuição espacial de: a) $\overline{QAT}_{min}$, b) $\overline{QAT}_{max}$, c) $\overline{QAT}_{med}$, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003) 72

4.9 – Variação intermensal de: a) $\overline{QAT}_{min}$, b) $\overline{QAT}_{max}$, c) $\overline{QAT}_{med}$, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003) 74

4.10 – Distribuição da freqüência de $\overline{QAT}_{min}$ de: a) Tipo A, b) Tipo B, c) Tipo C para a Região Sul do Brasil, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003) 77

4.11 – Idem à Figura 4.10, exceto $\overline{QAT}_{max}$ 78

4.12 – Idem à Figura 4.10, exceto $\overline{QAT}_{med}$ 79

5.1 – a) Distribuição espacial dos eventos extremos de $\overline{QAT}_{min}$ do Tipo B na Região Sul do Brasil, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003); b) Localização geográfica de A1 e A2 na AS 82

5.2 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de anomalias de T em 925 hPa, para os dias: a) D-3, b) D-2, c) D-1, d) D0, e) D1, f) D2. As regiões com significância superior a 95% estão indicadas pelo contorno tracejado preto 85

5.3 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de PNM (hPa), para os dias: a) D-2, b) D-1, c) D0, d) D1 89

5.4 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de anomalia de PNM (hPa), para os dias: a) D-4, b) D-3, c) D-2, d) D-1, e) D0, f) D1. As regiões com significância superior a 95% estão indicadas pelo contorno tracejado preto 92

5.5 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de advecção de T (°C dia^{-1}) em 925 hPa, para os dias: a) D-2, b) D0 96

5.6 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de ROLE (W m^{-2}), para os dias: a) D-1, b) D0, c) D1 98

5.7 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de Linhas de Corrente (m s^{-1}) em 850 hPa, para os dias: a) D-3, b) D-2, c) D-1, d) D0, e) D1 101

5.8 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) do corte zonal de v (m s^{-1}) em 22°S, para os dias: a) D-2, b) D0. Uma localização aproximada e hipotética dos Andes é indicada em preto. Os fluxos de norte e sul são representados por N e S, respectivamente 104

5.9 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) do corte zonal de v (m s^{-1}) em A1 (30°S) e em A2 (24°S), respectivamente, para os dias: a) D-2, b) D0. Uma localização aproximada e hipotética dos Andes é indicada em preto. Os fluxos de norte e sul são representados por N e S, respectivamente 105

5.10 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de anomalia de v (m s^{-1}) em 850 hPa, para os dias: a) D-2, b) D-1, c) D0, d) D1. As regiões com significância superior a 95% estão indicadas pelo contorno tracejado preto 107

5.11 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de q (g kg^{-1}) em 850 hPa, para os dias: a) D-1, b) D0, c) D1 110

5.12 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de anomalia de q (g kg^{-1}) em 850 hPa, para os dias: a) D-1, b) D0, c) D1. As regiões com significância superior a 95% estão indicadas pelo contorno tracejado preto 112

5.13 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de ω (Pa s^{-1}) em 500 hPa, para os dias: a) D-2, b) D-1, c) D0 114

5.14 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) do corte meridional de ω (Pa s^{-1}), para os dias: a) D-1, b) D0 116

5.15 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de linhas de corrente e magnitude do vento (m s^{-1}) em 500 hPa para os dias: a) D-1, b) D0, c) D1 118

5.16 – Idem a Figura 5.15, exceto 300 hPa 120

5.17 – Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de anomalia de z (mgp) em 500 hPa para os dias: a) D-3, b) D-2, c) D-1, d) D0. As regiões com significância superior a 95% estão indicadas pelo contorno tracejado preto 124

5.18 – Idem a Figura 5.17, exceto 300 hPa 126

5.19 – Diagrama de Hovmöller do Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de anomalia de z em 300 hPa ao longo da latitude de 50°S 128

5.20 – Modelo conceitual de QAT_{min} do Tipo B na Região Sul do Brasil em baixos níveis, para os dias: a) D-2, b) D-1, c) D0 129

5.21 – Modelo conceitual de QAT_{min} do Tipo B na Região Sul do Brasil em médios e altos níveis para o dia D0 129

6.1 – Variação diária de T_{min} em julho de 2000 nas Est_07, Est_10, Est_20 e Est_21 132

6.2 – Imagens do satélite GOES-8 no canal infravermelho, às 06:00 UTC, para os dias: (a) 08 de julho de 2000 (D-3), (b) 09 de julho de 2000 (D-2), (c) 10 de julho de 2000 (D-1), (d) 11 de julho de 2000 (D0), (e) 12 de julho de 2000 (D1), (f) 14 de julho de 2000 (D3) 133

6.3 – Campo de PNM (hPa) às 06:00 UTC, para os dias: (a) D-3, (b) D-2, (c) D-1, (d) D0, (e) D2 e (f) D3 137

6.4 – Trajetória do centro de alta (entre os dias D-3 e D4) e de baixa pressão (entre os dias D-1 e D4) 138

6.5 – Configuração esperada para o campo de PNM: a) desprezando os efeitos adiabáticos e b) incluindo os efeitos adiabáticos 139

6.6 – Campo de T (°C) em 925 hPa, às 06:00 UTC, para os dias: a) D-3, b) D-1, c) D0, d) D1, e) D2, f) D3 141

6.7 – Advecção de T (°C dia^{-1}) em 925 hPa, às 06:00 UTC, para os dias: a) D-3, b) D0 142

6.8 – Anomalias de T (°C) em 925 hPa para os dias: a) D-2, b) D-1, c) D0, d) D1, e) D2, f) D3 143

6.9 – Anomalias de PNM (hPa) para os dias: a) D-3, b) D-1, c) D0, d) D2 145

6.10 – Linhas de Corrente e magnitude do vento (m s^{-1}) em 850 hPa, às 06:00 UTC, para os dias: a) D-3, b) D-1, c) D0, d) D1, e) D2, f) D3 147

6.11 – Anomalias de v (m s^{-1}) em 850 hPa, para os dias: a) D-3, b) D-1, c) D0, d) D1 149

6.12 – Corte zonal de v (m s^{-1}) em 24°S para os dias: a) D-3, b) D0; e em 10°S para o dia: c) D2. Uma localização aproximada e hipotética dos Andes é indicada. Os fluxos de Norte e Sul são representados por N e S, respectivamente 150

6.13 – Campo de q (g kg^{-1}) em 850 hPa, às 06:00 UTC, para os dias: a) D-2, b) D-1, c) D0, d) D1, e) D2, f) D3 152

6.14 – Anomalias de q (g kg^{-1}) em 850 hPa, para os dias: a) D-1, b) D3 153

6.15 – ω (Pa s^{-1}) em 500 hPa, para os dias: a) D-3, b) D-1, c) D0, d) D2 154

6.16 – Corte Meridional de ω (Pa s^{-1}) sobre a Região Sul do Brasil (55°W), para os dias: a) D-1, b) D0, c) D2 155

6.17 – Linhas de Corrente e magnitude do vento (m s^{-1}) em 500 hPa, às 06:00 UTC, para os dias: a) D-3, b) D-1, c) D0, d) D1, e) D2, f) D3 157

6.18 – Idem a Figura 6.17, exceto 300 hPa 158

6.19 – Anomalias de z (mgp) em 500 hPa, para os dias: a) D-3, b) D-2, c) D-1, d) D0, e) D1, f) D3 160

6.20 – Idem a Figura 6.19, exceto 300 hPa 162

A.1 – Neve em São José dos Ausentes (RS) em 12 de julho de 2000 188

A.2 – Rio e vegetação congelados em São Joaquim (SC) em 14 de julho de 2000 188

LISTA DE TABELAS

Pág.

1.1 – Produção agrícola e frutífera da Região Sul do Brasil em 2002. 27

1.2 – Massas de ar frio que causaram geadas (total ou parcial) e precipitação de neve na Região Sul do Brasil, durante o período de 1988-1996. 28

1.3 – Números relativos (%) das áreas pertencentes aos estados da Região Sul do Brasil, dados em função da altitude (m). 29

3.1 – Estações Meteorológicas distribuídas na Região Sul do Brasil 49

4.1 – Características de $\overline{QAT}_{min}$, $\overline{QAT}_{max}$, $\overline{QAT}_{med}$ dos Tipos A, B e C, correspondentes ao período maio a setembro (1996-2003) 76

5.1 – Cronologia dos eventos extremos de QAT_{min} do Tipo B ocorridos em A1 e em A2 83

5.2 – Freqüências mensal e anual da ocorrência de eventos extremos de QAT_{min} do Tipo B, em A1 e em A2 83

A.1 – Valores mensais de $\overline{QAT}_{min}$, $\overline{QAT}_{max}$ e $\overline{QAT}_{med}$, em cada estação meteorológica 182

A.2 – Valores dos limiares ($QAT > \overline{QT} + \bar{\sigma}$) mensais de QAT_{min}, QAT_{max} e QAT_{med}, em cada estação meteorológica 183

A.3 – Valores dos limiares ($QAT > \overline{QT} + 2\bar{\sigma}$) mensais de eventos extremos de QAT_{min}, QAT_{max} e QAT_{med}, em cada estação meteorológica 184

A.4 – Porcentagem sobre o total de $\overline{QAT}_{min}$ do Tipo A, B e C 185

A.5 – Idem à Figura A.4, exceto $\overline{QAT}_{max}$ 186

A.6 – Idem à Figura A.4, exceto $\overline{QAT}_{med}$ 187

LISTA DE SÍMBOLOS

$\bar{}$	-	Média
,	-	Anomalia
A, B	-	Centro de Anticiclone e Ciclone (hPa), respectivamente
D0	-	Dia em que se observa a Queda de Temperatura do ar
D-1	-	Dia anterior a Queda de Temperatura do ar
D1	-	Dia seguinte a Queda de Temperatura do ar
n	-	Número total de anos
n_1 e n_2	-	Número de elementos do grupo de dados 1 e 2, respectivamente
PNM	-	Pressão ao Nível Médio do Mar
q	-	Umidade específica (g kg^{-1})
ROLE	-	Radiação de Onda Longa Emergente (W m^{-2})
S_p^2	-	Variância ponderada
t	-	Valor do Teste t-Student
T	-	Temperatura do ar (°C)
T_d	-	Temperatura do ponto de orvalho (°C)
T_{min}	-	Temperatura mínima do ar (°C)
T_{max}	-	Temperatura máxima do ar (°C)
T_{med}	-	Temperatura média do ar (°C)
u	-	Componente zonal do vento (m s^{-1})
v	-	Componente meridional do vento (m s^{-1})
X_1 e X_2	-	Grupo de dados 1 e 2, respectivamente
z	-	Altura Geopotencial (mgp)
ω	-	Movimento Vertical Omega (Pa s^{-1})
σ	-	Desvio padrão
$\sum$	-	Somatório
ΔT	-	Variação interdiurna da Temperatura do ar

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

8°DISME - Oitavo Distrito de Meteorologia
A1 - Área 1
A2 - Área 2
AS - América do Sul
ASAS - Alta Subtropical do Atlântico Sul
CDC - Climate Diagnostics Center
CIRAM - Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos
CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural
Est_ - Estação Meteorológica
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná
JBN - Jato de Baixos Níveis
JS - Jato de baixos níveis de Sul
MMS - Média Móvel Simples de 5 dias
NCAR - National Centers for Atmospheric Research
NCEP - National Centers for Environmental Prediction
NVM - Núcleo de Velocidade Máxima
PI - Padrão Inverso
PR - Paraná
QT - Queda de Temperatura do ar
QT_{max} - Queda de Temperatura máxima do ar
QT_{min} - Queda de Temperatura mínima do ar
QT_{med} - Queda de Temperatura média do ar
QAT - Queda Acentuada de Temperatura do ar
QAT_{max} - Queda Acentuada de Temperatura máxima do ar
QAT_{min} - Queda Acentuada de Temperatura mínima do ar
QAT_{med} - Queda Acentuada de Temperatura média do ar

RS	-	Rio Grande do Sul
SC	-	Santa Catarina
SIMEPAR	-	Sistema Meteorológico do Paraná
SP	-	São Paulo
VCAN	-	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
UTC	-	Universal Time Coordenate

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Região Sul do Brasil foi responsável por grande parte das produções agrícola e frutífera do país em 2002 (Tabela 1.1). Mas, freqüentemente, massas de ar frio e seco atingem essa região causando quedas significativas de Temperatura do ar (T) as quais, muitas vezes, resultam em ocorrência de geadas, e conseqüentemente, perdas nas produções. Vale ressaltar que, embora o turismo e a indústria têxtil, por exemplo, se beneficiem com eventos de incursão de ar frio, a grande maioria dos setores econômico e social dessa região sofre grandes prejuízos com tais eventos. Dentre estes setores destacam-se: transporte, fornecimento de energia elétrica, saúde pública, agropecuária e principalmente, o setor agrícola.

TABELA 1.1 - Produções agrícola e frutífera da Região Sul do Brasil em 2002.

cultura	*(Produção) %*	*cultura*	*(Produção) %*
Maçã	99,7	Pêssego	77,1
Arroz em grão	97,3	Uva	61,8
Fumo	96,3	milho	46,8
Trigo	93,2	Soja em grão	37,2

FONTE: IBGE (2003).

Apenas para destacar a importância da incursão de ar frio sobre a AS e seu impacto sobre a produção agrícola da Região Sul do Brasil, ressaltam-se as geadas que ocorreram durante o período de 11 a 23 de julho de 2000. Segundo o Jornal Folha de São Paulo (Murakawa, 2000), as perdas nas plantações de café resultaram em um aumento nos preços, de mais de 133% nas bolsas de valores de Nova York e Chicago, devido à geada. O Estado do Paraná (PR) teve uma perda na safra de café de 2000-2001 da ordem de 90%, onde os prejuízos também afetaram a produção do ano seguinte. O

Departamento de Agricultura do Estado do PR estimou que em aproximadamente 80% da área plantada com café ocorreram danos durante a fase de crescimento dessa cultura. Além disso, houve uma redução de 80% na plantação de milho, 35% na de trigo e 5% na produção de leite. Estimou-se em julho de 2000, que a geada causou um prejuízo de aproximadamente um bilhão de Reais ao estado do PR. Porém, o fato mais trágico foi que, devido ao frio, 10 brasileiros morreram na Região Sul do Brasil.

Segundo o levantamento feito pelo Boletim Climanálise, em sua edição especial de comemoração dos 10 anos (Climanálise, 1996), a maior freqüência de incursões de massas de ar frio na Região Sul do Brasil durante o período de 1988 a 1996, ocorreu em junho (33 casos). Em média, entre maio e setembro ocorreram 8 casos de geada total, 18 casos de geada parcial e 5 casos de neve na Região Sul do Brasil (Tabela 1.2). Também, os meses de junho e julho apresentaram a maior quantidade de eventos de geada total, onde as menores T foram registradas nas regiões serranas do Sul do país (Climanálise, 1996). Pezza (2003) fez um levantamento do número total de geadas em São Paulo durante o período de maio a setembro de 1933 a 2002 e, observou que a maior freqüência de eventos foi julho e as menores em maio e setembro.

TABELA 1.2 - Massas de ar frio que causaram geadas (total ou parcial) e precipitação de neve na Região Sul do Brasil, durante o período de 1988-1996.

Meses	*Massas de ar frio*	*Geada Total*	*Geada Parcial*	*Neve*
Maio	30	07	23	03
Junho	33	11	21	04
Julho	28	11	17	12
Agosto	28	09	14	06
Setembro	25	04	16	02
MÉDIA	**28**	**08**	**18**	**05**

FONTE: Climanálise (1996).

A distribuição geográfica da T na Região Sul do Brasil durante o inverno é fortemente influenciada pelo relevo, pela maritimidade e pelas variações da latitude, que afetam tanto a distribuição espacial das Quedas de Temperatura (QT), como também o número de ocorrência de geadas durante o ano (Nimer, 1979). A Tabela 1.3 apresenta áreas (em %) pertencentes aos estados da Região Sul do Brasil em função da altitude. A análise dessa tabela mostra que 77,57% do estado do PR é constituído pelo Planalto Meridional, compreendido entre altitudes de 300 m e 900 m. Em Santa Catarina (SC), o Planalto Meridional representa 56,22% do seu território, sendo 20,45% áreas serranas (acima de 900 m) e 23,33% áreas com altitudes inferiores a 300 m. As planícies (abaixo de 300 m) constituem 70,43% do território do Rio Grande do Sul (RS) e apenas 1,67% ultrapassa 900 m de altitude. Portanto, o que caracteriza a topografia da Região Sul do Brasil é a existência de largas extensões de superfícies do Planalto Meridional (em sua maior parte no PR e em SC), e uma extensa região de planície, no RS. A Figura 1.1 ilustra o relevo dessa região, onde se observa que do litoral norte do Estado do PR até o litoral norte do estado do RS, a faixa litorânea é estreita, tendo à oeste uma acentuada elevação do relevo. Do litoral norte do RS até o extremo sul deste estado, a região costeira se alarga, apresentando extensas planícies que cercam as maiores lagoas do país.

TABELA 1.3 - Números relativos (%) das áreas pertencentes aos estados da Região Sul do Brasil, dados em função da altitude (m).

ESTADOS	*NÚMEROS RELATIVOS (%) DAS ÁREAS SEGUNDO AS ALTITUDES (m)*						
	0-100	100-200	200-300	300-600	600-900	> 900	TOTAL
RIO GRANDE DO SUL	29,02	24,51	16,90	18,97	8,93	1,67	100
SANTA CATARINA	10,82	5,37	7,14	25,39	30,83	20,45	100
PARANÁ	1,12	1,46	7,66	37,24	40,33	12,19	100

FONTE: Nimer (1979).

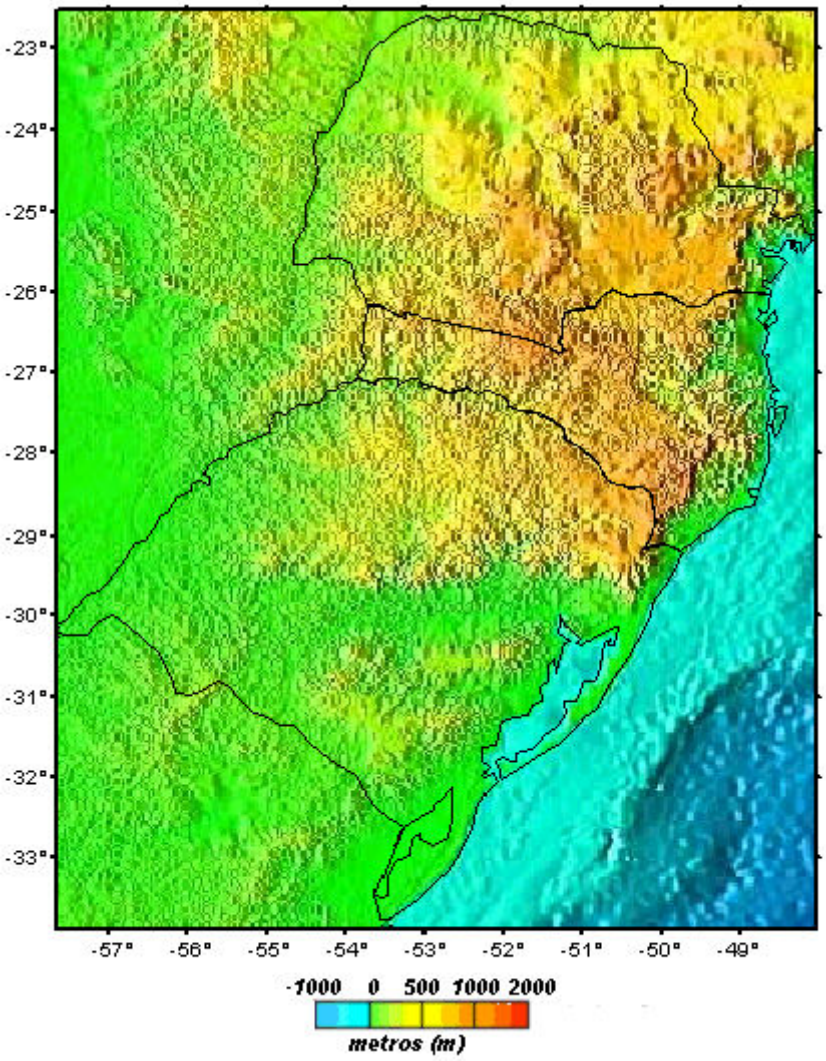


FIGURA 1.1 - Relevo da Região Sul do Brasil.
FONTE: Adaptada de GCDC/NOAA (2004).

A única climatologia de dias de ocorrência de geada durante o ano (expressa em dia ano^{-1}) disponível para a Região Sul, elaborada por Nimer (1979), é apresentada na Figura 1.2. A análise dessa figura mostra que, as geadas ocorrem na faixa de 3-5 dia ano^{-1} no leste da Região Sul do Brasil e norte do PR, em torno de 10 dia ano^{-1} na Depressão Central do RS e de 20 - 30 dia ano^{-1} na parte sudoeste do RS, sudoeste do PR, oeste SC, enquanto nas áreas mais elevadas é da ordem de 30 dia ano^{-1}ou mais. A isolinha de 1 dia ano^{-1} ilustra que, em quase toda a baixada litorânea, a ocorrência de geada não excede a mais de um dia durante o ano. A influência termorreguladora do

mar sobre a T, contribui para que o menor número de geadas ocorram no litoral da Região Sul do Brasil.

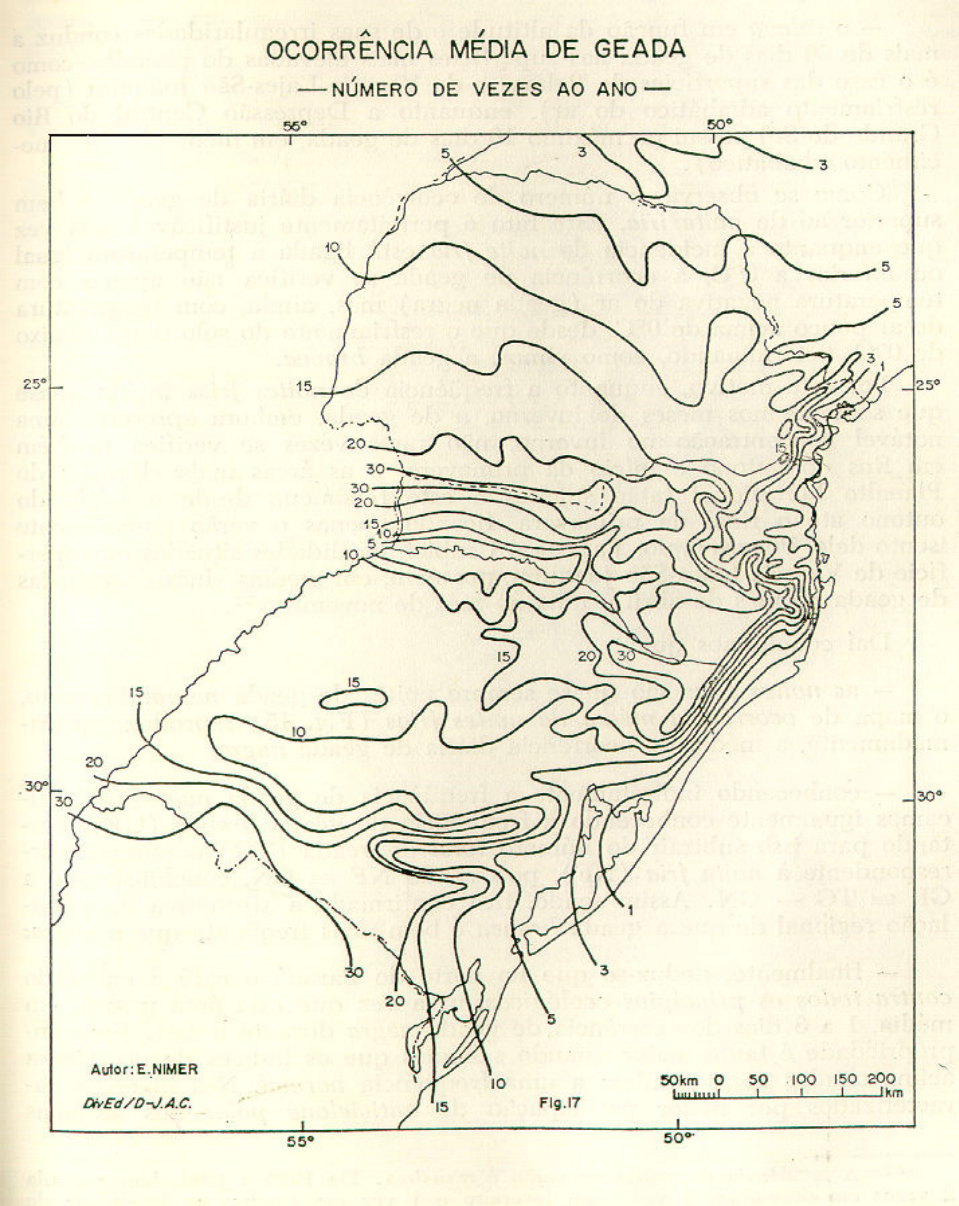


FIGURA 1.2 - Climatologia (1931-1960) do número de dias de ocorrência de geada durante o ano (expressa em dia ano^{-1}).
FONTE: Nimer (1979).

Na tentativa de minimizar as perdas agrícolas devido à ocorrência de geadas, foram desenvolvidas várias técnicas de combate à geada, tais como umedecer o solo, esfumaçar a área de plantio, provocar turbulência do ar sobre a área da plantação, e outros (Rosenberg, 1974; Ometto, 1981). Entretanto, para que grandes áreas cultivadas sejam preparadas para a aplicação de alguma técnica de prevenção em tempo hábil, é necessário que a previsão de tempo seja divulgada com, pelo menos, 3 dias de antecedência. Outro aspecto importante relacionado aos efeitos da geada na lavoura é o período de duração da geada e a intensidade do ar frio. Assim, faz-se necessário entender melhor o comportamento das condições atmosféricas que são favoráveis à ocorrência de Quedas Acentuadas de Temperatura (QAT) e de geadas.

O conhecimento da influência dos fatores estáticos e geográficos que atuam sobre o clima da Região Sul do Brasil não é suficiente para caracterizar as QT, as incursões de ar frio e os eventos de geada sobre esta região. Por isso, com o intuito de contribuir para o entendimento das características meteorológicas associadas a tais eventos, o objetivo desse trabalho é determinar a amplitude e a distribuição espacial das quedas interdiurnas de Temperatura mínima, máxima e média diária (T_{min}, T_{max} e T_{med}, respectivamente) no Sul do Brasil. E, a partir dessa análise, identificar-se-á os padrões atmosféricos associados à esses eventos, com a finalidade de elaborar modelos conceituais.

A importância desse estudo está na geração de informações mais detalhadas sobre QAT na Região Sul do Brasil associadas a incursões de ar frio sobre a AS, visando minimizar possíveis prejuízos desses eventos à sociedade, como por exemplo, os danos causados pelas geadas.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Principalmente no período de inverno, a AS é afetada por intensas ondas de frio, as quais provocam grandes prejuízos à população (agricultura, pecuária, saúde, etc). Na Região Sul do Brasil, a incursão de uma intensa massa de ar frio geralmente causa QAT e ocorrência de geada. Ometto (1981) define o fenômeno geada com sendo a formação de uma camada de cristais de gelo, na superfície ou na folhagem exposta, devido à queda da T_{min} da relva (definida com a temperatura do solo obtida com um termômetro de mínima, instalado a 5 cm da superfície) à valores abaixo de 0°C. Ressalta-se que, em situações de geadas, a diferença entre a T_{min} obtida no abrigo meteorológico e a T_{min} da relva é, em média, da ordem de 3°C a 5°C (Grodzki et al., 1996; Sentelhas et al., 1996), dependendo das condições atmosféricas, da topografia, do tipo do solo e das características da superfície.

A geada está associada a uma massa de ar de origem polar que se desloca para latitudes mais baixas. No inverno, o ar sobre a Antártica (coberta de gelo e neve) pode alcançar uma T igual ou menor que -70°C, devido a grande perda de Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE), durante o longo período noturno (Girardi, 1983). Apesar da massa de ar de origem polar sofrer modificações nas suas características físicas (tais como umidade específica (q) e T) durante sua trajetória em direção a latitudes mais baixas, quando esta atinge a AS ainda permanece com características que propiciam a ocorrência de geada (Girardi, 1983).

A intensidade da geada pode ser estimada pelos seus efeitos na agricultura, os quais variam de acordo com o valor da T_{min} e o tempo de duração do fenômeno (Goldsworthy e Shulman, 1984). A geada pode ser classificada de acordo com sua formação ou com relação ao aspecto visual (branca ou negra) da plantação após sua ocorrência (Rosenberg, 1974; Tubelis e Nascimento, 1992). Quanto à formação, a geada pode ser classificada em três tipos: de radiação, advectiva e mista. A formação desse fenômeno

devido à perda de ROLE, em noites sem nebulosidade, é conhecido por geada radiativa. Segundo Ometto (1981), com a perda significativa de energia do solo para o espaço durante a ausência de nuvens, há uma diminuição da T próxima à superfície. Quando essa T se iguala a uma dada temperatura do ponto de orvalho (T_d) superior a 0°C, ocorre a formação do orvalho (vapor d'água condensado em superfície). Logo, se a T se igualar a uma T_d inferior a 0°C ocorrerá a sublimação do vapor d'água sobre a superfície, formando assim a geada branca. Há situações em que o orvalho se forma a uma T_d próxima de 0°C e, em seguida, devido a variação da pressão atmosférica durante a noite, tanto a T e como a T_d tornam-se negativas, ocorrendo o congelamento do orvalho.

A incidência de radiação de onda curta solar na superfície continental e a emissão de energia da superfície terrestre para o espaço na forma de ROLE determinam o balanço local de radiação e, conseqüentemente, da T próxima à superfície (Hartmann, 1994). Esse balanço local de radiação é influenciado pela: (1) latitude e época do ano, as quais controlam a intensidade e a duração da radiação solar incidente; (2) cobertura de nuvens, que afeta o fluxo de energia na superfície terrestre, tanto na incidência de radiação de onda curta como na perda de ROLE. Durante o dia, a nebulosidade reflete parte da radiação solar, reduzindo o aquecimento em superfície e, à noite, as nuvens retardam a perda radiativa do solo para o espaço (Kidder e Harr, 1995); (3) tipo de superfície, pois este determina a absorção de radiação solar, que é utilizada para o aquecimento do solo e, conseqüentemente, do ar sobrejacente a este (Hartmann, 1994). Outro fator relevante na oscilação diária da T é a altitude. Em geral, com o aumento da altitude ocorre uma diminuição na T, caso não haja uma inversão térmica (Vianello e Alves, 2002). Como a densidade do ar diminui com a altitude, a atmosfera em regiões elevadas absorve e reflete uma quantidade menor de radiação solar incidente (Kidder e Harr, 1995), apresentando uma insolação maior do que a observada em regiões ao nível médio do mar. Essa característica em regiões elevadas resulta em rápido e intenso aquecimento durante o dia e em rápido e intenso resfriamento durante a noite.

Em situações de estabilidade atmosférica (por exemplo, a atuação de um centro de alta pressão numa determinada região), a T próxima à superfície mostra um ciclo diário bem

definido, com um valor máximo geralmente acontecendo duas horas depois do ponto mais alto do sol, e um mínimo ocorrendo pouco depois do nascer do sol. Mas, quando existe algum fenômeno atmosférico capaz de instabilizar a atmosfera (por exemplo, um sistema frontal), os horários de ocorrência da T_{min} e da Temperatura máxima (T_{max}), geralmente são alterados e a amplitude diária da T diminui (Varejão-Silva, 2002). O transporte meridional de massas de ar entre os trópicos e os extratrópicos pode balancear ou mesmo sobrepor-se à influência da radiação solar sobre a T, podendo, por exemplo, causar uma QAT no início da tarde (Seluchi e Marengo, 2000).

A geada advectiva está associada com uma massa de ar de origem polar com deslocamento sobre uma dada região, com a presença de ventos com intensidade moderada a forte, sem inversão de T e com a possibilidade de nuvens acompanhando o sistema sinótico. Geralmente, a geada advectiva, resulta na ocorrência da geada negra, tipo mais nocivo às culturas, tendo esse nome devido à coloração enegrecida e ao aspecto seco que as plantas apresentam após sua ocorrência. Este tipo de geada ocorre quando a quantidade de vapor d'água existente na atmosfera é extremamente baixa, permitindo que a T torne-se negativa, sem atingir a T_d. Nestas condições, os tecidos vegetais podem congelar sem a formação de gelo sobre a superfície (Ometto, 1981).

A geada do tipo mista ocorre em situações nas quais são verificadas condições de advecção e de radiação. Este tipo de geada resulta da associação da incursão da massa de ar de origem polar sobre o continente com a perda noturna de radiação terrestre para o espaço (Girardi, 1975).

Vários estudos relacionados a incursões de ar frio que resultaram em ocorrência de geada têm sido realizados. Muitos desses observaram as características da circulação atmosférica por meio de estudos de casos (Tarifa et al., 1977; Hamilton e Tarifa, 1978; Fortune e Kousky, 1983; Girardi, 1983; Satyamurti et al., 1990; Marengo et al., 1997a; Marengo et al., 1997b) ou, baseando-se na climatologia desse fenômeno (Algarve, 1994; Garreaud, 2000; Pezza, 2003). Tarifa et al. (1977) analisaram um caso de geada ocorrida em 17 de julho de 1975, o qual ocasionou danos irreparáveis nos cafezais do

Estado de São Paulo (SP). Neste evento, um anticiclone extratropical deslocou-se rapidamente para latitudes mais baixas, onde apresentou um centro de 1041 hPa sobre o norte da Argentina (Figura 2.1a). Como isso QT recordes foram verificadas na região tropical e subtropical, além de precipitação de neve em locais de rara ocorrência e de geadas extremamente destrutivas para as culturas. Girardi (1983) identificou este caso por meio de imagens de satélite, como sendo um semicírculo negro na costa chilena (em torno de 35°S), com um raio de aproximadamente 1000 km, sendo denominado de "Poço dos Andes". O semicírculo negro observado na imagem de satélite representa o centro do anticiclone, o qual não apresenta a formação de nuvens devido à subsidência de ar nesse setor do sistema. Até o momento, esta onda de ar frio tem sido relatada como a mais intensa já observada na região subtropical da AS (Pezza, 2003).

Há, ainda, casos de geada na AS em que a massa de ar polar se deslocou do continente Antártico para o extremo sul do continente, sem cruzar a Cordilheira dos Andes. Um desses casos foi a geada ocorrida em 16 de julho de 1973 na Argentina (Figura 2.1b). Neste, uma massa de ar sub-polar proveniente do Mar de Weddel, na Antártica, teve uma propagação meridional e um deslocamento oceânico pequeno, se comparada a uma massa de ar polar originária do Mar de Ross, também localizado na Antártica (Rusticucci e Vargas, 1995). Esse sistema ficou estacionário no extremo sul do continente sul-americano e a pressão no seu centro atingiu valores em torno de 1044 hPa. Segundo Rusticucci e Vargas (1995), esta foi uma das piores ondas de ar frio registradas até então no sul da Argentina, onde verificaram-se nevascas e T_{min} extremas recordes na região.

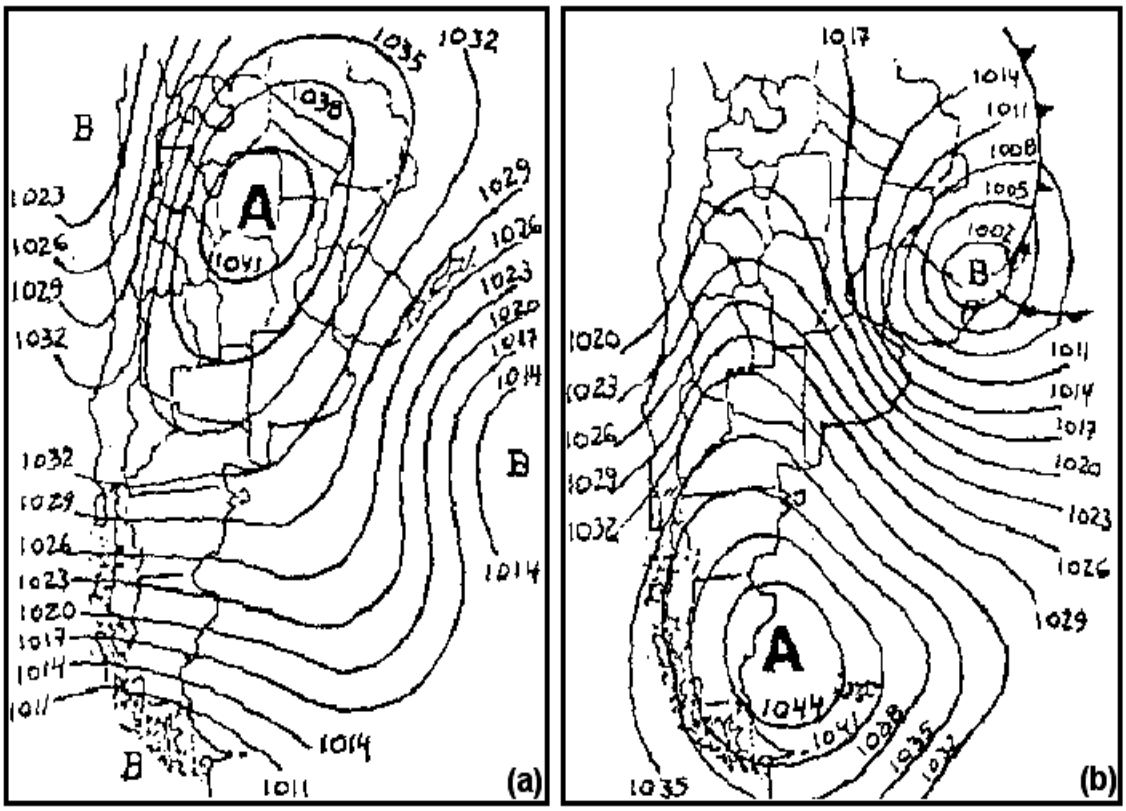


FIGURA 2.1 - Situação sinótica em superfície referente à casos de geada intensa associada a um anticiclone em superfície que ocorreram em: a) 17 de julho de 1975 as 12 UTC, b) 16 de julho de 1973 as 12 UTC.
FONTE: Adaptada de Celemín (1984).

Outro episódio de geada ocorrida em 1972, e que trouxe graves danos para as plantações de café no estado do PR e vizinhanças, foi aquele estudado por Hamilton e Tarifa (1978). Tanto nesse caso como naquele estudado por Tarifa et al. (1977), foi destacada a influência da posição e da intensidade do centro do anticiclone de origem polar em superfície na magnitude da QT, no resfriamento da superfície e na ocorrência de geada. Os autores enfatizaram que a área em que ocorreram os danos aos cafezais localizou-se na periferia do anticiclone polar, à leste do centro de alta pressão, e não no centro do sistema como era esperado pelos autores, uma vez que esta região possui maior calmaria e limpidez atmosférica. Ambos estudos sugerem que a advecção de ar frio à leste do sistema de alta pressão foi responsável por grande parte da destruição das plantações, enquanto a perda da energia por radiação teve uma contribuição menos

significativa. Marengo et al. (1997b) identificaram os aspectos dinâmicos responsáveis pela incursão de ar frio sobre a AS em junho de 1994, a qual foi responsável por geadas que causaram uma grande perda na produção de café e um elevado aumento em seu preço. Os autores sugeriram que, a advecção fria à leste dos Andes é um potencial preditor da intensidade da incursão de ar frio sobre o Sul do Brasil, pois esta produz resfriamento em baixos níveis e substanciais QT.

Satyamurty et al. (1990) observaram duas ondas de ar frio que afetaram o Sul e Sudeste do Brasil na segunda metade do mês de maio de 1990. A primeira massa de ar frio invadiu a Região Sul do Brasil em maio de 1990, causando QAT no estado do RS durante o período de 16 a 19 desse mês. Entre os dias 19 e 21 de maio, as T_{min} aumentaram, porém, no dia 22 ocorreu um novo declínio das T_{min} devido à incursão de uma segunda massa de ar frio. Concluíram que ambas as massas de ar apresentaram percursos semelhantes, onde em três dias se deslocaram do Oceano Pacífico Leste (em aproximadamente 40°S) até o norte da Argentina, Paraguai e litoral de SP. Nos dias anteriores à primeira incursão de ar frio do mês de maio de 1990, observou-se uma crista amplificada em 500 hPa, sobre o litoral chileno, e um ciclone extratropical sobre o litoral da Argentina. Na alta troposfera (250 hPa) verificou-se uma confluência das correntes de jato subtropical e polar sobre o Paraguai, ocasionando um movimento descendente de ar sobre a AS. Essa característica atmosférica em altos níveis, que contribui para a intensificação de um anticiclone em superfície à leste dos Andes, foi observada em eventos de incursões de ar frio estudados por Fortune e Kousky (1983) e Algarve (1994).

O monitoramento das condições atmosféricas sobre a região central da Argentina, tanto em baixos como em altos níveis, pode ser importante para prever a ocorrência de geada na Região Sul do país (Marengo et al., 1997b). Baseados nessa idéia, Pezza e Ambrizzi (1999) encontraram um padrão de correlação negativa, da ordem de –0.78, entre a T sobre a região da Patagônia e a T sobre o Sul do Brasil durante o período de inverno, tanto em 1000 hPa como em 500 hPa, o qual foi denominado de Padrão Inverso (PI). Esse resultado sugere que o resfriamento anômalo no Sul do Brasil está associado com o

aquecimento anômalo na Patagônia, que podem estar associados à modulação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), a posição do jato de altos níveis, ao regime de subsidência, a anticiclones de bloqueio, etc.

Durante o período de 14 a 16 de abril de 1999, em aproximadamente 850 hPa, verificou-se um escoamento de ar úmido e quente sobre a Região Sul do Brasil vindo da região tropical, o qual esteve associado a um intenso episódio de Jato de Baixos Níveis (JBN) sobre a AS (Marengo e Soares, 2002). Os autores mostraram que após este episódio de JBN ocorreu à incursão de uma intensa massa de ar fria e seca sobre a AS, em 17 de abril de 1999, que resultou em QAT no Sul do Brasil. Essa incursão de ar frio e seco esteve associada com um Jato de baixos níveis de Sul (JS), que apresentou um Núcleo de Velocidade Máxima (NVM) em 925 hPa, próximo aos Andes. Esse episódio de JS provocou QT da ordem de 16°C em 24 horas, entre os dias 17 e 18 de abril de 1999, causando geadas em grande parte do sul do país, além de precipitação de neve nas serras gaúcha e catarinense no dia 17 de abril desse ano (Satyamurty et al., 2002). Segundo Satyamurty et al. (2002), em altos níveis ocorreu uma intensificação de uma onda baroclínica, seguida pelo desenvolvimento de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) em média e alta troposfera sobre a Argentina em 16 e 17 de abril de 1999. Esse sistema contribuiu para a ocorrência do JS à leste dos Andes e, conseqüentemente, para a incursão do sistema de alta pressão para norte e para a advecção de ar frio sobre a Região Sul do Brasil. Estes dois eventos de jatos de baixos níveis mostraram a variabilidade sinótica da circulação de baixos níveis que há à leste dos Andes sobre a AS, onde determinaram a intensidade do fluxo meridional e a troca de massas de ar sobre o continente (Marengo e Soares, 2002).

As incursões de ar frio sobre as regiões subtropicais dependem das características do escoamento em altos níveis que, em determinadas condições, podem dar indícios do deslocamento dos sistemas frontais e das massas de ar frio com alguns dias de antecedência. Fortune e Kousky (1983) analisaram o comportamento das ondas em altos níveis em dois eventos de geadas que ocorreram na Região Sul do Brasil (uma em 31 de maio e 1 junho de 1979, e outra em 20 e 21 de julho de 1981). No caso de 1979, uma

frontogênese sobre a Argentina ocorreu devido à aproximação de um cavado de onda curta em altos níveis, apenas um dia antes do cavado da onda longa atingir sua máxima amplitude sobre o Sul do Brasil. A penetração do ar frio de origem subpolar sobre o continente propiciou o deslocamento da frente fria até o Equador. À medida que o cavado da onda longa se afastava do Brasil, ocorria a geada no setor leste do anticiclone de origem sub-polar, semelhante ao observado por Tarifa et al. (1977) e Hamilton e Tarifa (1978). Nos dois eventos de geada existiu uma amplificação de onda longa sobre o Oceano Pacífico, sendo que no caso de 1981 ocorreu a formação de um VCAN sobre a Argentina (Fortune, 1982). Este sistema se localizou sobre o anticiclone em superfície, contribuindo para que a atmosfera tivesse maior perda ROLE, por ser formado por uma massa de ar frio e seco em altos níveis (Kousky e Gan, 1981). Devido ao VCAN, a massa de ar frio deslocou-se mais lentamente para o Brasil do que em 1979. Assim, dois importantes precursores em altos níveis foram destacados: 1) uma configuração de ondas longas que se deslocaram lentamente sobre o Oceano Pacífico e amplificaram com 4 - 5 dias de antecedência da ocorrência das geadas; e 2) uma intensa amplificação de uma crista de onda longa próxima à costa do Chile, sobre o Oceano Pacífico Leste. Por propagação de energia de onda, o cavado em altos localizado próximo a Região Sul do Brasil, também amplificou. Essa configuração canalizou o ar de latitudes sub-polares para latitudes subtropicais em uma trajetória totalmente continental.

Krishnamurti et al. (1999) destacaram o processo de desenvolvimento corrente abaixo das ondas baroclínicas 5-7, as quais amplificam sobre o Oceano Pacífico (isto é, uma seqüência de cristas e cavados identificados pelo Diagrama de Hovmöller), pode ser um possível precursor para os eventos mais intensos de geada no Sul do Brasil. Sobre a AS, as ondas têm um comportamento muito distinto na média e na baixa troposfera. Vera e Vigliarolo (2000) realizaram um estudo diagnóstico de incursões de ar de origem polar sobre a AS, usando técnicas de composições e de funções ortogonais empíricas para um período de seis anos. Neste, verificou-se que as ondas em altos níveis, ao cruzarem os Andes, propagam para nordeste e evoluem de uma maneira consistente com o conceito de dispersão de ondas de Rossby (Holton, 1992), porém, as ondas em níveis médios tendem a propagar conforme a forma da cadeia de montanhas. Como conclusão, tem-se

que a interação entre um cavado de altos níveis propagando-se para leste em latitudes subtropicais e um sistema frontal que invade o continente a partir do Oceano Pacífico, parece ter uma grande influência na intensidade da onda de frio sobre a AS. Esta interação aparentemente ocorre cerca de 2 a 3 dias antes do evento de geada no Sul do Brasil. Os padrões sinóticos obtidos nesse estudo, como por exemplo, a circulação meridional em altos níveis associada à crista sobre os Andes e ao cavado à leste da AS, a circulação em superfície, bem como o posicionamento do anticiclone sobre a Argentina, indicam uma configuração de campos compostos similares aos obtidos por Garreaud (2000) e Pezza (2003).

Krishnamurti et al. (1999) e Marengo et al. (2002) sugeriram que durante o inverno, a convecção anômala sobre o oeste do Oceano Pacífico, em aproximadamente 120ºW, pode ser uma importante componente na geração e amplificação de ondas de frio na AS. Reinke et al. (2004) estudando um caso de geada ocorrida no estado do RS em 28 e 29 de agosto de 2003, verificaram com quatro dias antecedência ao fenômeno, o enfraquecimento de um bloqueio atmosférico sobre o Oceano Pacífico Oeste, propiciando rápido deslocamento para leste do NVM do jato polar. Três dias antes do evento de geada no RS, ocorreu a formação de uma alta desprendida em 250 hPa sobre o Oceano Pacífico Leste, devido à amplificação de uma onda longa em latitudes médias. Nos dois dias anteriores até o dia da ocorrência da geada, verificou uma canalização de ar de origem sub-polar para a AS em uma configuração do tipo "S", a qual foi observada em praticamente em toda a troposfera. Nos altos níveis, a entrada da corrente de jato nos subtrópicos da AS contribuiu para a intensificação do anticiclone em superfície. Segundo Garreaud (2000), em casos de geada é necessário que a entrada de uma corrente de jato de altos níveis esteja localizada sobre as latitudes subtropicais da AS, para que a circulação direta transversal ao jato contribua para a intensificação do anticiclone em superfície e para o resfriamento do ar em níveis médios nas latitudes mais baixas. No último dia de geada foi observado um VCAN centrado sobre o sistema de alta pressão em superfície, cobrindo as regiões do Uruguai e do RS. Sobre a região de sobreposição destes dois sistemas havia intensa subsidência de ar frio, contribuindo para o aumento da perda de ROLE da superfície terrestre para o espaço.

Alguns estudos climatológicos relacionados a incursões de ar frio que resultaram em ocorrência de geada foram realizados (Algarve, 1994; Garreaud, 2000; Escobar (2001); Pezza, 2003; Mattos, 2003). Algarve (1994) analisou as características da circulação atmosférica de eventos de geadas no Sul do Brasil entre 1980 e 1989, durante o período de abril a setembro. Definiu-se geada total com sendo o evento em que pelo menos 80% das estações meteorológicas localizadas na Região Sul do Brasil apresentaram T_{min} menor que 0°C nesse período. Foram observados 15 casos de geada total, baseados nos dados de T_{min} de 14 estações meteorológicas do Sul do Brasil. Como principais características observaram-se: (1) antes da ocorrência de geada mais de um sistema sinótico atuou sobre a Região Sul do Brasil. Quando esses sistemas se deslocaram num curto espaço de tempo, favoreceram a entrada de outras massas de ar frio; (2) o posicionamento de um ciclone extratropical sobre o Oceano Atlântico Sul próximo à costa do litoral da Argentina, do Uruguai e do RS no Brasil, contribuiu para a ocorrência de geada por meio do resfriamento advectivo; (3) ventos de sul ou sudoeste predominaram em altos e baixos níveis da troposfera, contribuindo para a incursão de ar frio sobre a Região Sul do Brasil; (4) em alguns casos, principalmente aqueles considerados mais intensos, as amplificações de uma crista sobre o sudoeste da AS e de um cavado sobre o sudeste da AS contribuíram para a incursão de ar frio sub-polar para latitudes baixas, similar ao observado por Girardi (1983); (5) sobre o Oceano Pacífico observou-se em altos níveis, uma defasagem entre as ondas de latitudes altas e subtropicais, com o escoamento do ar mais intenso na região sub-polar, favorecendo a intensificação de um cavado no sudeste da AS e uma canalização de ar frio da Antártica para o continente (Fortune et al., 1982; Reinke et al., 2004); (6) a presença de um trem de onda em altos níveis, estendendo-se do extremo sul da AS até o Oceano Atlântico Sul.

Uma climatologia sinótica de trajetórias de massas de ar de origem sub-polar, associadas às invasões extremas em latitudes subtropicais, foi realizado por Pezza (2003). Nesta, mostrou-se em baixos níveis, um predomínio de trajetórias longas e duradouras dos anticiclones extratropicais. Destacou-se a componente do vento de sul a

leste dos Andes, devido à presença de um ciclone extratropical na costa do Brasil, para a formação de geada no Sul e Sudeste do Brasil. A circulação em altos níveis composta para os casos extremos de onda de frio em SP indicou a existência de um padrão de trem de onda hemisférico, sugerindo a propagação preferencial na região sub-polar entre a Austrália e o sudoeste da AS, além de um fortalecimento prévio das cristas e dos cavados, devido à interação entre ondas com escalas diferentes. Em geral, os anticiclones migratórios associados à massas de ar de origem sub-polar, cruzam o Oceano Pacífico, invadem o continente entre as latitudes de 35°S e 45°S, e deslocam-se sobre o Oceano Atlântico Sul, em média, entre 25°S e 35°S (Lima e Satyamurty, 1992), e se unem com a ASAS.

Mattos (2003) identificou possíveis precursores de friagem no estado de SP, sendo definido um evento de friagem ou incursão de ar frio quando a T_{min} à superfície cai para valores menores do que 4°C na capital do estado. Compostos de diversos campos diagnósticos foram gerados usando dados de reanálises para 14 casos identificados em um período de 15 anos (1979 a 1993). Observou-se que grande parte do resfriamento do ar próximo a superfície deve-se a advecção de T (-10 °C dia^{-1}), porém, os efeitos diabáticos também são importantes (2 a 3 °C dia^{-1}) nos setores oeste e central do continente. Concluiu-se que o forte gradiente zonal de pressão, entre um ciclone localizado sobre o Oceano Atlântico Sul e um anticiclone sobre o continente, favorece a advecção de ar frio sobre SP e a perda radiativa da energia durante o período da noite, contribuindo para o aumento do contraste térmico horizontal.

As QAT que ocorrem na Região Sul do Brasil são caracterizadas pela troca de massas de ar de características distintas (T e q). Seluchi e Marengo (2000) identificaram as regiões da AS onde ocorrem as maiores trocas de massas de ar no continente sul-americano, por meio de campos médios anuais e sazonais. Baseados na avaliação das características transientes dos campos relativos às trocas de massas de ar entre os trópicos e os extratrópicos, concluíram que a variabilidade diária do transporte meridional de massas de ar é maior no lado leste dos Andes, onde a barreira topográfica favorece a atividade baroclínica e permite uma troca ativa de massas de ar vindas tanto

dos trópicos como de latitudes mais altas, especialmente no inverno. Além disso, observaram que uma das regiões preferenciais para a incursão de ar tropical é a faixa longitudinal de 25°S e 35°S, devido à presença da Baixa do Chaco e da ASAS. Esta região preferencial mantém este comportamento durante todo o ano, variando somente em posição e em intensidade. Escobar (2001) elaborou um critério diagnóstico de incursão de ar frio na Argentina, o qual considera o comportamento da T antes e após a QT, a fim de caracterizar a troca de massas de ar sobre a região. Os autores observaram que, durante o período de maio a setembro, a maior variabilidade e as maiores magnitudes de Quedas de T_{med} (QT_{med}) ocorrem no nordeste argentino (entre 25°S e 35°S).

Garreaud (2000) selecionou casos de incursões de ar frio utilizando um critério baseado na tendência diária da pressão atmosférica num ponto de grade de 5° X 5°, centrado em 25°S e 57,5°W. Para assegurar que o significativo aumento da pressão estava associado com a passagem de um intenso anticiclone, foram selecionados os episódios, nos quais a pressão era igual ou superior a 1020 hPa (dentro do período de maio a setembro). Verificou-se que os casos de incursão de ar frio que foram selecionados estavam associados à QAT. Baseado em suas análises, Garreaud (2000) elaborou um modelo conceitual de incursão de ar frio sobre a AS, o qual é ilustrado na Figura 2.2. Por meio desse modelo verifica-se que, um dia antes da incursão de ar frio na área de estudo, o surgimento de anomalias de vento de sul provoca resfriamento e aumento da pressão no extremo sul do continente. Isto ocorre devido ao balanço geostrófico entre um anticiclone à sudoeste da AS e um ciclone à sudeste deste, que contribui para a advecção de ar frio em direção à latitudes baixas (Figura 2.2a). Em resposta a anticiclogênese no extremo sul da AS, se forma uma circulação de leste ao norte do anticiclone, a qual é bloqueada pelos Andes a partir de 40ºS. Como conseqüência, a velocidade do vento diminui e o equilíbrio geostrófico inicial é quebrado no dia da incursão de ar frio (Figura 2.2b), pois o gradiente de pressão sobrepõe à Força de Coriolis (Holton, 1992). O ar frio passa a ser rapidamente advectado para latitudes baixas, formando um duto de ar frio à leste da cordilheira, que se espalha pelo interior da AS no dia seguinte (Figura 2.2c). Seluchi et al. (1998) destacaram que o

posicionamento do anticiclone à leste da montanha contribui para o acúmulo de ar frio a noroeste desse sistema sinótico, em parte pelo efeito da advecção fria e em parte pela presença da barreira topográfica.

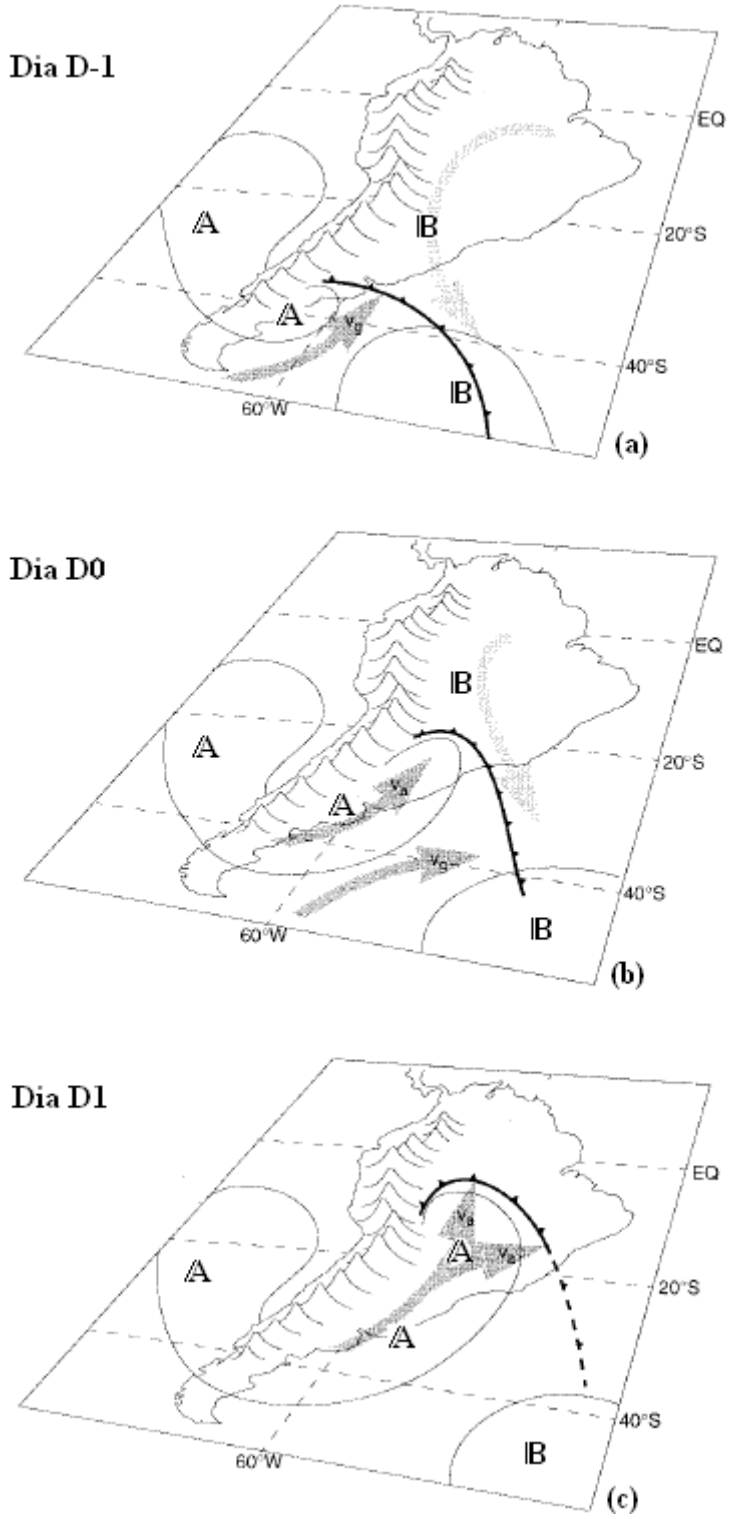


FIGURA 2.2 - Modelo Conceitual da incursão de ar frio sobre a AS. A e B correspondem ao centro de alta pressão e ao centro de baixa pressão, respectivamente.
FONTE: Adaptada de Garreaud (2000).

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

3.1 - Dados

Utilizaram-se dados de T_{min} e T_{max} entre 1996 e 2003, de 28 estações meteorológicas distribuídas na Região Sul do Brasil para o período de maio a setembro. Isto, por ser esta a época do ano em que ocorrem incursões de ar mais frio sobre a AS (Garreaud, 2000). Esses dados foram obtidos de três fontes, a saber: 8° Distrito de Meteorologia, do Instituto Nacional de Meteorologia (8° DISME/INMET); Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos/Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural (CIRAM/EPAGRI); e Sistema Meteorológico do Paraná/Instituto Agronômico do Paraná (SIMEPAR/IAPAR). As localizações de cada estação meteorológica são indicadas na Figura 3.1 por pontos/números (com cores diferentes de acordo com o Estado) e a Tabela 3.1 apresenta as coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude) correspondentes. Ressalta-se que, para fins de identificação da localização das estações meteorológicas nos diversos campos espaciais das variáveis analisadas nos Capítulos 4 e 5, estas são plotadas.

Foram selecionadas somente as estações meteorológicas que apresentaram séries temporais completas, ou com falhas esporádicas, totalizando 13 no RS, 6 em SC e 9 no PR. Em seguida, fez-se uma análise dos valores diários de T_{min} e T_{max} em cada estação meteorológica, para fins de preenchimento de falhas. Dados incorretos ou ausentes em uma dada estação meteorológica foram substituídos por um valor estimado, calculado pela diferença da T climatológica diária entre essa estação meteorológica e outra estação vizinha com características geográficas semelhantes. Assim, para preencher as falhas nas séries temporais, essa diferença foi acrescida ou diminuída à T observada na estação vizinha.

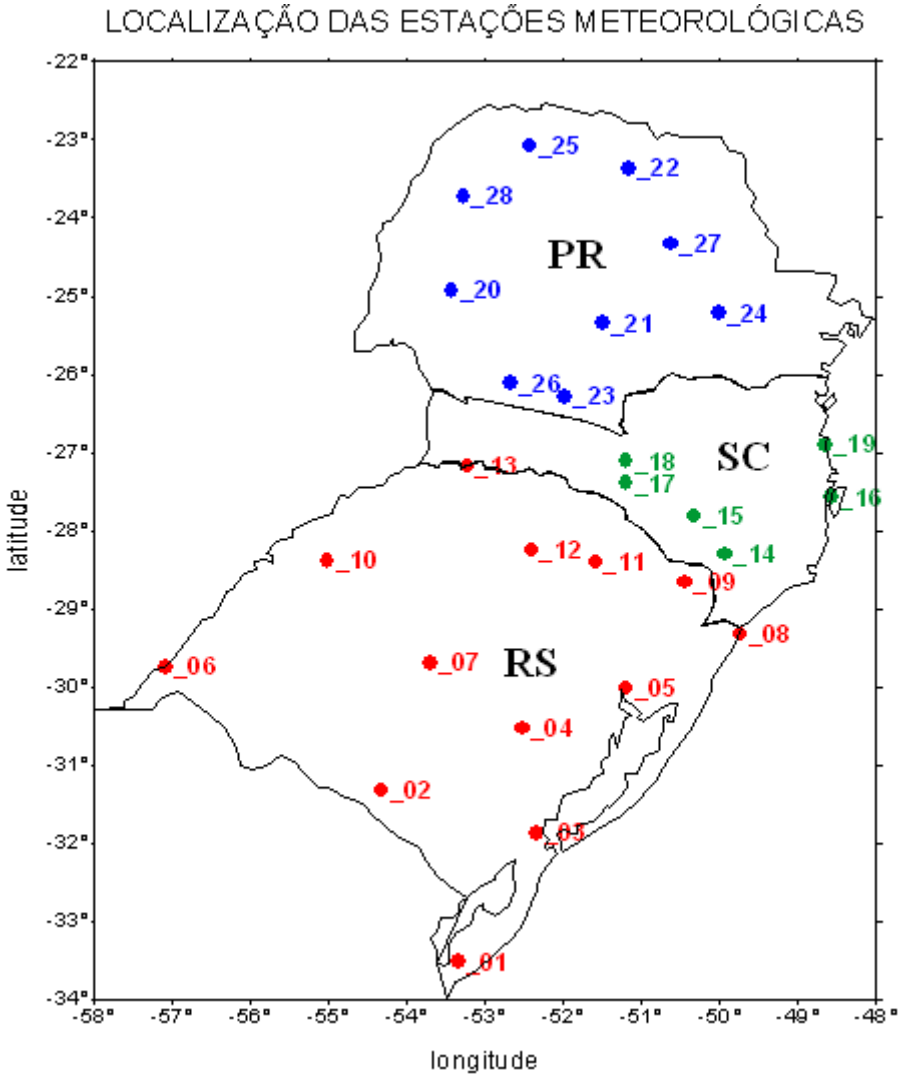


FIGURA 3.1 - Localização das estações meteorológicas na Região Sul do Brasil. As posições geográficas das estações meteorológicas do PR, SC e RS são indicadas pelos pontos/números plotados nas cores azul, verde e vermelho, respectivamente.

TABELA 3.1 - Estações Meteorológicas distribuídas na Região Sul do Brasil.

ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS		COORDENADAS GEOGRÁFICAS			FONTE
Legenda	Nome	Latitude	Longitude	Altitude (m)	
Est_01	Santa V. do Palmar (RS)	-33°31’	-53°21’	24	8° DISME/INMET
Est_02	Bagé (RS)	-31°20’	-54°20’	242	8° DISME/INMET
Est_03	Pelotas (RS)	-31°52’	-52°21’	13	8° DISME/INMET
Est_04	Encruzilhada do Sul (RS)	-30°32’	-52°31’	428	8° DISME/INMET
Est_05	Porto Alegre (RS)	-30°01’	-51°13’	48	8° DISME/INMET
Est_06	Uruguaiana (RS)	-29°75’	-57°09’	74	8° DISME/INMET
Est_07	Santa Maria (RS)	-29°42’	-53°42’	96	8° DISME/INMET
Est_08	Torres (RS)	-29°20’	-49°44’	31	8° DISME/INMET
Est_09	Bom Jesus (RS)	-28°40’	-50°26’	1053	8° DISME/INMET
Est_10	São Luiz Gonzaga (RS)	-28°24’	-55°01’	245	8° DISME/INMET
Est_11	Lagoa Vermelha (RS)	-28°21’	-51°53’	815	8° DISME/INMET
Est_12	Passo Fundo (RS)	-28°15’	-52°24’	685	8° DISME/INMET
Est_13	Irai (RS)	-27°11’	-53°14’	247	8° DISME/INMET
Est_14	São Joaquim (SC)	-28°18’	-49°56’	1415	CIRAM/ EPAGRI
Est_15	Lages (SC)	-27°49’	-50°20’	937	CIRAM/ EPAGRI
Est_16	São José (SC)	-27°35’	-48°34’	2	CIRAM/ EPAGRI
Est_17	Campos Novos (SC)	-27°24’	-51°12’	952	CIRAM/ EPAGRI
Est_18	Chapecó (SC)	-27°07’	-52°37’	679	CIRAM/ EPAGRI
Est_19	Itajaí (SC)	-26°54’	-48°39’	5	CIRAM/ EPAGRI
Est_20	Cascavel (PR)	-24°56’	-53°26’	760	SIMEPAR/IAPAR
Est_21	Guarapuava (PR)	-25°21’	-51°30’	1020	SIMEPAR/IAPAR
Est_22	Londrina (PR)	-23°22’	-51°10’	585	SIMEPAR/IAPAR
Est_23	Palmas (PR)	-26°29’	-51°59’	1100	SIMEPAR/IAPAR
Est_24	Ponta Grossa (PR)	-25°13’	-50°01’	880	SIMEPAR/IAPAR
Est_25	Paranavaí (PR)	-23°05’	-52°26’	480	SIMEPAR/IAPAR
Est_26	Pato Branco (PR)	-26°70’	-52°46’	721	SIMEPAR/IAPAR
Est_27	Telêmaco Borba (PR)	-24°20’	-50°37’	768	SIMEPAR/IAPAR
Est_28	Umuarama (PR)	-23°44’	-53°17’	480	SIMEPAR/IAPAR

Também foram utilizados dados do conjunto de reanálises do “National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research” (NCEP/NCAR), com resolução de 2,5° x 2,5° latitude-longitude (Kalnay et al., 1996). As variáveis consideradas foram: T (em K), altura geopotencial (z, em mgp), q (em g kg^{-1}),

movimento vertical omega (ω , em Pa s^{-1}) e componentes zonal e meridional do vento (u e v, em m s^{-1}, respectivamente) em 8 níveis padrões de pressão (entre 1000 hPa e 300 hPa), para os 4 horários sinóticos (0000, 0600, 1200 e 1800 UTC), além da Pressão reduzida ao Nível médio do Mar (PNM, em hPa). Além destes, utilizaram-se os dados de ROLE (em W m^{-2}), com resolução de 2,5° x 2,5° latitude-longitude, obtidos junto ao "Climate Diagnostics Center" (CDC).

3.2 - Metodologia

3.2.1 - Análise Estatística

Após a análise dos dados de T determinou-se a variabilidade, a amplitude e a freqüência das Quedas de T_{min}, T_{max} e T_{med} (QT_{min}, QT_{max} e QT_{med}, respectivamente), as quais foram calculadas por meio da seguinte expressão:

$$QT = \Delta T, \qquad \text{quando } \Delta T < 0 \tag{3.1}$$

sendo:

QT = QT_{min}, QT_{max} ou $QT_{méd}$

ΔT = $T_{D0} - T_{D-1}$ = variação interdiurna da T;

T = T_{min}, T_{max} ou T_{med};

D0 = Dia de ocorrência da QT;

D-1 = Dia anterior à QT;

Para o cálculo de T_{med}, utilizou-se a Equação 3.2, dada por:

$$T_{med} = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} \tag{3.2}$$

A partir dos valores diários de QT (ou seja, para QT_{min}, QT_{max} e QT_{med}) foram calculadas a QT média ($\overline{\ }$) e o desvio padrão (σ) de QT em cada um dos cinco meses de estudo. A QAT foi definida como sendo a QT, em um dado dia e mês, que satisfizesse o seguinte critério (Escobar e Bischoff, 2001):

$$QAT > \overline{QT} + \overline{\sigma} \tag{3.3}$$

em que:

QAT = QAT_{min}, QAT_{max} ou QAT_{med}

$\overline{QT}$ = média mensal de QT;

$\overline{\sigma}$ = média mensal do σ de QT;

O parâmetro $\overline{QT} + \overline{\sigma}$ é um "limiar" que seleciona somente as QAT e elimina as QT de menor magnitude, as quais representam a maior porcentagem do conjunto total de QT. Para selecionar os eventos extremos de QAT durante o período analisado foi aplicado o "limiar" $\overline{QT} + 2\overline{\sigma}$.

Utilizou-se como critério diagnóstico para identificar as ocorrências de incursões de ar frio na Região Sul do Brasil, o comportamento da T antes e depois da QAT. Tal critério foi adaptado de Escobar (2001), o qual aplicou-o à Argentina. A adaptação feita aqui consiste unicamente na utilização da Média Móvel Simples de 5 dias (MMS) devido o período de dados ser de 8 anos, ao invés da média mensal. Desta forma, para uma dada T (ou seja, para T_{min}, T_{max} e T_{med}), as QAT correspondentes foram classificadas em três diferentes tipos, a saber:

Tipo A) $T_{D-1} \geq \overline{T}_{D-1}$ e $T_{D0} \geq \overline{T}_{D0}$; (3.4)

Tipo B) $T_{D-1} \geq \overline{T}_{D-1}$ e $T_{D0} < \overline{T}_{D0}$; (3.5)

Tipo C) $T_{D-1} < \overline{T}_{D-1}$ e $T_{D0} < \overline{T}_{D0}$; (3.6)

Nos dias D-1 e D0, os valores de $\overline{T}$ ($\overline{T}_{min}$, $\overline{T}_{max}$ e $\overline{T}_{med}$) foram representados, respectivamente, por $\overline{T}_{D-1}$ e $\overline{T}_{D0}$ (Equações 3.7 e 3.8, respectivamente), sendo obtidos por meio da MMS. No cálculo da MMS foram considerados dois dias antes (D-2) e dois dias depois (D2) da QAT, para evitar a perda dos dois primeiros e dos dois últimos dias das séries temporais da MMS. Assim, o período utilizado foi de 28 de abril a 02 de outubro.

$$\overline{T}_{D-1} = \frac{\sum_{1}^{n}\left[\frac{T_{D-3} + T_{D-2} + T_{D-1} + T_{D0} + T_{D1}}{5}\right]}{n} \quad (3.7)$$

$$\overline{T}_{D0} = \frac{\sum_{1}^{n}\left[\frac{T_{D-2} + T_{D-1} + T_{D0} + T_{D1} + T_{D2}}{5}\right]}{n} \quad (3.8)$$

em que:

n = número total de anos;

D-3 = três dias antes da QAT;

D1 = um dia depois da QAT;

As QAT do Tipo A podem estar associadas a diversos sistemas meteorológicos, tais como: VCAN, Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), frentes frias em superfície, entre outros. Estes sistemas provocam uma queda brusca da T, porém não são capazes de resultar em uma anomalia negativa diária de T. As QAT do Tipo B são as que melhor caracterizam a troca de massas de ar em uma determinada região, pois representam a passagem de um intenso sistema frontal e a incursão de uma massa de ar frio capaz de resultar em anomalia negativa diária de T (Escobar, 2001). Por outro lado, as QAT do Tipo C, geralmente, ocorrem devido à passagem de uma frente fria em superfície, em um dia anomalamente frio. Este último tipo é observado nos dias seguintes à incursão de uma intensa massa de ar frio.

As anomalias diárias de T_{D-1} e T_{D0} (denominadas por T_{D-1}' e T_{D0}', respectivamente) associadas a cada T (isto é, T_{min}, T_{max} e T_{med}) foram calculadas por:

$$T_{D-1}' = T_{D-1} - \overline{T}_{D-1} \quad (3.9)$$

$$T_{D0}' = T_{D0} - \overline{T}_{D0} \quad (3.10)$$

3.2.2 - Campos Compostos

A utilização de mapas de composição, tanto de campos médios como de campos anômalos, continua sendo uma valiosa ferramenta em estudos de climatologia sinótica (Yarnal et al., 2001). Uma das principais vantagens dessa técnica é a visualização da circulação atmosférica associada com o ambiente em superfície, por meio de uma metodologia simples. Assim, para identificar os padrões da circulação atmosférica associada à ocorrência de intensas incursões de ar frio na Região Sul do Brasil, elaborou-se compostos de vários campos meteorológicos em baixos, médios e altos níveis. Os compostos foram construídos a partir da seleção de eventos extremos de QAT_{min} do Tipo B em áreas distintas da Região Sul do Brasil, a serem definidas à posteriori. A escolha dos eventos extremos de QAT_{min} do Tipo B, foi devido ao "limiar" $\overline{QT} + 2\overline{\sigma}$ praticamente selecionar casos desse tipo, além desse tipo ser o mais freqüente e o que melhor representa a troca de massas de ar nos subtrópicos da AS (Escobar, 2001).

Para a construção dos compostos utilizou-se um dia representativo para cada ocorrência de QAT_{min} do Tipo B, sendo este definido por D0. Isto assegura que todos os casos selecionados tenham características semelhantes. Assim, D0 corresponde à média dos eventos extremos de QAT_{min} do Tipo B selecionados. Os compostos foram construídos para áreas distintas da Região Sul do Brasil, definidas com base na distribuição espacial dos eventos extremos de QAT_{min} do Tipo B. Também, considera-se que a QAT_{min} do

Tipo B ocorra simultaneamente nas duas estações meteorológicas que melhor represente a respectiva área. Maiores detalhes sobre a definição de tais áreas são apresentados no Capítulo 5.

O campo anômalo, de um dado parâmetro meteorológico, foi definido como sendo a diferença entre o campo composto construído a partir dos eventos extremos de QAT_{min} do Tipo B selecionados (Grupo 1), e o campo composto das médias diárias correspondentes à esses eventos (Grupo 2) (obtidas pela reanálise do NCEP/NCAR, de 1968 a 1996). A significância estatística a 95% para cada campo anômalo foi calculada por meio do Teste-t de Student. Para a aplicação desse teste considerou-se o Grupo 1 indicado por X_1 e o Grupo 2 indicado por X_2. Para o cálculo da variância ponderada (S_p^2), determinou-se a média de cada grupo ($\overline{X_1}$ e $\overline{X_2}$, respectivamente) e a variância de cada grupo, (S_1^2 e S_2^2, respectivamente), sendo esta última expressa por:

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \tag{3.11}$$

em que n_1 e n_2 são os elementos dos grupos X_1 e X_2, respectivamente.

Assim, o valor de t-Student é dado por (Wadsworth, 1990):

$$t = \frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{\sqrt{S_p{}^2\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \tag{3.12}$$

3.2.3 - Estudo de Caso

Dentre os eventos extremos de QAT_{min} do Tipo B identificados no período de estudo, escolheu-se o caso ocorrido em 11 de julho de 2000. Este evento destacou-se por estar

associado à incursão de uma massa de ar frio na AS, a qual provocou QAT_{min} do Tipo B em toda a região de estudo, causando sérios prejuízos sócio-econômicos ao Sul do Brasil (caso citado no Capítulo 1). Entre os dias 11 e 13 de julho de 2000 houve precipitação de neve e geada em diversos setores da Região Sul do Brasil, culminando na ocorrência de geada total em 14 de julho de 2000. Assim, fez-se uma análise sinótica desse caso, entre os dias 08 e 14 de julho de 2000, visando verificar as características atmosféricas associadas, tanto a QAT como a geada total.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Neste Capítulo, apresentam-se e discutem-se os resultados da análise estatística de $\overline{QT}$ e $\overline{QAT}$ na Região Sul do Brasil, correspondentes ao período de maio a setembro (1996-2003). Primeiramente, tem-se uma análise sucinta do comportamento de $\overline{T}_{min}$, $\overline{T}_{max}$ e $\overline{T}_{med}$ para esse período. Em seguida, apresenta-se e discute-se a distribuição espacial, as variações mensal e regional e a freqüência espacial de $\overline{QT}$, $\overline{QAT}$ e $\overline{\sigma}$ associados.

4.1. Temperatura Diária do Ar

A variação diária da T está associada a fatores geográficos (latitude, longitude e altitude) que influenciam sua distribuição espacial (Hartmann, 1994). A Figura 4.1 apresenta a distribuição espacial de $\overline{T}_{min}$, $\overline{T}_{max}$ e $\overline{T}_{med}$ na Região Sul do Brasil, para o período de maio a setembro (1996-2003). A análise desta figura mostra que os menores valores de T ocorreram no sul e nas áreas mais elevadas da região de estudo, enquanto que os maiores valores localizaram-se no setor norte desta. Esse comportamento da T sobre a Região Sul do Brasil durante o período de inverno mostra uma distribuição espacial semelhante à observada na literatura (Nimer, 1979), validando assim, a utilização desses dados.

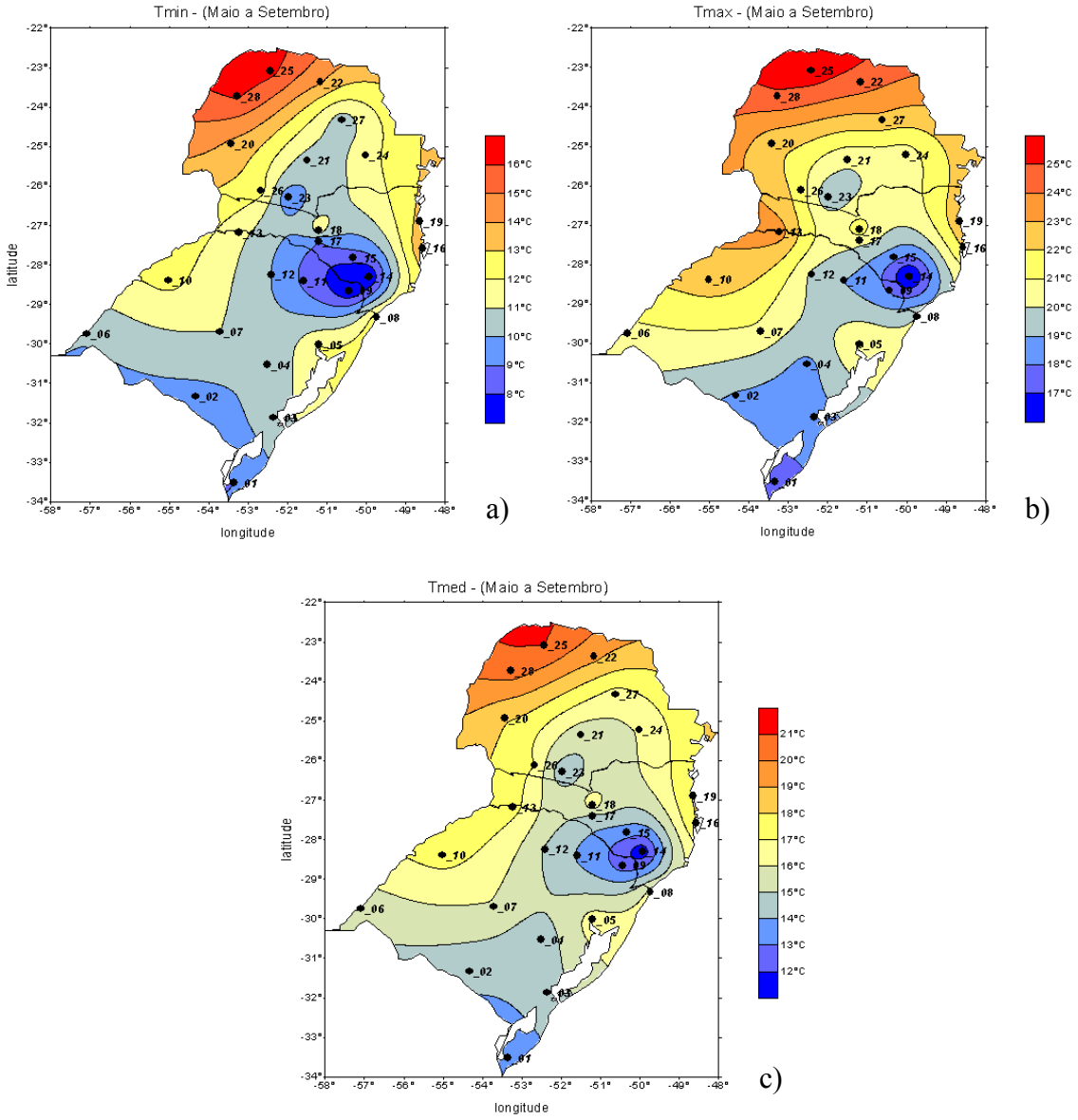


FIGURA 4.1 - Distribuição espacial de: a) $\overline{T}_{min}$, b) $\overline{T}_{max}$, c) $\overline{T}_{med}$, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003).

A análise da Figura 4.2, a qual apresenta as distribuições espaciais do $\overline{\sigma}$ de T_{min}, T_{max} e T_{med}, mostra que os gradientes do $\overline{\sigma}$ são de leste para oeste, sugerindo que, em média, a maior variabilidade da T ocorre no interior da Região Sul do Brasil e a menor variabilidade em áreas próximas ao Oceano Atlântico Sul. Comparando-se essa distribuição espacial do $\overline{\sigma}$ de T_{med} (Figura 4.2c) com aquela obtida por Escobar (2001),

onde os maiores valores de $\bar{\sigma}$ de T_{med} ocorreram no norte da Argentina, pode-se inferir que na faixa latitudinal de 25°S a 35°S a variabilidade de T_{med} aumenta do litoral da Região Sul do Brasil em direção ao norte da Argentina. Uma explicação para o comportamento espacial de $\bar{\sigma}$ de T_{med} pode ser a ocorrência de maior atividade baroclínica transiente e a troca ativa de massas de ar no interior da AS, próximo aos Andes, que ocorre especialmente durante o inverno (Seluchi e Marengo, 2000). Vale ressaltar que esses mecanismos podem ser inferidos a partir do σ obtido de dados diários, pois este também é interpretado como uma medida da energia fornecida pelos distúrbios de alta freqüência (Seluchi e Marengo, 2000).

Por outro lado, um efeito que contribui para os menores valores de $\bar{\sigma}$ de T_{min}, T_{max} e T_{med} observados no leste da Região Sul do Brasil, próximos ao oceano, é a maritimidade (Nimer, 1979). Em geral, as áreas continentais apresentam amplitudes térmicas maiores do que em regiões próximas a oceanos e lagoas, onde as T_{min} e T_{max} oscilam menos durante o dia (Vianello e Alves, 2002). Tanto o aquecimento da superfície continental quanto o da superfície d'água controlam a variação da T sobrejacente. Porém, a distribuição de calor no oceano tem um comportamento diferente daquela no continente, devido à massa d'água ser móvel e distribuir calor mais lentamente que a superfície continental. Além disso, a massa d'água é um excelente absorvedor de radiação solar, com uma transmissividade maior que a do continente (Hartmann, 1994). Outro ponto a ser destacado é que, em geral, a maior concentração de vapor d'água no ar está próxima à oceanos e lagoas, mostrando menores oscilações diárias de T, se comparada à T sobre superfícies continentais, as quais estão distantes destes mananciais d'água.

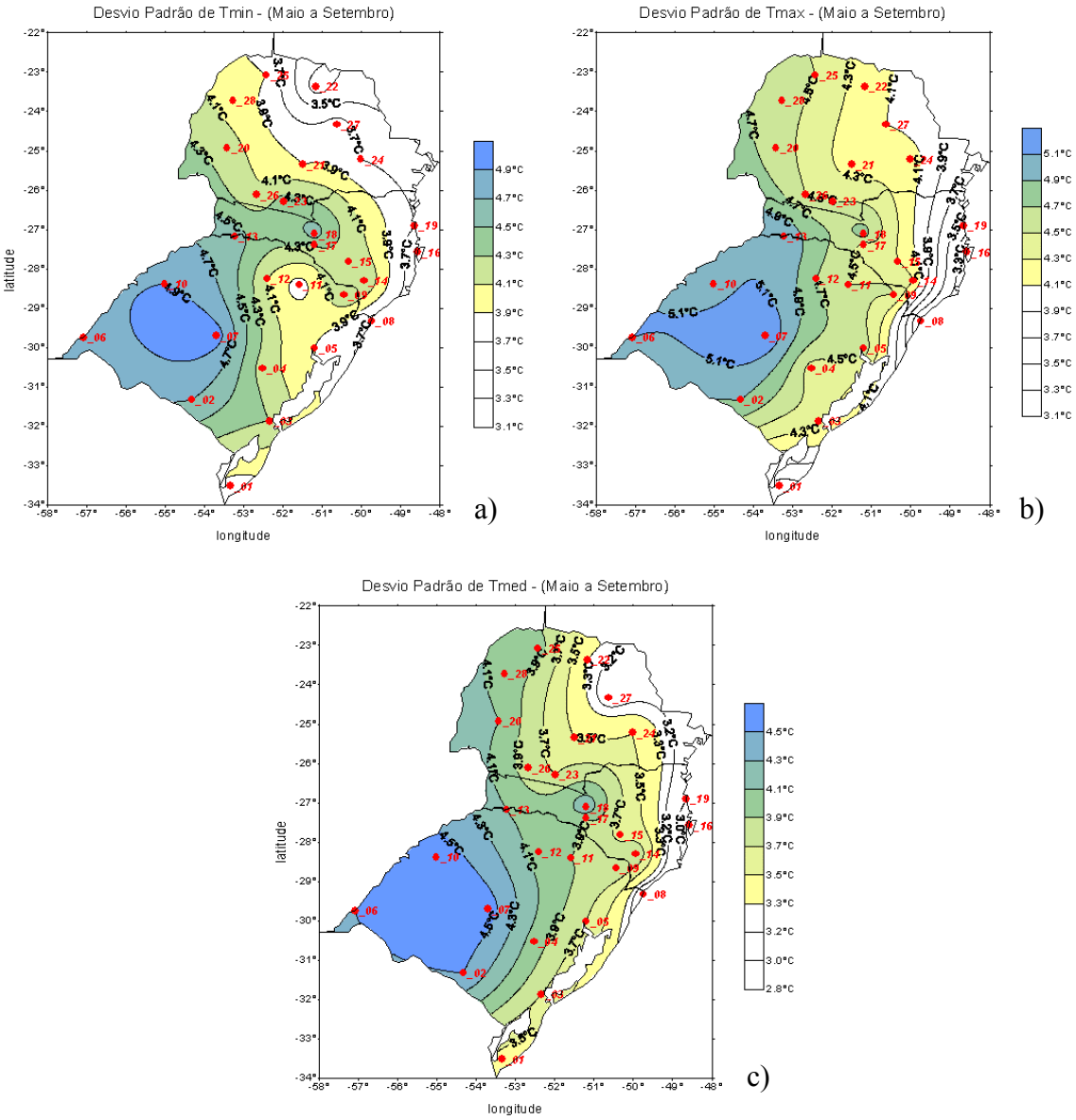


FIGURA 4.2 - Distribuição espacial de $\overline{\sigma}$ de: a) $\overline{T}_{min}$, b) $\overline{T}_{max}$, c) $\overline{T}_{med}$, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003).

4.2. Queda da Temperatura Diária do Ar

A análise da distribuição espacial de $\overline{QT}_{min}$, $\overline{QT}_{max}$, e $\overline{QT}_{med}$ na Região Sul do Brasil (Figura 4.3) mostra que os valores médios desses parâmetros variaram entre -1,8°C e -3,0°C; -2,2°C e -3,6°C; -1,8°C e -3,1°C, respectivamente. Os maiores valores de $\overline{QT}_{min}$ ocorreram no setor oeste do RS, enquanto que os menores valores localizaram-se no nordeste e leste da Região Sul do Brasil (Figura 4.3a). Com relação à $\overline{QT}_{max}$ (Figura 4.3b), os maiores valores foram observados nos setores centro-oeste e norte do RS e oeste de SC, e os menores no leste da Região Sul do Brasil. O sudoeste do RS apresentou os maiores valores de $\overline{QT}_{med}$, enquanto o nordeste e leste da Região Sul do Brasil, os menores (Figura 4.3c). Assim, em geral, as $\overline{QT}$ foram maiores no interior do Sul do Brasil.

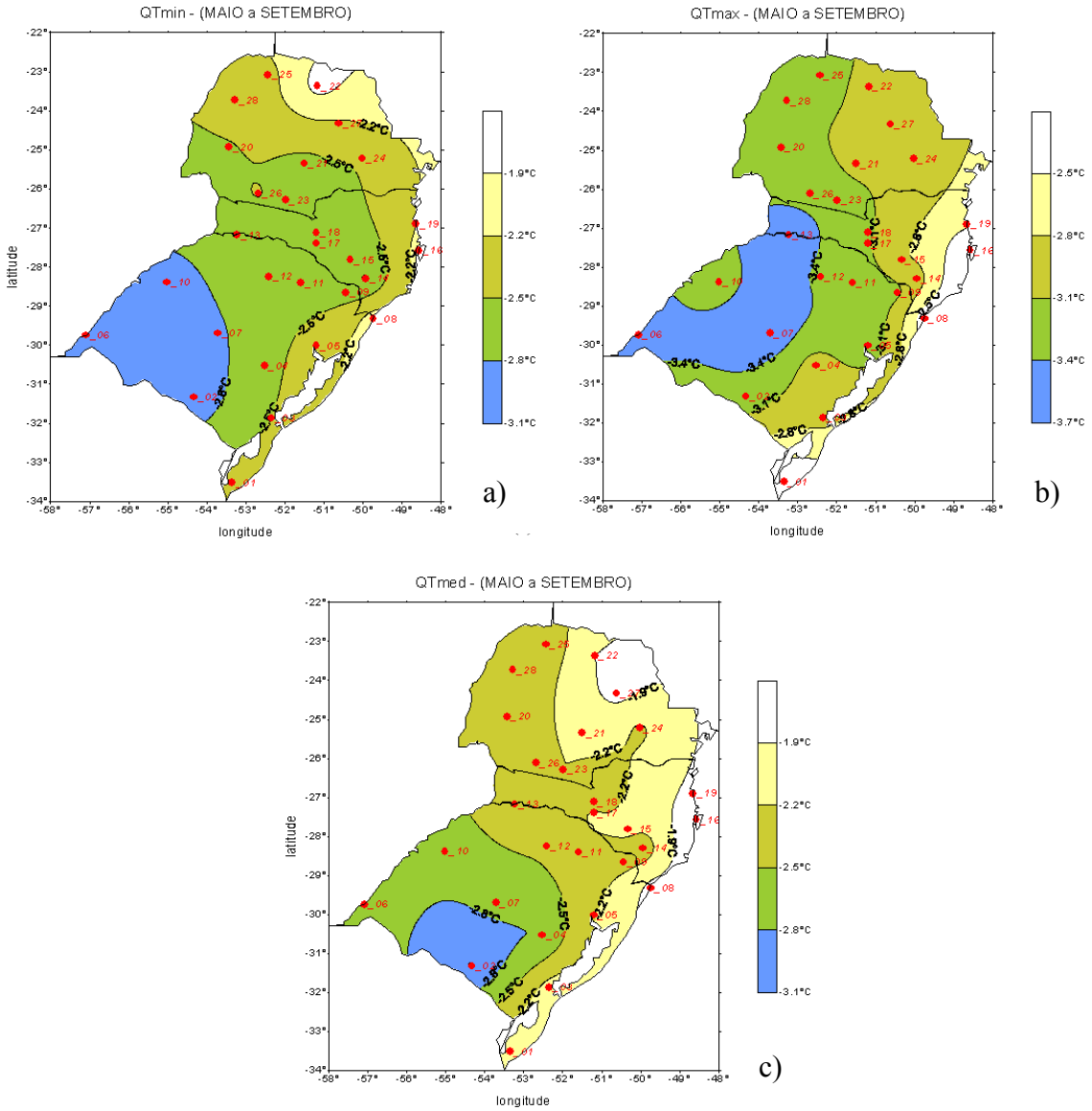


FIGURA 4.3 - Distribuição espacial de: a) $\overline{QT}_{min}$, b) $\overline{QT}_{max}$, c) $\overline{QT}_{med}$, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003).

A análise das variações mensais de $\overline{QT}_{min}$, $\overline{QT}_{max}$ e $\overline{QT}_{med}$ (Figura 4.4) mostra que em 89% das estações meteorológicas, os maiores valores de $\overline{QT}_{min}$ ocorreram em julho (Figura 4.4a), mês que geralmente se verifica as incursões de ar mais frio (Climanálise, 1996). Em maio, 87% das estações meteorológicas apresentaram os menores valores mensais de $\overline{QT}_{min}$. As menores variações intermensais de $\overline{QT}_{min}$ ocorreram nas Est_03,

Est_15, Est_22, Est_25 e Est_27, enquanto que as Est_02, Est_04, Est_06, Est_10 e Est_18 apresentaram as maiores variações intermensais de $\overline{QT}_{min}$ (Figura 4.4a).

Os maiores valores de $\overline{QT}_{max}$ ocorreram em setembro e em agosto (Figura 4.4b), correspondendo a 65% e 32% das estações meteorológicas, respectivamente. Os menores valores de $\overline{QT}_{max}$ foram verificados em maio (68% das estações meteorológicas). Com relação à variação intermensal de $\overline{QT}_{max}$, as menores variações foram observadas nas Est_04, Est_12, Est_15, Est_16 e Est_21, enquanto que as maiores variações desse parâmetro ocorreram nas Est_02, Est_06, Est_07, Est_10 e Est_27. Os maiores valores de $\overline{QT}_{med}$ no RS e no PR foram observados em agosto e setembro, respectivamente (Figura 4.4c). As menores variações intermensais de $\overline{QT}_{med}$ foram nas Est_08, Est_15, Est_16, Est_19 e Est_21, enquanto que as Est_02, Est_04, Est_06, Est_07 e Est_10 apresentaram as maiores variações desse parâmetro (Figura 4.4c).

Uma explicação para a ocorrência dos menores valores mensais de $\overline{QT}_{min}$, $\overline{QT}_{max}$ e $\overline{QT}_{med}$ em maio é que nesse mês não há incursões de ar frio e quente tão significativas, se comparado aos outros meses do período desse estudo, como pode ser constatado no Climanálise (1996 a 2003). As $\overline{QT}_{min}$ apresentaram maiores valores em julho, possivelmente por ser este o mês em que ocorrem as incursões de ar mais frio sobre a AS (Pezza, 2003). Os maiores valores de $\overline{QT}_{max}$ e $\overline{QT}_{med}$, ambos observados nos meses de agosto e setembro, podem estar associados ào fim do inverno e início da primavera, época do período em estudo em que ocorrem incursões de ar mais quente na Região Sul do Brasil, vindo da região tropical. Tais incursões de ar quente mantêm a Região Sul do Brasil com T mais elevada, contribuindo para que ocorram QT significativas após a chegada de uma massa de ar frio. De acordo com Gan et al. (2004), nesses meses, na Região Centro-Oeste do Brasil ocorrem os maiores valores de $\overline{T}_{med}$. Desta forma, durante os meses em estudo, a incursão de ar quente proveniente da região Amazônica e

do Brasil Central para o norte e nordeste da Argentina e Região Sul do Brasil, torna-se um mecanismo importante (Escobar, 2001). Assim, o aumento da radiação solar no Sul do Brasil e a incursão de ar quente para essa região, seguido da incursão de ar frio de latitudes altas para latitudes subtropicais decorrente da passagem de sistemas sinóticos (frentes frias em superfície, ciclones extratropicais, linhas de instabilidade, entre outros), contribuem para que as $\overline{QT}_{med}$ sejam mais intensas durante os meses de agosto e setembro nessa região (Escobar, 2001).

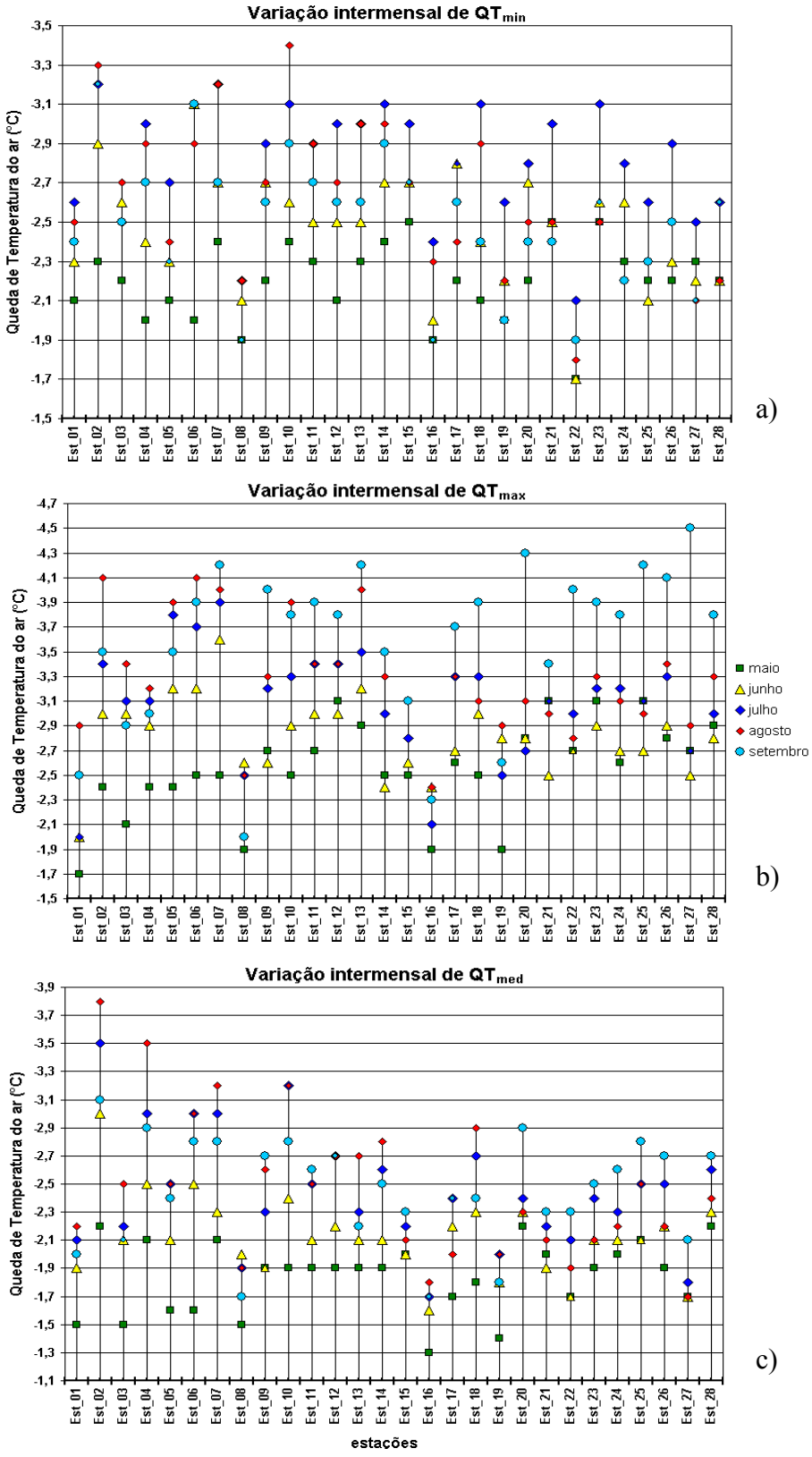


FIGURA 4.4 - Variação intermensal de: a) $\overline{QT}_{min}$, b) $\overline{QT}_{max}$, c) $\overline{QT}_{med}$, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003).

A variação regional de $\overline{QT}_{min}$, $\overline{QT}_{max}$, $\overline{QT}_{med}$ e seus respectivos $\bar{\sigma}$ são apresentados na Figura 4.5. A análise dessa figura mostra que os $\bar{\sigma}$ desses parâmetros variam entre 1,6°C e 2,5°C (Figura 4.5a), 1,9°C e 3,1°C (Figura 4.5b) e 1,4°C e 2,3°C (Figura 4.5c), respectivamente. Assim, em função da distribuição dos valores dos $\bar{\sigma}$ pode-se distinguir três regiões distintas, a saber: **R1** (região com menores valores de $\bar{\sigma}$), **R2** (região com valores intermediários de $\bar{\sigma}$) e **R3** (região com maiores valores de $\bar{\sigma}$), como ilustrado na Figura 4.6.

A distribuição espacial do $\bar{\sigma}$ de QT_{min} mostra que **R1** localiza-se no litoral e nordeste da Região Sul do Brasil, enquanto **R3** situa-se na região serrana e no oeste do Sul do Brasil (Figura 4.6a). Com respeito ao $\bar{\sigma}$ de QT_{max}, **R1** abrange o sul e leste da Região Sul do Brasil, e **R3** localiza-se nos setores centro-oeste e norte do RS, oeste de SC e oeste e norte do PR (Figura 4.6b). Para o $\bar{\sigma}$ de QT_{med}, observa-se que **R1** estende-se do sul do RS até o norte do PR, e **R3** encontra-se nos setores sudoeste, centro-oeste, noroeste e nordeste do RS e oeste do PR (Figura 4.6c). De uma forma geral, essa análise mostra que **R1** localiza-se no setor leste da Região Sul do Brasil e **R3** no setor oeste desta, um padrão de distribuição semelhante àquele verificado para os $\bar{\sigma}$ de T nessa região (Figura 4.2). Assim, a alta variabilidade diária das QT observadas na parte oeste da Região Sul do Brasil deve-se, provavelmente, à existência de ar mais úmido na costa e ar seco no interior (Nimer, 1979), além da troca ativa de massas de ar no interior da AS, como mencionado anteriormente (Seluchi e Marengo, 2000).

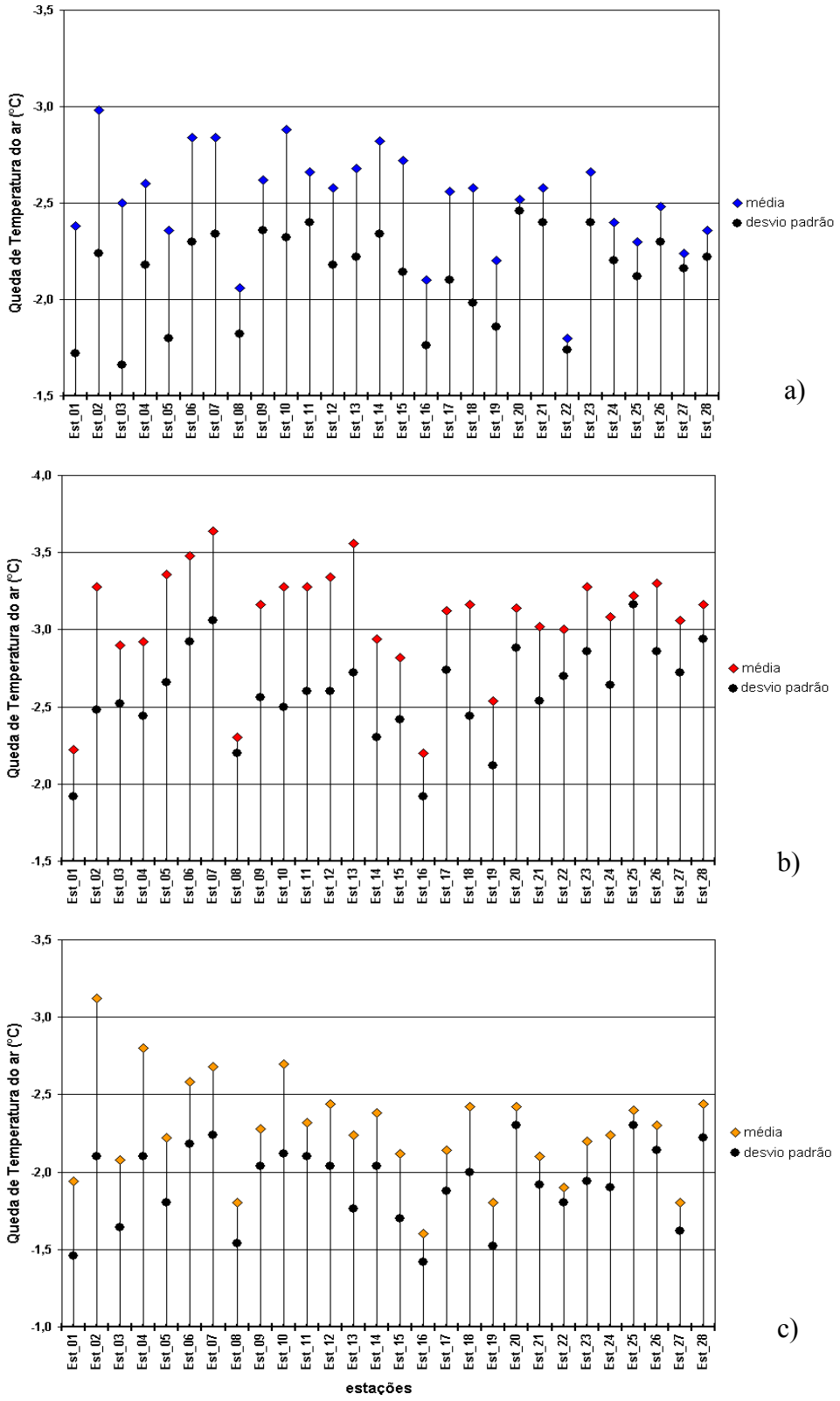


FIGURA 4.5 - Variação regional da média e do $\bar{\sigma}$ (em preto) de: a) QT_{min}, b) QT_{max}, c) QT_{med}, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003).

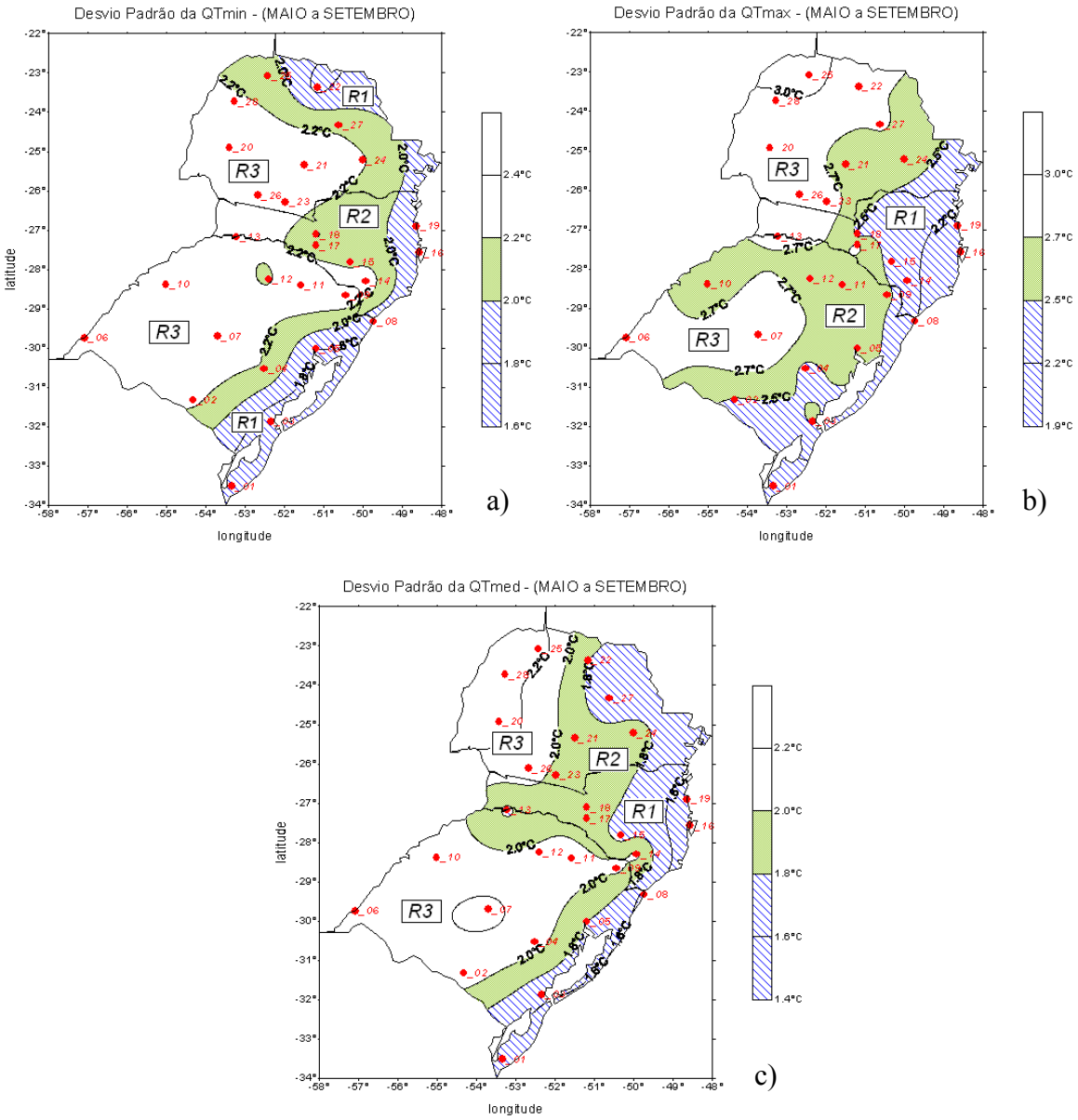


FIGURA 4.6 - Distribuição espacial do $\bar{\sigma}$ de: a) QT_{min}, b) QT_{max}, c) QT_{med}, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003).

Comparando as Figuras 4.3 e 4.6, nota-se que os menores valores de $\overline{QT}_{min}$, $\overline{QT}_{max}$ e $\overline{QT}_{med}$ localizam-se em **R1** e os maiores valores concentram-se, em grande parte, em **R3**. Assim, os setores da Região Sul do Brasil com maiores valores de $\overline{QT}$ e $\bar{\sigma}$ associados podem ser influenciados pelas constantes trocas de massas de ar decorrentes da freqüente passagem de perturbações sinóticas (Escobar, 2001).

No inverno, a incursão de ar tropical nas latitudes subtropicais é menos freqüente do que no verão, porém, estas ocorrem (Lichtenstein, 1989). Segundo Escobar e Bischoff (2001), na faixa de 26°S e 32°S, as componentes advectiva e radiativa da T são importantes, pois provocam aumento na amplitude diária desta variável. Bischoff e Coronel (1989) mostraram que durante o inverno a cidade de Resistência (27°S; 60°W), localizada no nordeste da Argentina, encontra-se numa zona de transição entre massas de ar fria e quente. Por sua vez, Garreaud (2000) encontrou máxima variância dos valores de T_{med} em 925 hPa no período de maio a setembro, em torno de 30°S e 60°W, onde 50% da variância pode ser explicada pelos episódios de intensas incursões de ar frio que causam QAT. Desta forma, a incursão de ar quente em latitudes subtropicais, seguida de uma incursão de ar frio para essa mesma região, é favorável à ocorrência de QAT (Escobar, 2001).

4.3. Queda Acentuada da Temperatura Diária do Ar

Considerando as características de $\overline{QT}_{min}$, $\overline{QT}_{max}$ e $\overline{QT}_{med}$ discutidas anteriormente, e dado que o interesse é o entendimento das mudanças mais significativas de T, apresenta-se e discute-se a seguir a análise das QAT.

A Tabela A.1 (Apêndice A), apresenta os valores mês-a-mês e médio das QAT, onde verifica-se que os valores de $\overline{QAT}_{min}$ variaram entre -5,2°C e -7,3°C; de $\overline{QAT}_{max}$ entre -6,1°C e -9,2°C; e de $\overline{QAT}_{med}$ entre -4,3°C e -7,0°C. As Tabelas A.2, A.3 e A.4

(Apêndice A) apresentam, respectivamente, os valores dos "limiares" de $\overline{QAT}_{min}$, $\overline{QAT}_{max}$ e $\overline{QAT}_{med}$ para as 28 estações meteorológicas da Região Sul do Brasil, durante o período de maio a setembro. A variação regional dos valores de $\overline{QAT}_{min}$, $\overline{QAT}_{max}$ e $\overline{QAT}_{med}$ e de seus respectivos "limiares" é dada na Figura 4.7. Devido a grande quantidade de informações nessa figura, apresenta-se na Figura 4.8 a distribuição espacial desses valores. A análise da Figura 4.8 mostra que os maiores valores de $\overline{QAT}_{min}$ (Figura 4.8a) localizam-se nos setores oeste e nordeste do RS, região serrana e sul-sudoeste do PR, enquanto os menores valores de $\overline{QAT}_{min}$ situam-se no leste da Região Sul do Brasil. Com relação a $\overline{QAT}_{max}$, os maiores valores estão nos setores centro-oeste e norte do RS, oeste de SC, oeste e norte do PR, e os menores valores ocorrem no leste do Região Sul do Brasil (Figura 4.8b). Na Figura 4.8c nota-se que os maiores valores de $\overline{QAT}_{med}$ localizam-se no sudoeste do RS e no oeste do PR e os menores valores, no leste da Região Sul do Brasil. Assim como observado na distribuição espacial das $\overline{QT}$ (Figura 4.3), os maiores valores de $\overline{QAT}$ localizam-se no interior da Região Sul do Brasil e menores valores de $\overline{QAT}$ no setor leste desta.

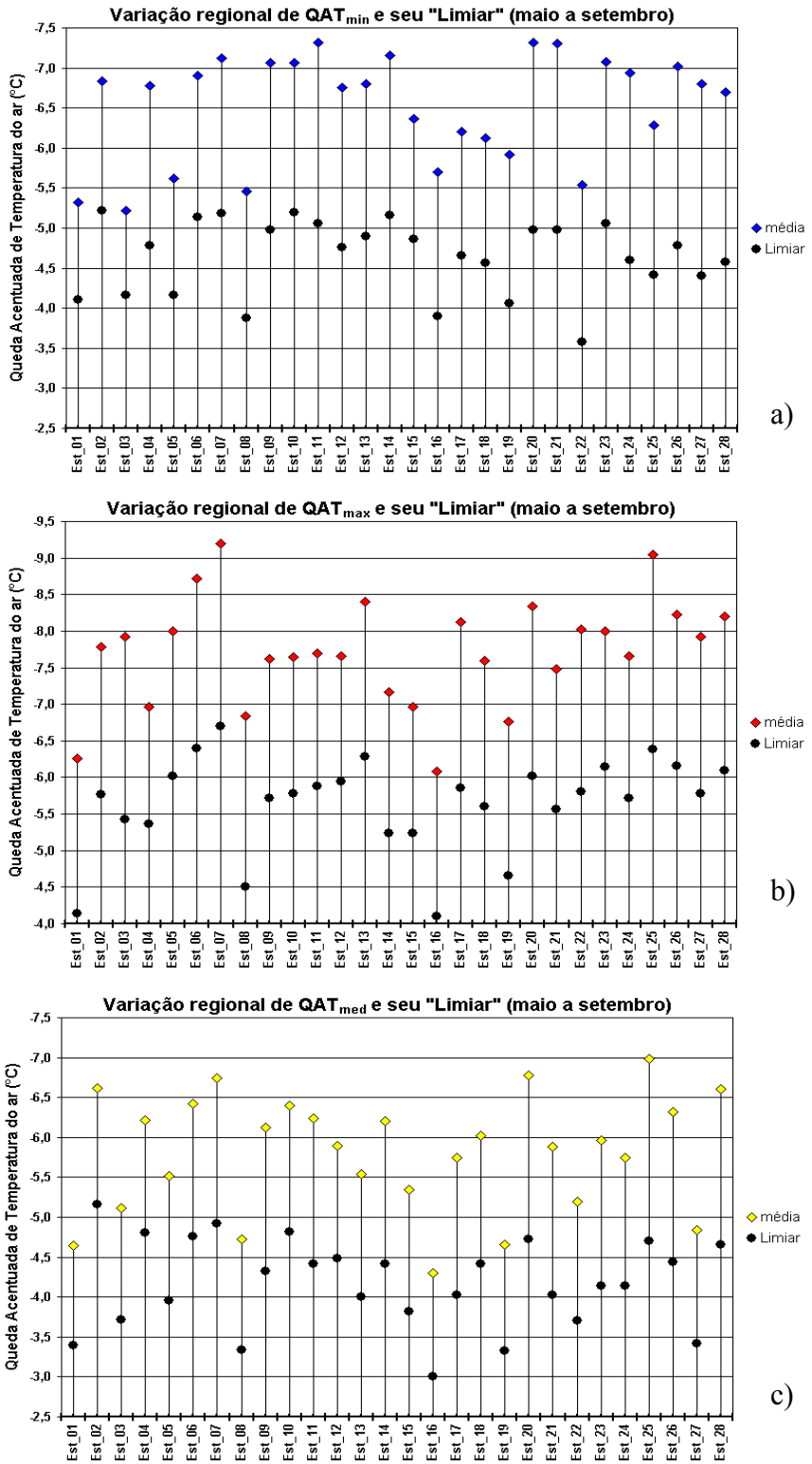


FIGURA 4.7 - Variação regional de: a) $\overline{\text{QAT}}_{\text{min}}$ (azul), b) $\overline{\text{QAT}}_{\text{max}}$ (vemelho), c) $\overline{\text{QAT}}_{\text{med}}$ (amarelo) e seus respectivos "limiares" (preto), correspondente ao período de maio a setembro (1996-2003).

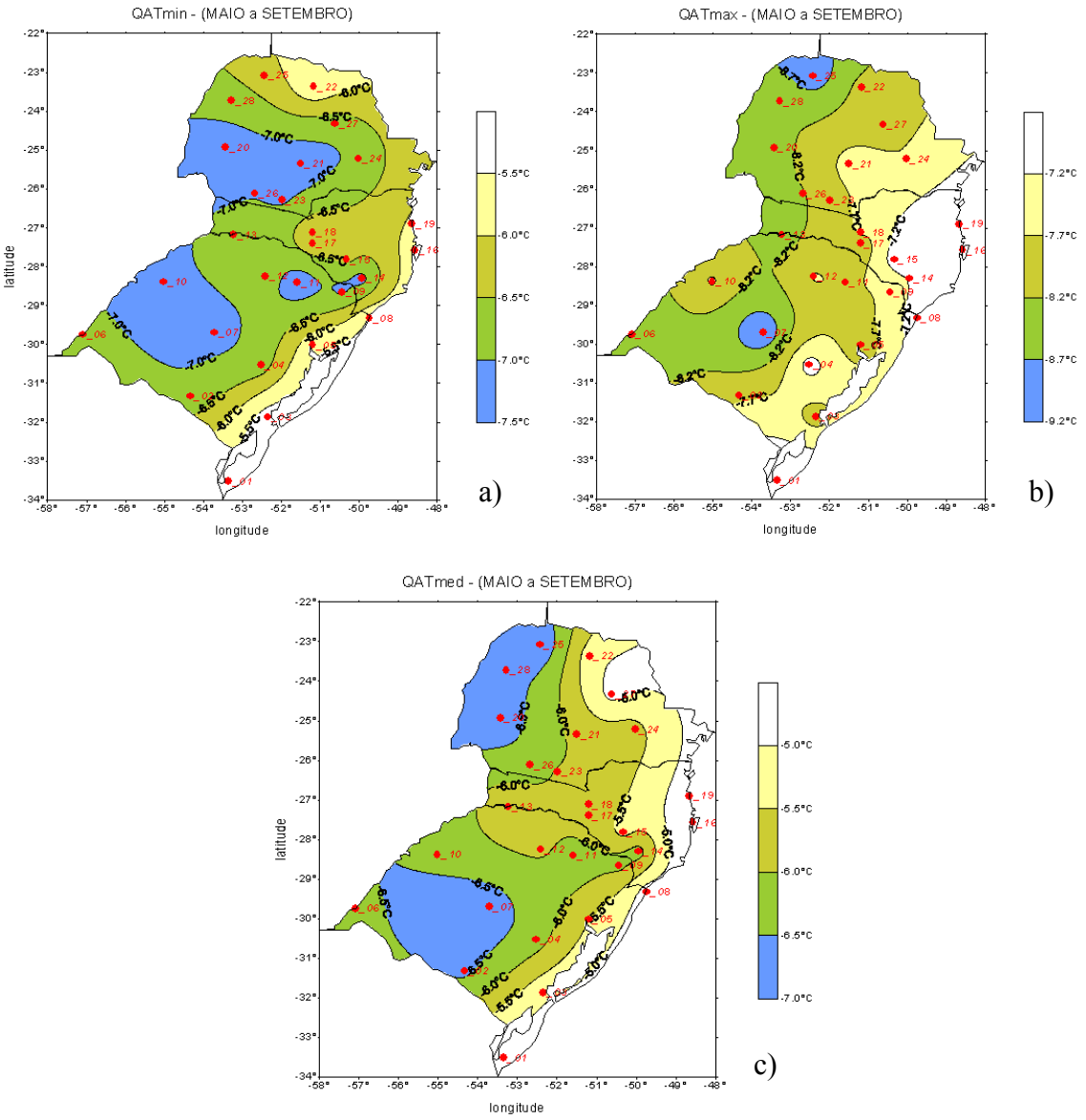


FIGURA 4.8 - Distribuição espacial de: a) $\overline{QAT}_{min}$, b) $\overline{QAT}_{max}$, c) $\overline{QAT}_{med}$, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003).

A Figura 4.9a mostra que os maiores valores de $\overline{QAT}_{min}$ ocorrem em julho e agosto e os menores, em maio e em setembro. Os maiores valores de $\overline{QAT}_{max}$ ocorrem em setembro e agosto e os menores, em maio (Figura 4.9b). Por fim, os maiores valores

mensais de $\overline{\mathrm{QAT}}_{\mathrm{med}}$ são observados em agosto e em julho, onde o estado do RS apresenta as maiores magnitudes em agosto (Figura 4.9c). Os menores valores de $\overline{\mathrm{QAT}}_{\mathrm{med}}$ ocorrem em maio, semelhantemente ao observado em $\overline{\mathrm{QAT}}_{\mathrm{min}}$ e $\overline{\mathrm{QAT}}_{\mathrm{max}}$.

As estações meteorológicas Est_03, Est_05, Est_08 e Est_16 e Est_22 mostraram as menores variações intermensais de $\overline{\mathrm{QAT}}_{\mathrm{min}}$, enquanto que Est_02, Est_04, Est_11, Est_12 e Est_18 apresentaram as maiores variações (Figura 4.9a). Com relação à variação intermensal de $\overline{\mathrm{QAT}}_{\mathrm{max}}$, as menores variações foram em Est_04, Est_12, Est_16, Est_18 e Est_21, enquanto que Est_02, Est_05, Est_09, Est_14 e Est_27 mostraram as maiores variações. As menores variações intermensais de $\overline{\mathrm{QAT}}_{\mathrm{med}}$ ocorreram em Est_16, Est_20, Est_21, Est_23 e Est_27, enquanto que Est_02, Est_06, Est_07, Est_10 e Est_04 apresentaram as maiores variações. Assim, a variação intermensal de QAT foi semelhante a de QT, ou seja, maiores oscilações em estações meteorológicas localizadas no interior do Sul do Brasil.

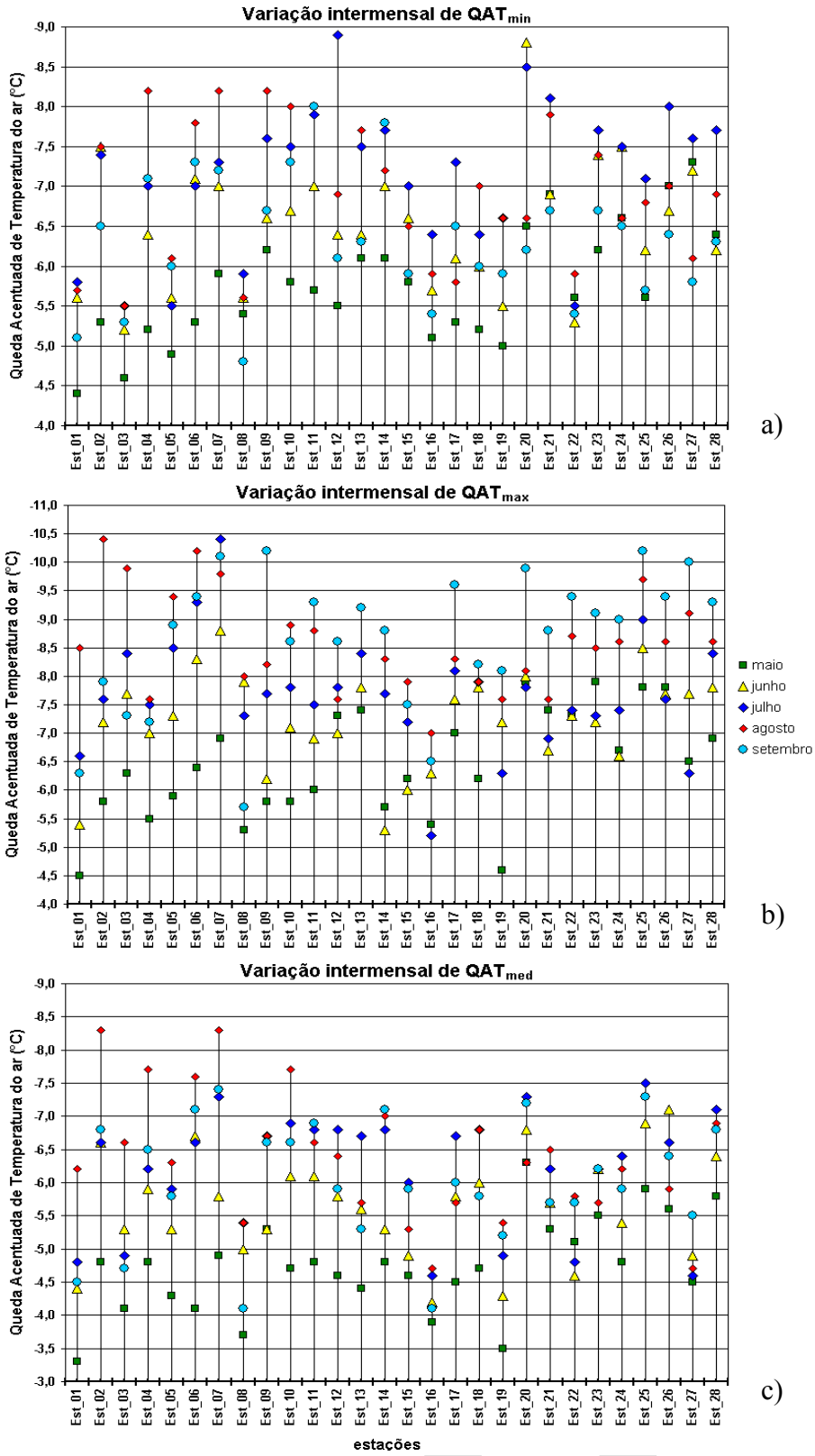


FIGURA 4.9 - Variação intermensal de: a) $\overline{QAT}_{min}$, b) $\overline{QAT}_{max}$, c) $\overline{QAT}_{med}$, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003).

Como descrito no Capítulo 3, as QAT do Tipo A abrangem eventos de incursão de ar frio que não provocam uma anomalia negativa de T numa determina estação meteorológica. As do Tipo B são aquelas que melhor representam a troca de ar anomalamente quente por ar anomalamente frio. E as QAT do Tipo C correspondem à eventos de incursão de ar frio num período anomalamente frio. Na Região Sul do Brasil, a maior freqüência percentual de $\overline{\text{QAT}}_{\text{min}}$, $\overline{\text{QAT}}_{\text{max}}$ e $\overline{\text{QAT}}_{\text{med}}$ (Tabelas A.4, A.5 e A.6, respectivamente) foi a do Tipo B. Esta característica é similar à observada na Argentina para $\overline{\text{QAT}}_{\text{med}}$ (Escobar, 2001). As $\overline{\text{QAT}}_{\text{min}}$ do Tipo C foram mais freqüentes do que as do Tipo A, enquanto que, as $\overline{\text{QAT}}_{\text{max}}$ e $\overline{\text{QAT}}_{\text{med}}$ apresentaram um padrão oposto. Uma síntese das características de cada tipo de $\overline{\text{QAT}}$ verificada no Sul do Brasil é feita na Tabela 4.1, enquanto as Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 apresentam a distribuição espacial da freqüência de $\overline{\text{QAT}}_{\text{min}}$, $\overline{\text{QAT}}_{\text{max}}$, $\overline{\text{QAT}}_{\text{med}}$ dos Tipos A, B e C na Região Sul do Brasil, respectivamente, durante o período de maio a setembro (1996 a 2003).

TABELA 4.1 - Características de $\overline{QAT}_{min}$, $\overline{QAT}_{max}$, $\overline{QAT}_{med}$ dos Tipos A, B e C, correspondentes ao período maio a setembro (1996-2003).

TIPO	$\overline{QAT}_{min}$	$\overline{QAT}_{max}$	$\overline{QAT}_{med}$
A	Menores freqüências no norte do RS, leste de SC e centro-oeste do PR. O gradiente da freqüência é de norte para sul, no oeste da Região Sul do Brasil. (Figura 4.10a).	Menores freqüências no norte da Região Sul e as maiores freqüências, no leste do RS e SC. (Figura 4.11a)	Menores freqüências no norte da Região Sul, e as maiores freqüências no RS e SC. (Figura 4.12a)
B	Oeste da Região Sul com a freqüência aumentando de sul para norte. No setor leste a distribuição não é bem definida, a freqüência aumenta do sul até o nordeste do RS, diminuindo na região central de SC e aumentando novamente no nordeste do PR. (Figura 4.10b)	O gradiente de freqüência é de sudeste-noroeste, com os menores valores no litoral norte do RS e sul de SC e PR. (Figura 4.11b)	No lado oeste da Região Sul, as menores freqüências são no oeste do RS e as maiores, no noroeste do PR. Mas, no setor leste a distribuição não é bem definida. Apresenta menor freqüência na região central de SC. (Figura 4.12b)
C	O gradiente de freqüência é de sudoeste para nordeste na Região Sul, onde as menores freqüências são no oeste do RS. (Figura 4.10c)	Menores freqüências no sul da Região Sul do Brasil, e as maiores na região serrana. (Figura 4.11c)	Maiores freqüências da região serrana até o norte da Região Sul do Brasil, e as menores no litoral e oeste do RS, no litoral de SC e no noroeste do PR. (Figura 4.12c)

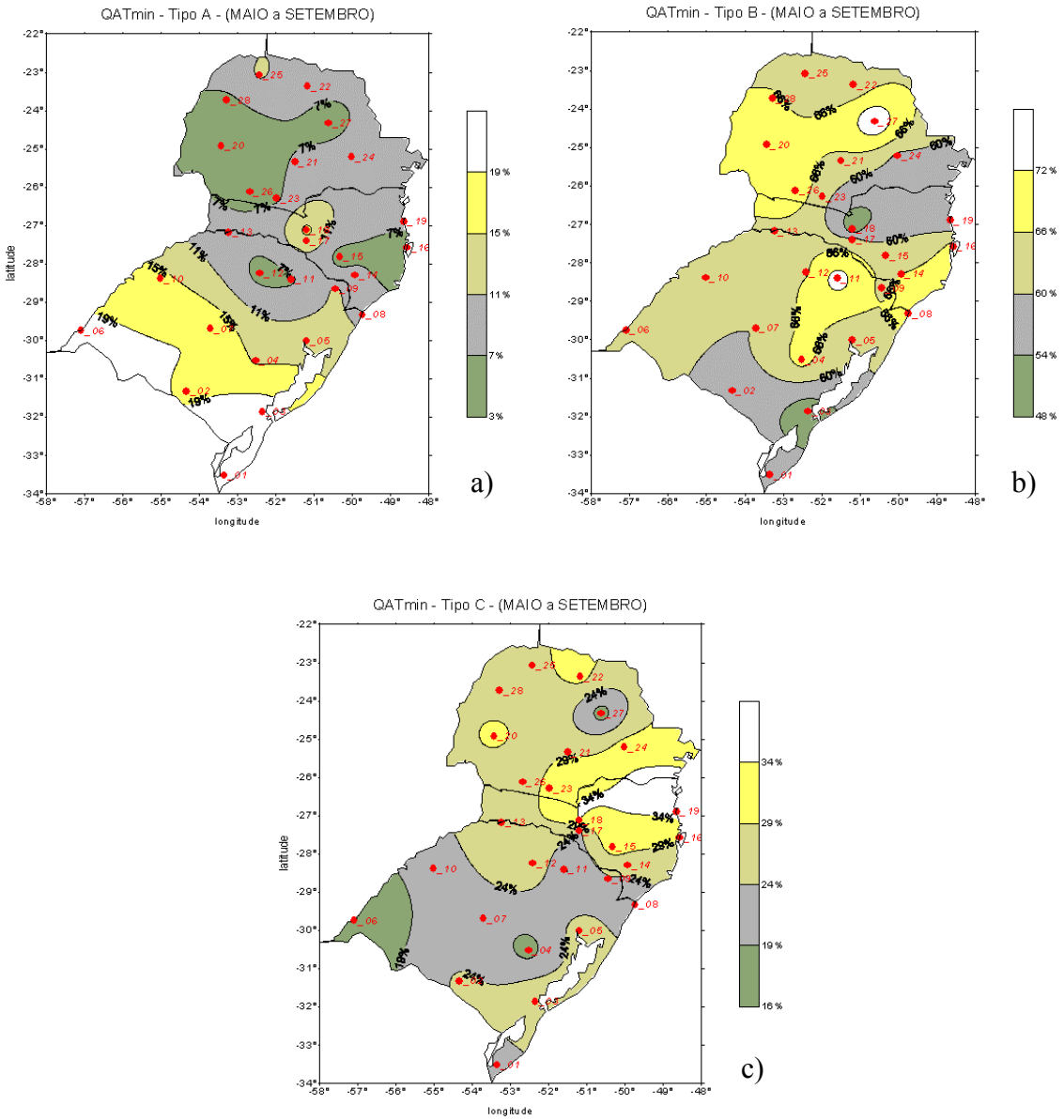


FIGURA 4.10 - Distribuição da freqüência de $\overline{QAT}_{min}$ do: a) Tipo A, b) Tipo B, c) Tipo C para a Região Sul do Brasil, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003).

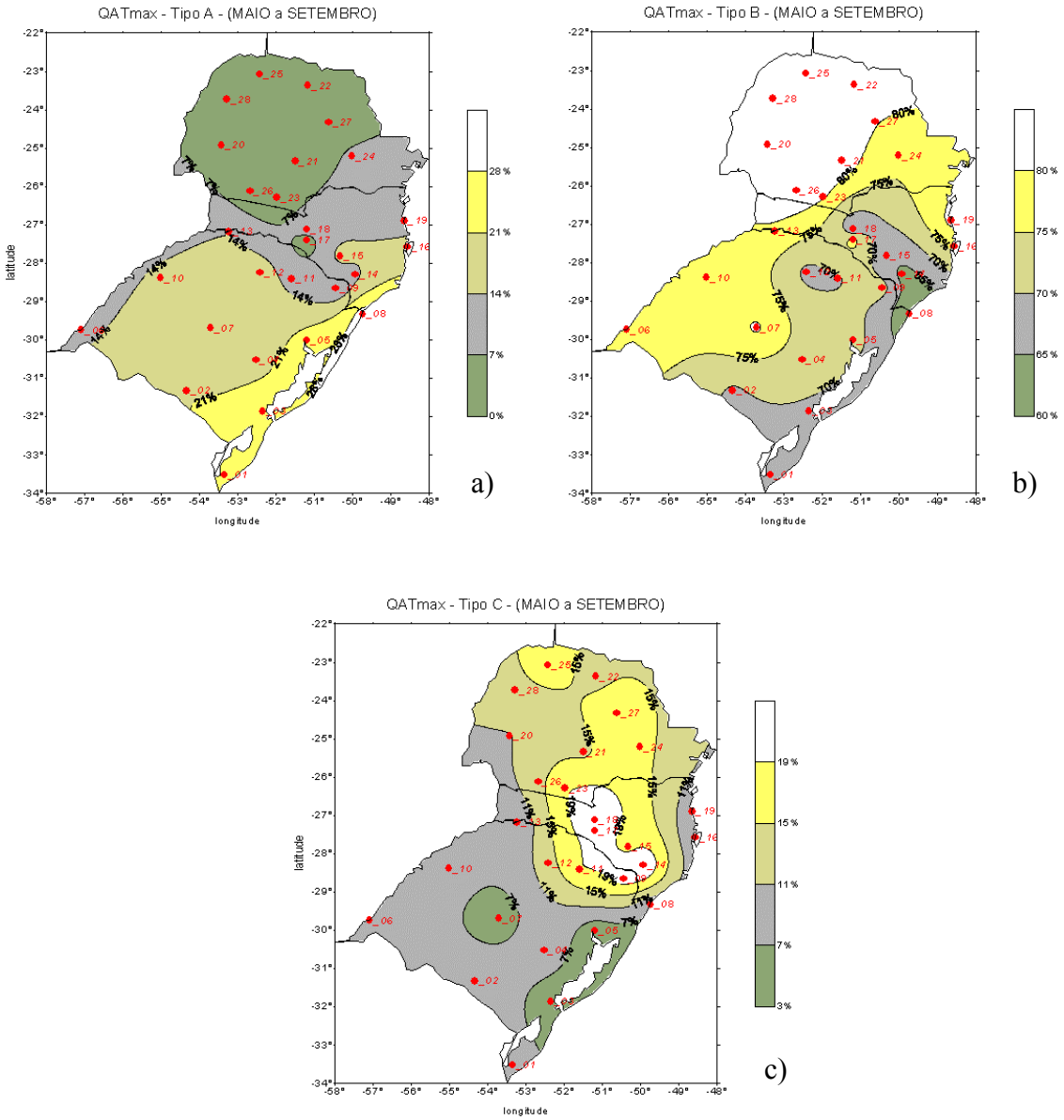


FIGURA 4.11 - Idem à Figura 4.10, exceto $\overline{QAT}_{max}$.

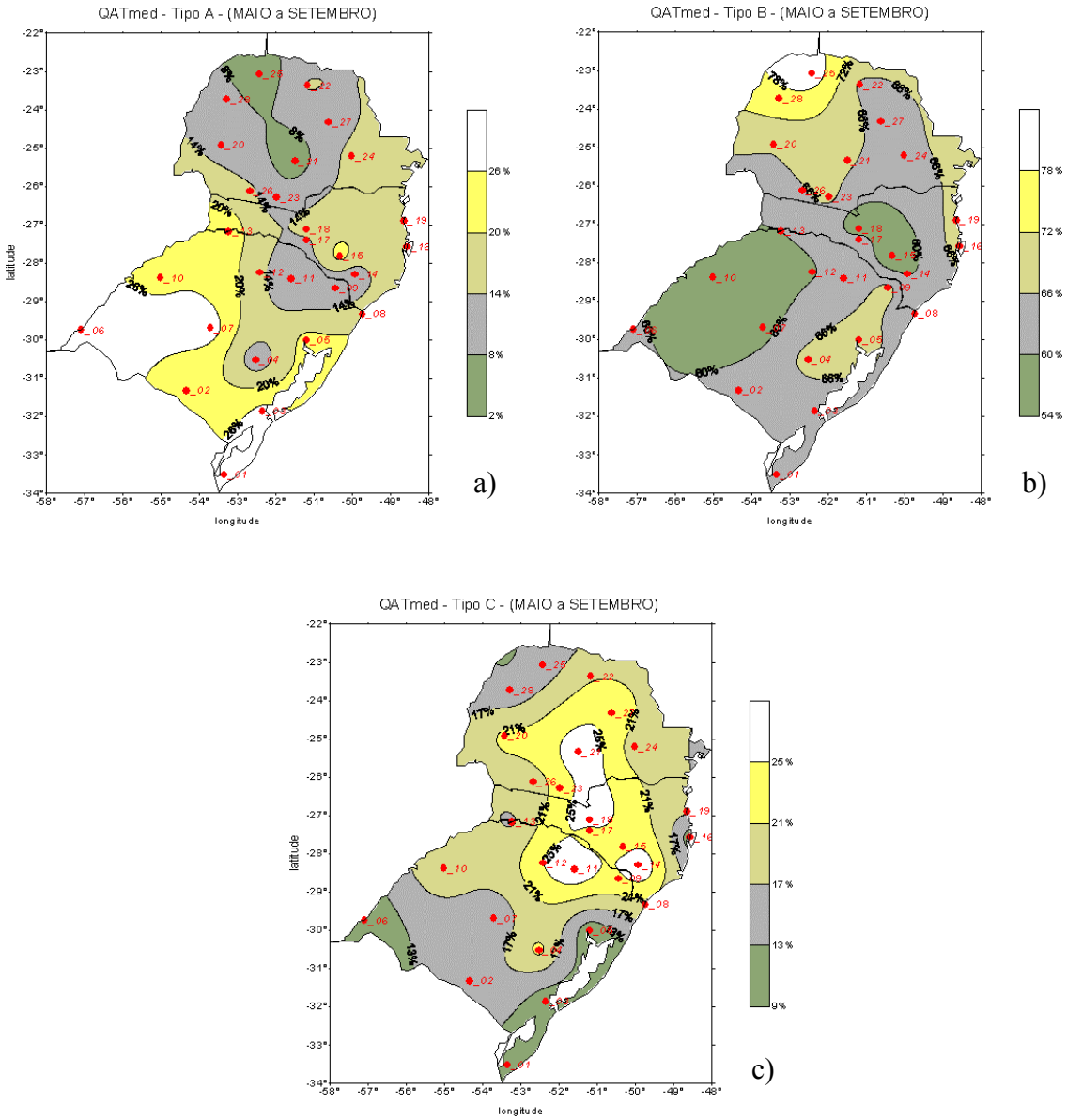


FIGURA 4.12 - Idem à Figura 4.10, exceto $\overline{QAT}_{med}$.

CAPÍTULO 5

PADRÕES ATMOSFÉRICOS ASSOCIADOS À EVENTOS EXTREMOS DE QAT_{min}

Neste Capítulo apresentam-se os padrões atmosféricos associados à eventos extremos de $\overline{QAT}_{min}$ do Tipo B na Região Sul do Brasil, para o período de maio a setembro (1996 a 2003). A análise da distribuição espacial da média dos eventos extremos de $\overline{QAT}_{min}$ (Figura 5.1a) mostra que os setores oeste e nordeste do RS, sudoeste do PR e região serrana (Est_09, Est_14, Est_23) apresentaram os maiores valores, os quais foram superiores a - 9,1°C. A localização dessas áreas com maiores valores de $\overline{QAT}_{min}$ coincide com as regiões de maiores valores de $\overline{QT}_{min}$ e $\overline{QAT}_{min}$ (Figuras 4.3a e 4.8a, respectivamente). Em vista disso, foram definidas duas áreas distintas para a construção dos compostos de eventos extremos de $\overline{QAT}_{min}$ (Figura 5.1b): a Área 1 (A1) localizada no setor sul e representada pelas Est_07 e Est_10, e a Área 2 (A2) no setor norte, representada pelas Est_20 e Est_21.

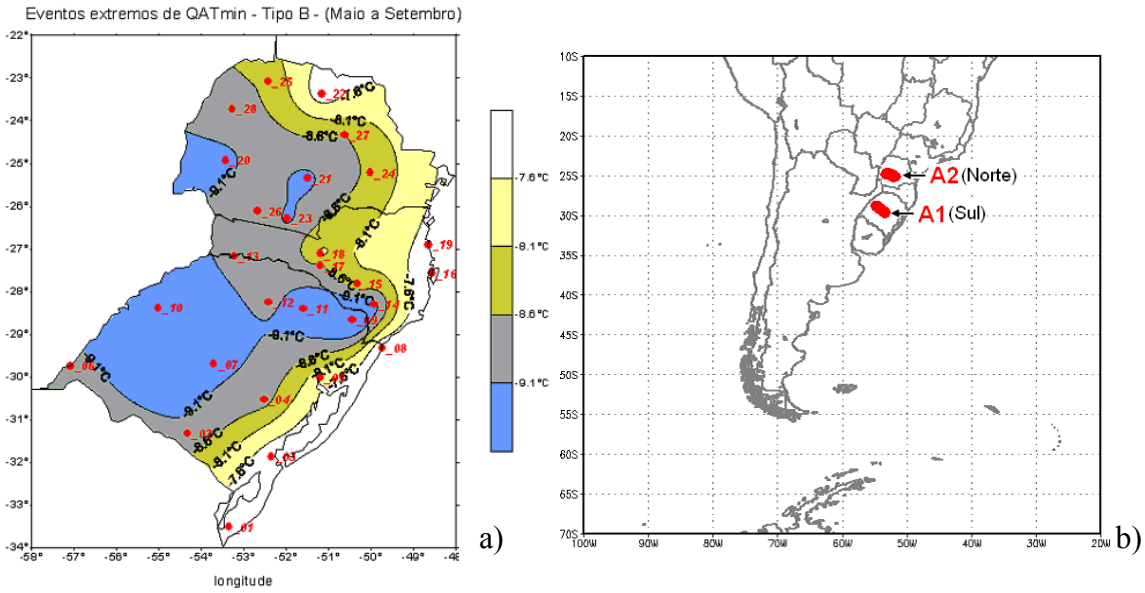


FIGURA 5.1 - a) Distribuição espacial dos eventos extremos de $\overline{QAT}_{min}$ do Tipo B na Região Sul do Brasil, correspondente ao período de maio a setembro (1996 a 2003); b) Localização geográfica de A1 e A2 na AS.

Baseado no limiar para eventos extremos de $\overline{QAT}_{min}$ verificou-se 15 casos, tanto em A1 como em A2, cujas datas de ocorrência estão relacionadas na Tabela 5.1. Em A1, a maior quantidade de eventos extremos de $\overline{QAT}_{min}$ ocorreu em agosto e setembro (4 casos em cada mês), enquanto que em A2 verificou-se em julho (6 casos) (Tabela 5.2). Além disso, os anos de 2002 e 1999 registraram a maior parte dos casos ocorridos em A1 (5 e 4 casos, respectivamente) e em A2, a maior freqüência anual foi no ano de 2000, com 4 casos (Tabelas 5.2).

TABELA 5.1 - Cronologia dos eventos extremos de $\overline{QAT}_{min}$ do Tipo B ocorridos em A1 e em A2.

CASOS	**A1**	**CASOS**	**A2**
Caso 01	21/05/1996	Caso 01	21/07/1996
Caso 02	26/08/1996	Caso 02	27/08/1996
Caso 03	20/08/1997	Caso 03	15/09/1997
Caso 04	04/07/1999	Caso 04	25/06/1998
Caso 05	13/08/1999	Caso 05	30/05/1999
Caso 06	08/09/1999	Caso 06	31/07/1999
Caso 07	30/09/1999	Caso 07	14/08/1999
Caso 08	11/07/2001	Caso 08	03/07/2000
Caso 09	10/06/2002	Caso 09	11/07/2000
Caso 10	22/06/2002	Caso 10	16/08/2000
Caso 11	21/08/2002	Caso 11	25/09/2000
Caso 12	07/09/2002	Caso 12	17/06/2001
Caso 13	20/09/2002	Caso 13	12/07/2001
Caso 14	02/05/2003	Caso 14	27/07/2001
Caso 15	30/07/2003	Caso 15	03/05/2003

TABELA 5.2 - Freqüências mensal e anual da ocorrência de eventos extremos de $\overline{QAT}_{min}$ do Tipo B, em A1 e em A2.

Freqüência Mensal			Freqüência Anual		
MESES	**A1**	**A2**	ANOS	**A1**	**A2**
Maio	02	02	1996	02	02
Junho	02	02	1997	01	01
Julho	03	06	1998	00	01
Agosto	04	03	1999	04	03
Setembro	04	02	2000	00	04
-	-	-	2001	01	03
-	-	-	2002	05	00
-	-	-	2003	02	01
Total	**15**	**15**	Total	**15**	**15**

Os campos médios e anômalos dos eventos extremos de $\overline{QAT}_{min}$ para A1 e A2 são denominados de **Composto Sul** e **Composto Norte**, respectivamente. Vale relembrar, que o dia D0 é definido como o dia em que ocorre os eventos extremos de QAT_{min} do Tipo B, ou seja, é a média dos 15 casos selecionados em A1 e A2, os quais estão relacionados na Tabela 5.1.

A Figura 5.2 apresenta o campo composto de anomalias de T em 925 hPa sobre a AS. No dia D-3 observam-se anomalias positivas de T sobre o nordeste da Argentina, Paraguai e parte da Região Centro-Oeste do Brasil, as quais apresentam um núcleo de 2°C no Composto Norte e 3°C no Composto Sul (Figura 5.2a). No dia seguinte (Figura 5.2b), o centro dessas anomalias positivas de T expandiram e intensificaram 1°C sobre o interior da AS no Composto Norte, estendendo sobre toda a Região Sul do Brasil. Comportamento similar foi observado no Composto Sul, porém a intensificação foi maior, da ordem de 2°C (Figura 5.2b). Essas regiões com anomalias positivas de T deslocam-se para nordeste nos dias D-1 (Figura 5.2c). Neste dia, também se observa a incursão de anomalias negativas de T sobre a Argentina Central. No dia D0 destaca-se o deslocamento das anomalias negativas de T sobre A1 (no Composto Sul) e sobre A2 (no Composto Norte), caracterizando a incursão de uma massa de ar frio sobre o Sul do Brasil (Figura 5.2d). No dia D1, as anomalias negativas de T continuam se deslocando em direção a latitudes baixas, atingindo 15°S no Composto Sul e 10°S no Composto Norte (Figura 5.2e). Além disso, destaca-se um centro de -7°C sobre A2 no o Composto Norte e um núcleo de -6°C próximo a A1 no Composto Sul. Essas anomalias negativas de T sobre a AS enfraquecem no dia D2 (Figura 5.2f), o que sugere a desintensificação da massa de ar frio sobre o continente.

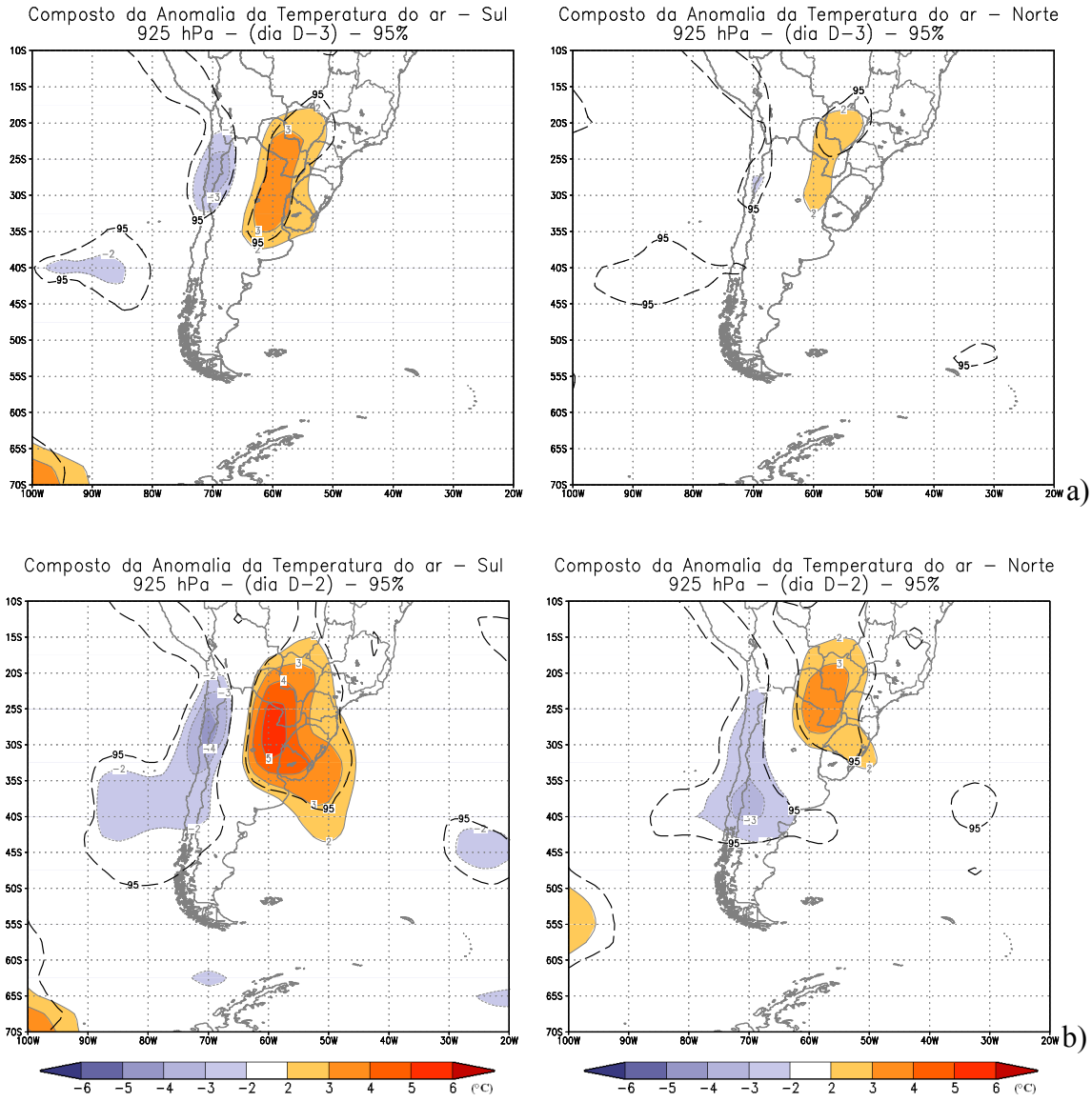


FIGURA 5.2 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de anomalias de T em 925 hPa, para os dias: a) D-3, b) D-2, c) D-1, d) D0, e) D1, f) D2. As regiões com significância superior a 95% estão indicadas pelo contorno tracejado preto.

(continua)

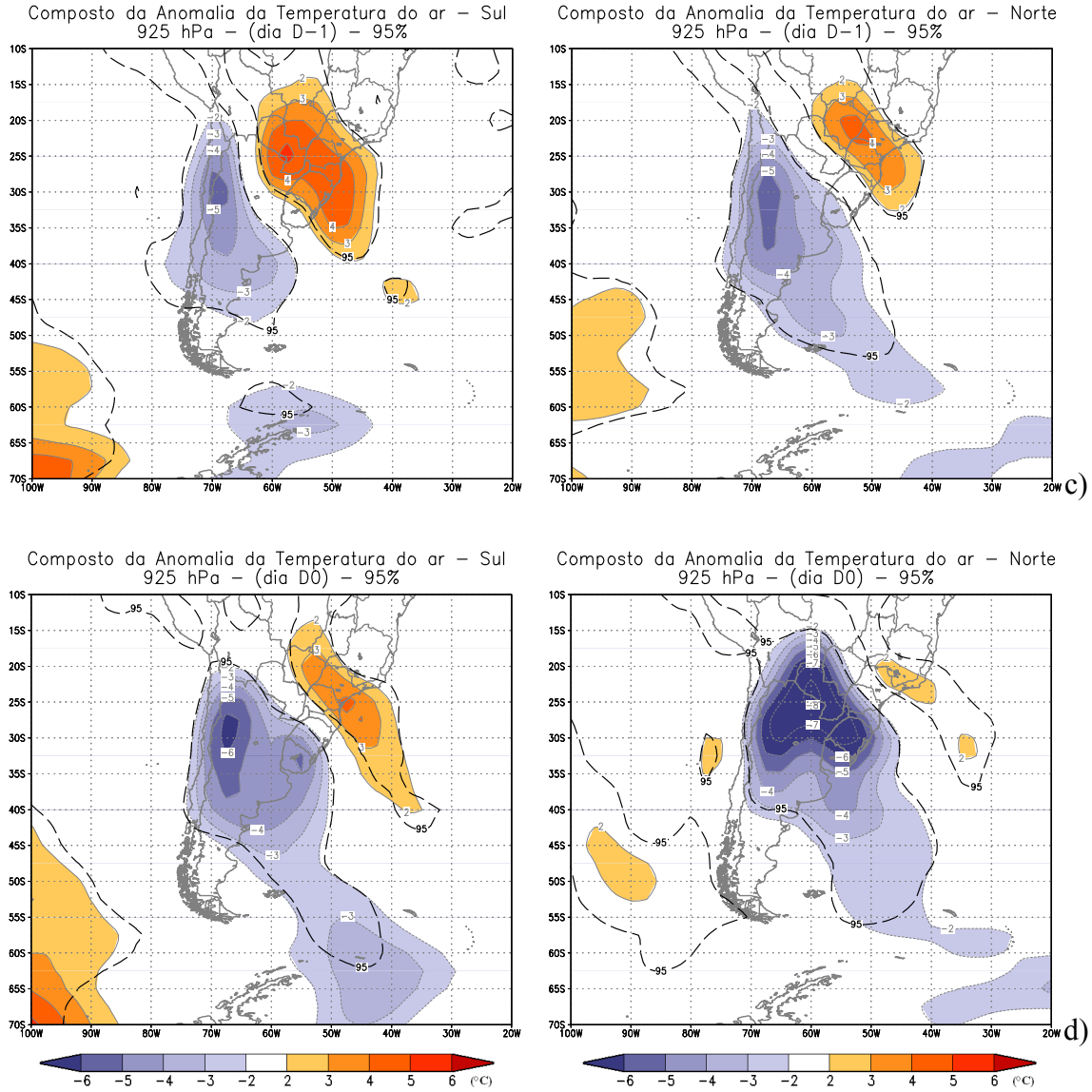


FIGURA 5.2 - (Continuação)
(continua)

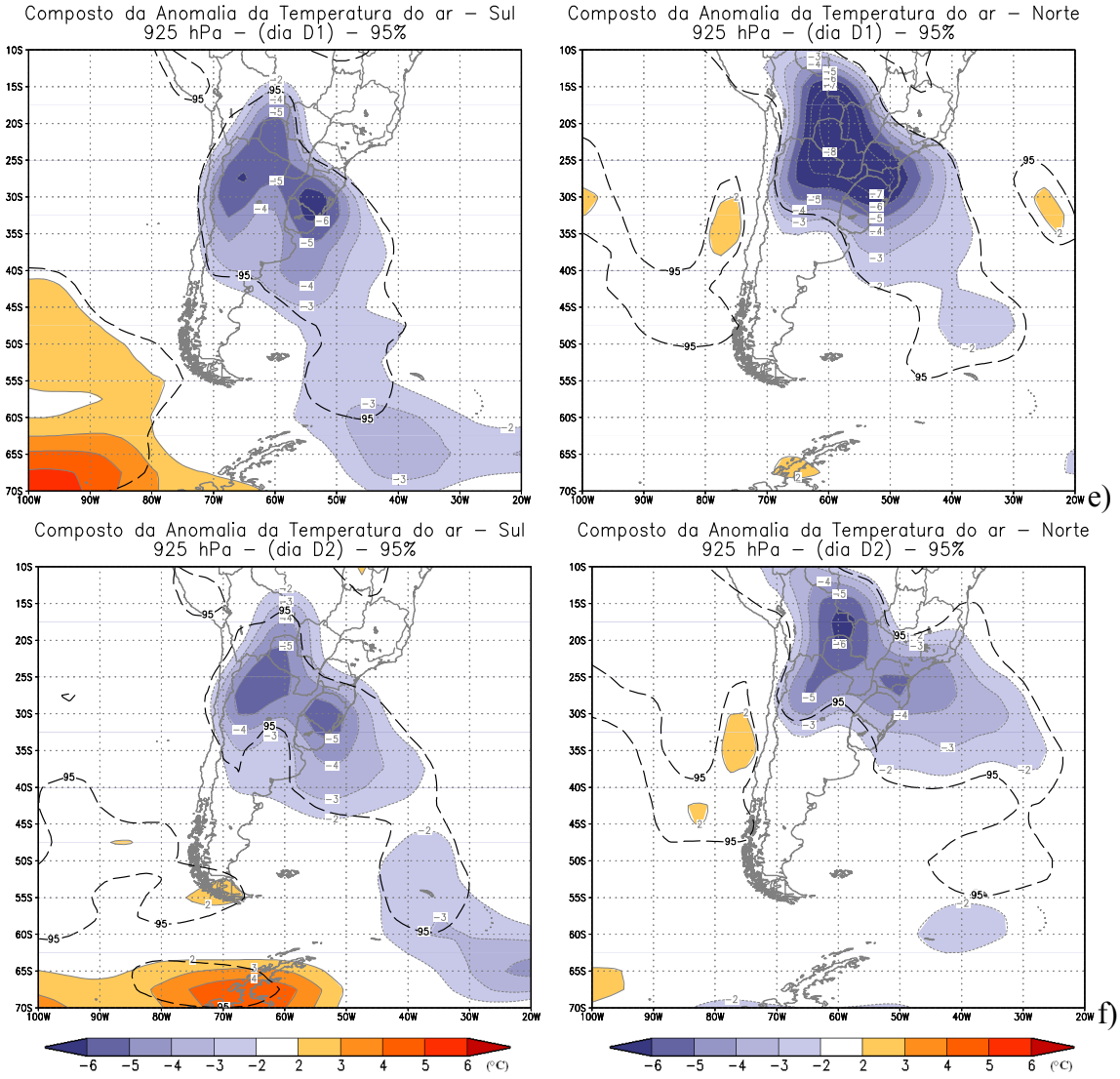


FIGURA 5.2 - (Conclusão).

A Figura 5.3 apresenta os padrões de PNM para ambos os compostos entre os dias D-2 e D1. No dia D-2, um anticiclone localiza-se sobre o Oceano Pacífico próximo à costa oeste da AS (Figura 5.3a), com um centro de 1020 hPa no Composto Sul e de 1025 hPa no Composto Norte. Além desse sistema, destaca-se um anticiclone sobre o Oceano Atlântico Sul, com centro de 1020 hPa em ambos os compostos, e um centro de baixa pressão sobre o Chaco (com centro de 1010 hPa), em aproximadamente 23°S; 60°W, associado a um cavado ao sul da AS. No dia D-1 (Figura 5.3b), parte do anticiclone

sobre o Oceano Pacífico começa a cruzar a cordilheira, intensificando próximo à costa chilena, em aproximadamente 35°S, caracterizando o "Poço do Andes" (Girardi, 1983). O cavado à sotavento dos Andes desloca-se para leste a partir desse dia, posicionando-se próximo à costa da Região Sul no dia seguinte (Figura 5.3c). O deslocamento desse cavado para leste e a conseqüente incursão do anticiclone extratropical sobre a Região Sul do Brasil, em ambos os compostos, caracterizam a passagem de um sistema frontal sobre a área de estudo. Estes dois sistemas geram um gradiente de pressão sobre o sudeste da AS, e uma conseqüente intensificação dos ventos de sul/sudeste, contribuindo para a advecção de ar frio sobre a Sul do Brasil, favorável à ocorrência de QAT_{min} na região. Nesse dia, o anticiclone extratropical sobre a AS apresenta um centro de 1025 hPa no Composto Norte, o qual é 5 hPa mais intenso que o centro observado no Composto Sul nessa mesma região. A maior intensidade do sistema de alta pressão vista no Composto Norte contribui para um gradiente de pressão mais intenso que o observado no Composto Sul, causando um escoamento do ar de sul mais intenso, favorecendo a incursão de ar frio para latitudes mais baixas da Região Sul do Brasil. Também se destaca nesse dia que o cavado sobre o Oceano Atlântico no Composto Norte possui uma forma mais ciclônica (Figura 5.3c). Isto mostra que no dia D0, em média, os casos selecionados no Composto Sul apresentam ciclones extratropicais mais fracos sobre o oceano, se comparados aos casos do Composto Norte. Em latitudes altas, há um domínio de baixas pressões à sudoeste e sudeste da AS, o que é típico em regiões sub-polares. Entre os sistemas sub-polares de baixa pressão (Figura 5.3c), observa-se uma crista associada ao sistema de alta pressão sobre a AS, em aproximadamente 80°W no Composto Sul e 65°W no Composto Norte. No dia D1 (Figuras 5.3d) o centro do anticiclone extratropical passa a atuar sobre o Sul do Brasil.

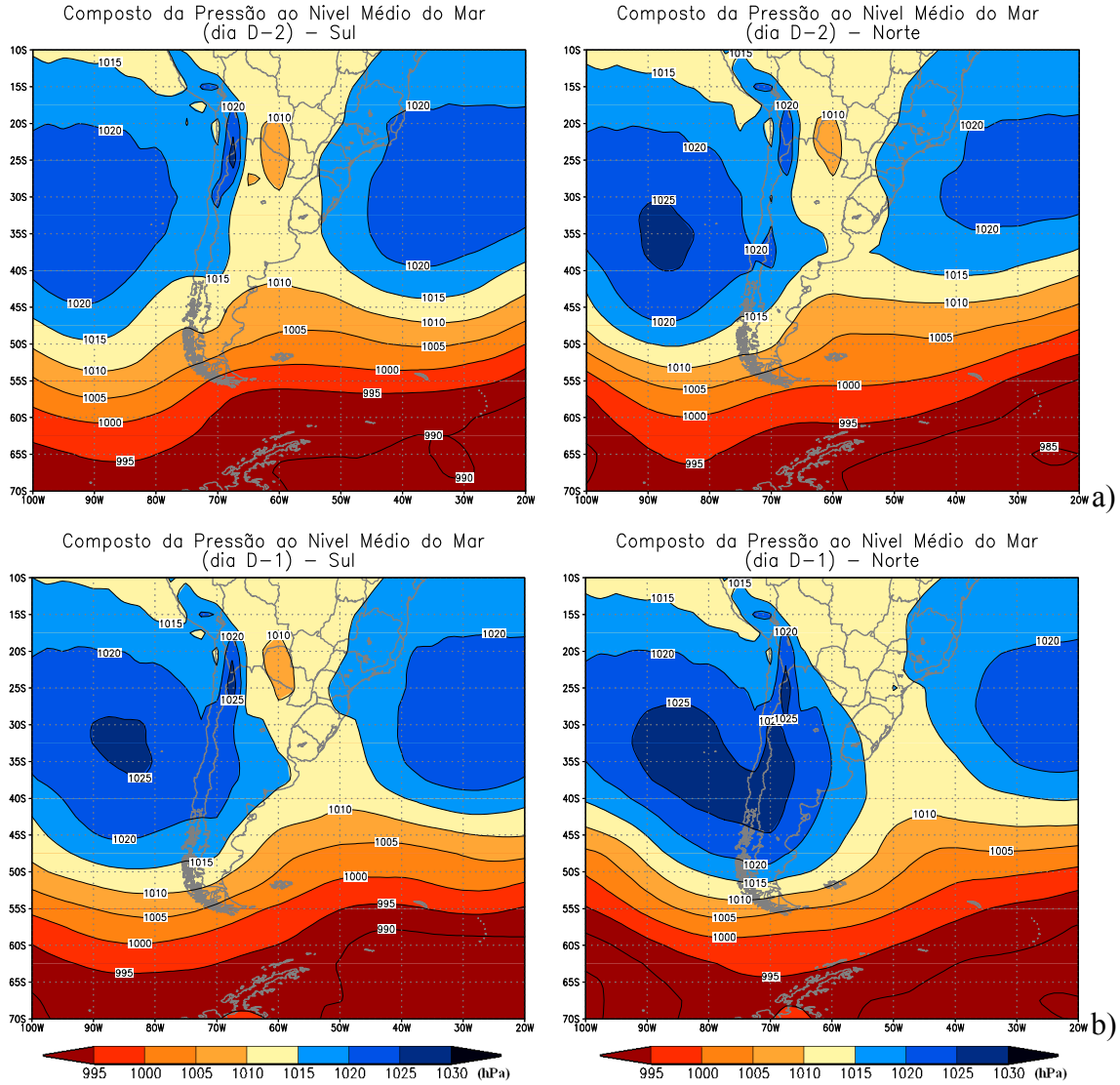


FIGURA 5.3 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de PNM (hPa) para os dias: a) D-2, b) D-1, c) D0, d) D1.
(continua)

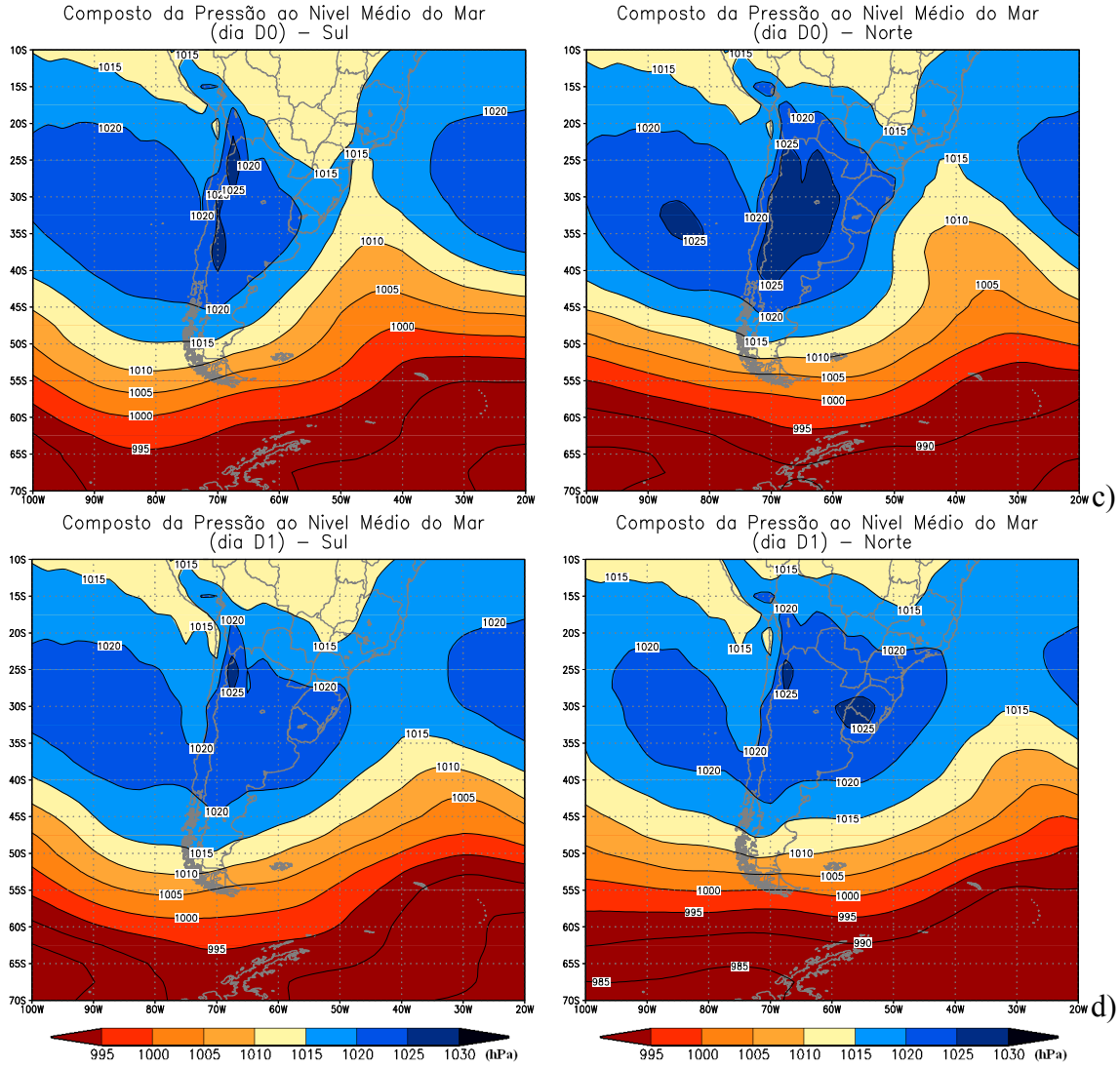


FIGURA 5.3 - (Conclusão).

A análise dos campos anômalos de PNM entre os dias D-4 e D1 (Figura 5.4), mostra que em ambos os compostos há a propagação de um trem de onda sobre o Oceano Pacífico, o qual começa a cruzar a cordilheira dos Andes em D-3 (Figura 5.4b). No dia D-2, há uma região de anomalias negativas de PNM sobre a AS, com um núcleo da ordem de –4 hPa em ambos os compostos (Figura 5.4c). Essa região de anomalias negativas de PNM passa a apresentar uma orientação sudeste-noroeste sobre a Região Sul do Brasil no dia D-1 (Figura 5.4d), estando associada à posição média de uma frente fria. Além disso, observam-se anomalias positivas de PNM sobre o Oceano Pacífico Sudeste, as quais são mais intensas no Composto Norte. No dia D0 (Figura 5.4e), o posicionamento das anomalias positivas de PNM sobre a Argentina e do cavado anômalo sobre o sudeste do Brasil, se estendendo até uma baixa anômala sobre o Oceano Atlântico Sul, caracterizam a passagem de uma frente fria sobre o Sul do Brasil. A área do Oceano Atlântico Sul em que ocorre a formação e a intensificação da baixa anômala corresponde a região ciclogenética observada por Gan e Rao (1991) e Sinclair (1996). Nesse dia, o Composto Norte (Sul) mostra um núcleo de anomalias positivas de PNM de +10 hPa (+8 hPa) no extremo norte da Argentina, que atingem a latitude 15°S (20°S) e, uma baixa anômala de -10 hPa (+8 hPa) sobre o Oceano Atlântico Sul. No dia D1 nota-se que sobre a Região Sul do Brasil predominam anomalias positivas de PNM (Figura 5.4f), o que mostra o domínio da alta pressão atmosférica sobre essa região.

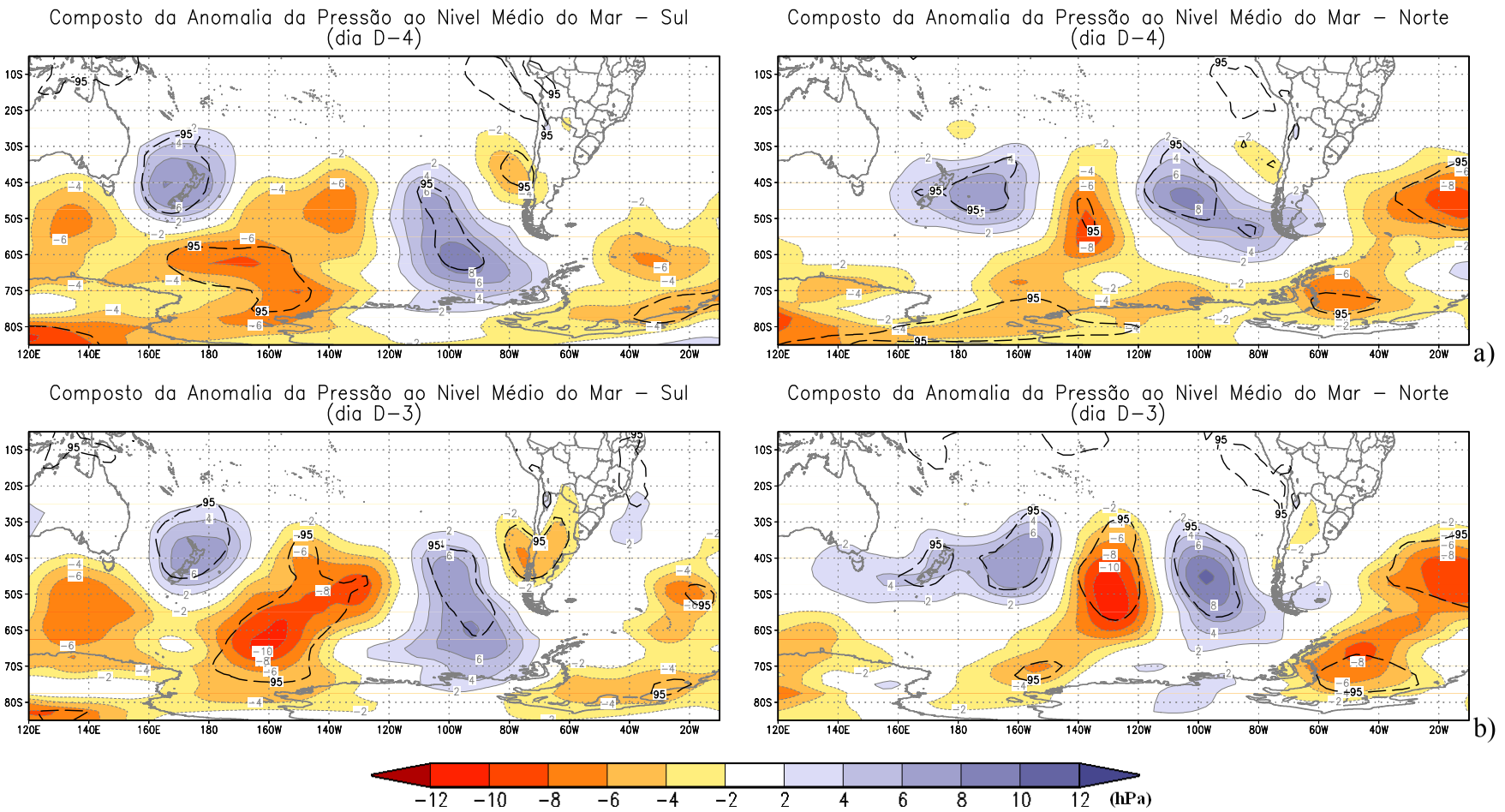


FIGURA 5.4 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de anomalia de PNM (hPa) para os dias: a) D-4, b) D-3, c) D-2, d) D-1, e) D0, f) D1. As regiões com significância superior a 95% estão indicadas pelo contorno tracejado preto.

(continua)

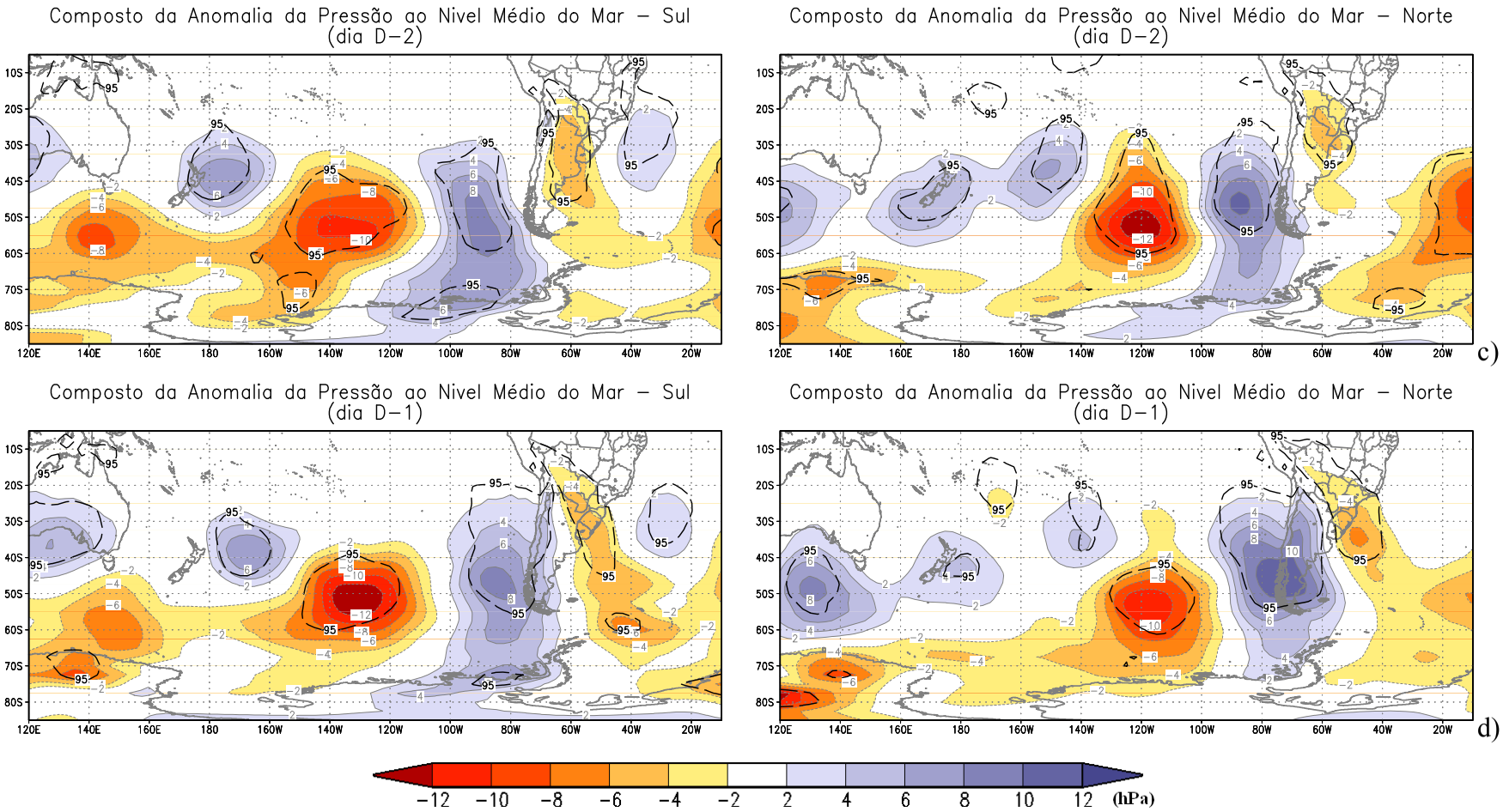


FIGURA 5.4 - (Continuação).
(continua)

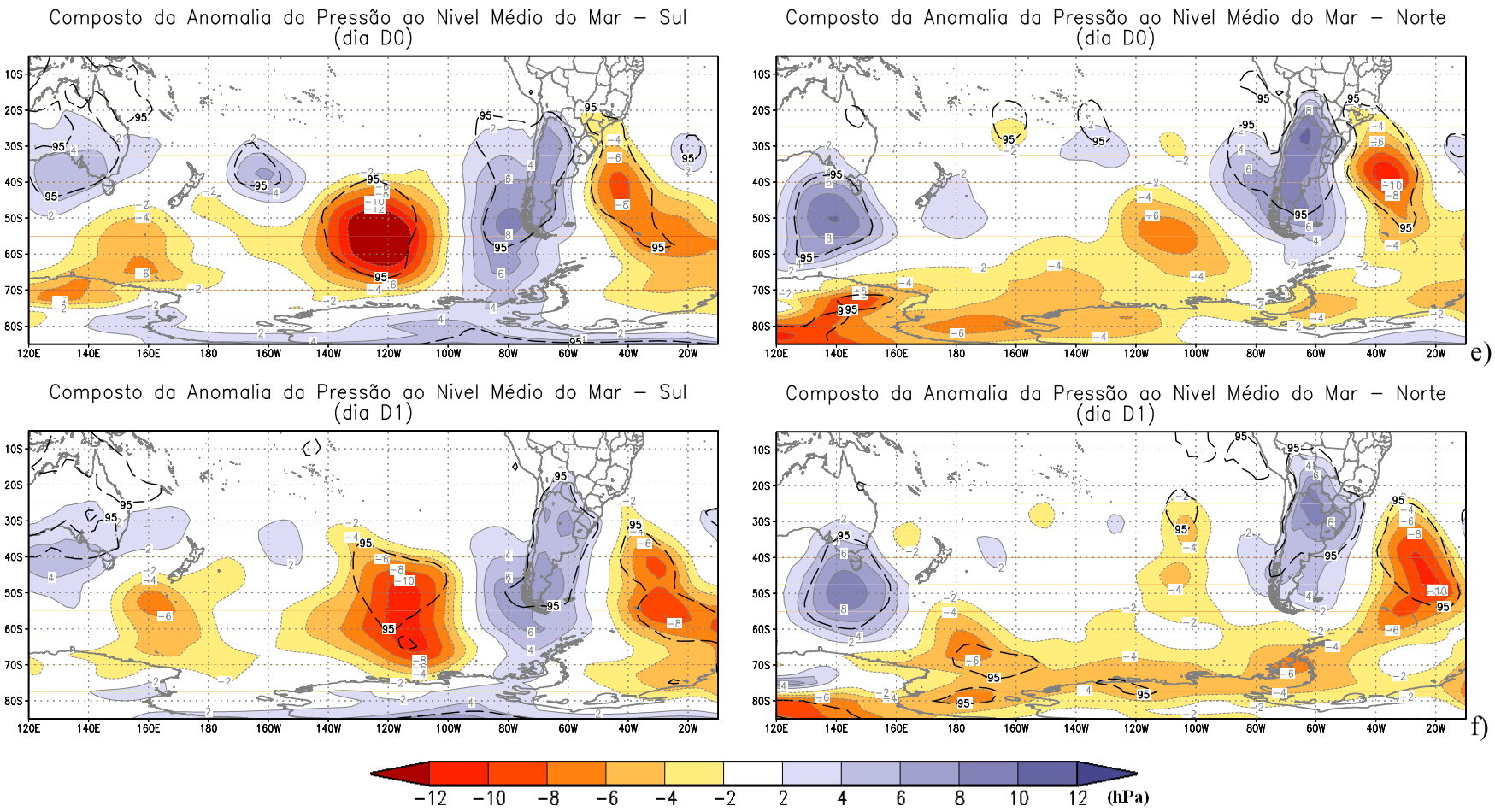


FIGURA 5.4 - (Conclusão).

Os campos de advecção de T em 925 hPa (Figura 5.5) mostram que no dia D-2, há advecção de ar quente sobre a Região Sul do Brasil, com valores superiores à 4°C dia^{-1} (Figura 5.5a). Esta região de advecção de T coincide com as regiões de anomalias positivas de T (Figura 5.2b) e negativas de PNM (Figura 5.4c) sobre o continente. Essa advecção de ar quente, que é tipicamente verificada ao norte da zona frontal, também é observada em D-1 (figura não mostrada). No dia D0 há advecção de ar frio sobre a AS (Figura 5.5b), mostrando valores superiores à –8°C dia^{-1} sobre o Sul do Brasil. Mattos (2003), por meio dos compostos de advecção de T para eventos de geada em SP, encontrou valores da ordem de -10°C dia^{-1} sobre a AS.

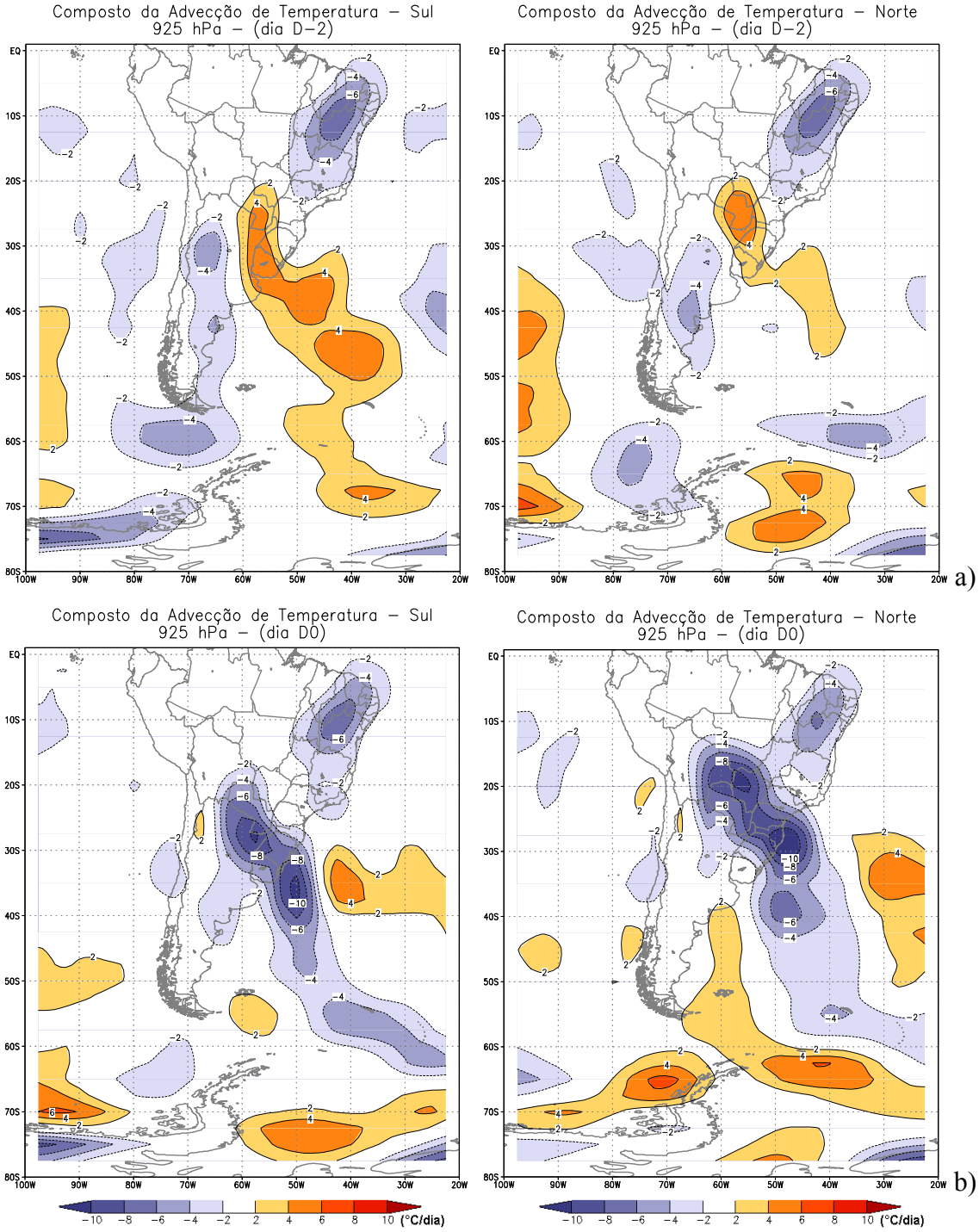


FIGURA 5.5 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de advecção de T (°C dia^{-1}) em 925 hPa para os dias: a) D-2, b) D0.

Os compostos Sul e Norte de ROLE (Figura 5.6) exibem entre os dias D-1 e D0, uma banda de nebulosidade sobre o Sul do Brasil. Esta se estende do Oceano Atlântico Sul até a costa leste da AS, com orientação sudeste-noroeste. Sua presença sobre a Região Sul do Brasil antes da QAT_{min} (Figura 5.6a) sugere a presença de uma frente fria sobre A1 e A2, estando diretamente relacionada com as regiões de advecção de ar quente (figura não mostrada). No dia D0, a banda de nebulosidade desloca-se para nordeste, caracterizando a passagem de uma frente fria sobre A1 no Composto Sul e A2 no Composto Norte (Figura 5.6b).

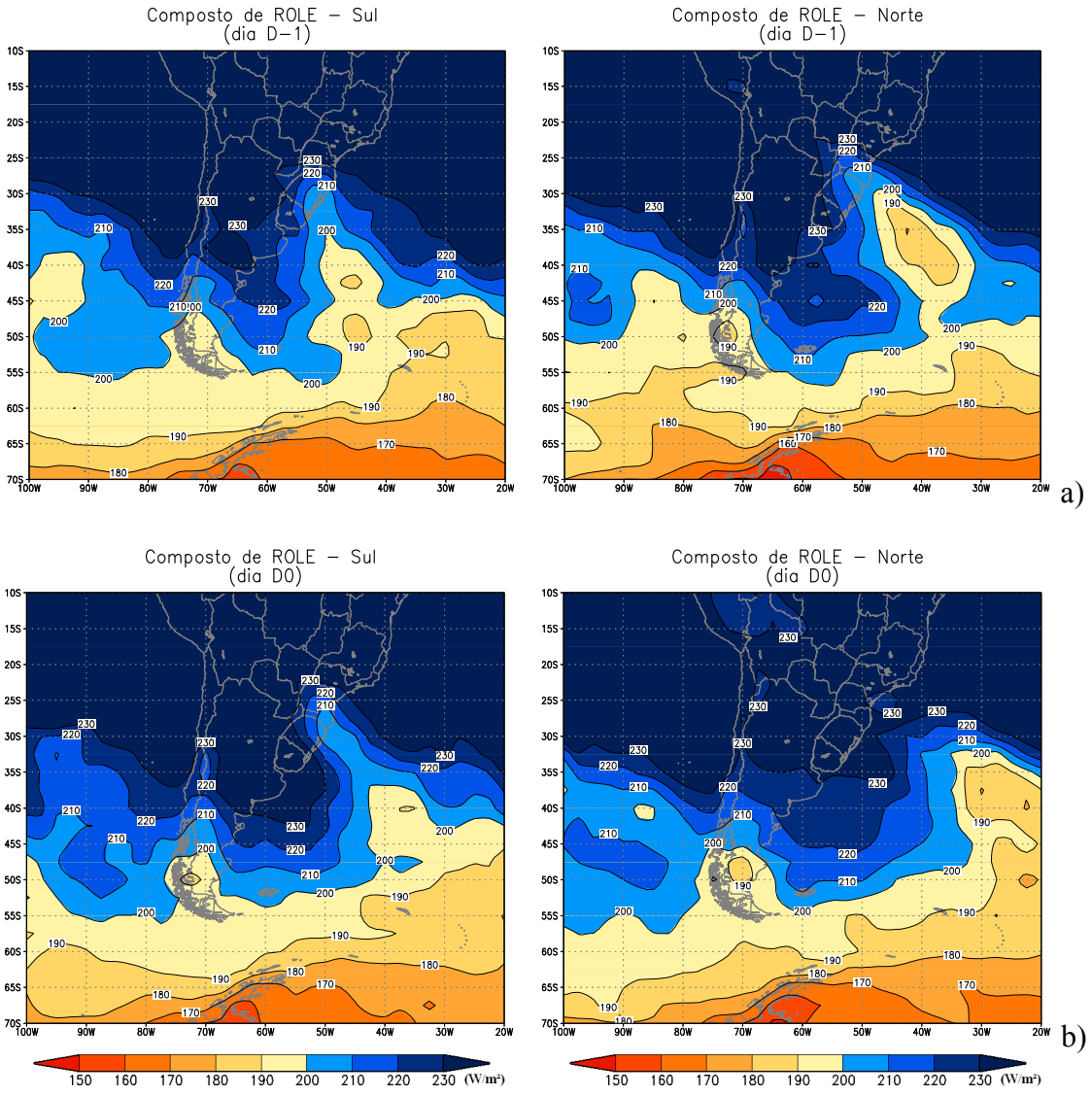


FIGURA 5.6 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de ROLE (W m^{-2}) para os dias: a) D-1, b) D0, c) D1.

(continua)

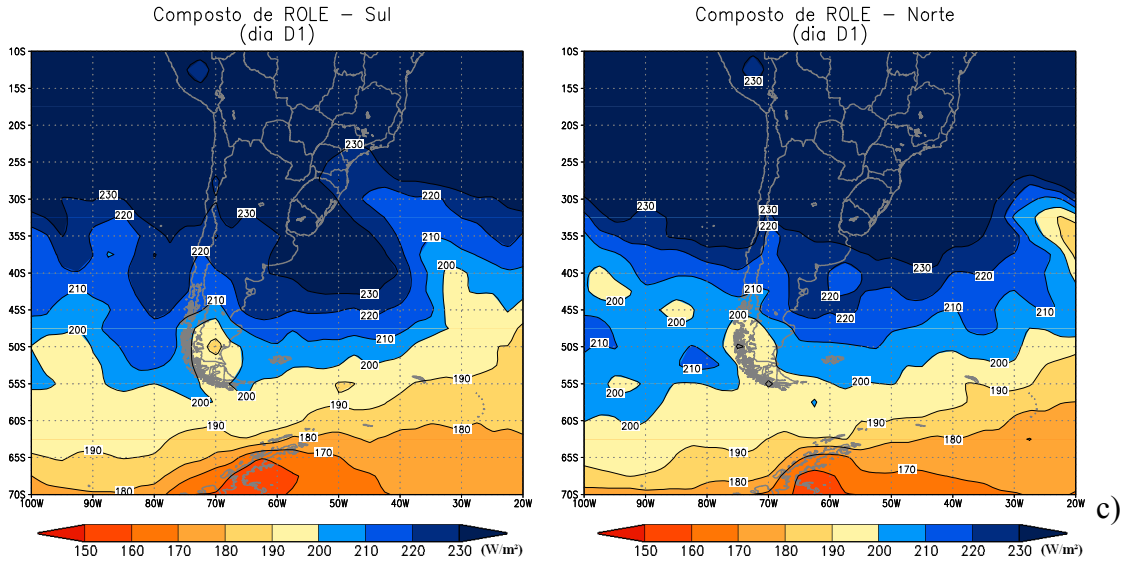


FIGURA 5.6 - (Conclusão).

A Figura 5.7 apresenta os campos compostos de linhas de corrente e magnitude do vento em 850 hPa associados à A1 e A2. Entre os dias D-7 (figura não mostrada) e D-1 (Figura 5.7c), a ASAS localiza-se próxima da AS em ambos os compostos, cujo setor oeste desse sistema é responsável pelo escoamento do ar de noroeste/norte sobre o Sul do Brasil durante esse período. No dia D-3 (Figura 5.7a), esse escoamento do ar apresenta um Núcleo de Velocidade Máxima (NVM) sobre o Paraguai e a Bolívia (superior a 10 m s^{-1}) e um cavado à oeste dos Andes. No dia D-2 (Figura 5.7b), esse cavado permanece a oeste dos Andes no Composto Sul, enquanto que no Composto Norte, o setor sul do cavado cruza os Andes, localizando-se sobre Buenos Aires e o litoral argentino. Neste dia, o escoamento de ar vindo dos trópicos intensifica, mostrando um NVM superior a 12 m s^{-1} sobre o Paraguai (Figura 5.7b). Nos dias D-3 e D-2 verifica-se sobre a Região Sul do Brasil um escoamento do ar de nordeste em 1000 hPa (figuras não mostradas). Comparando os campos de linhas de corrente em 1000 hPa (figura não mostrada) e em 850 hPa, verifica-se que sobre o Sul do Brasil há um giro anti-horário no cisalhamento vertical do vento, indicando advecção de ar quente e, conseqüentemente, aumento de T (Figura 5.2b) e diminuição da PNM (Figura 5.3a) sobre a região (Fedorova, 2001). A análise do corte zonal de v em 22°S (latitude que

apresenta o NVM) mostra que no dia D-2, o escoamento vindo dos trópicos apresenta um JBN em 850 hPa (Figura 5.8a), de acordo com o Critério 1 Modificado de Bonner (Cavalcanti e Souza, 2002). No dia D-1, o escoamento do ar de sudeste/sul sobre a Argentina apresenta um NVM superior a 10 $m\,s^{-1}$ (Figura 5.7c). O Composto Norte apresenta um escoamento mais intenso e mais de sul que o Composto Sul. Em ambos compostos, se observa a intensificação do cavado, associada à advecção de ar frio corrente acima e a advecção de ar quente corrente abaixo. No dia D0, ambos os compostos mostram uma circulação anticiclônica sobre o norte da Argentina e uma mudança do escoamento de noroeste para sudoeste sobre a Região Sul do Brasil (Figura 5.7d). Nesse dia há uma mudança no fluxo de norte para sul em 22°S (Figura 5.8b), semelhante ao episódio de incursão de ar frio ocorrido no Sul do Brasil em 17 de abril de 1999 (Marengo e Soares, 2002). O escoamento de sudeste associado à circulação anticiclônica sobre o noroeste argentino (Figura 5.7e) favorece a advecção de ar frio na Região Sul e o deslocamento do cavado para o Oceano Atlântico Sul. A partir do dia D1 a circulação anticiclônica desloca-se em direção a Região Sul do Brasil (Figura 5.7e), cujo centro passa a atuar nessa região nos dias seguintes.

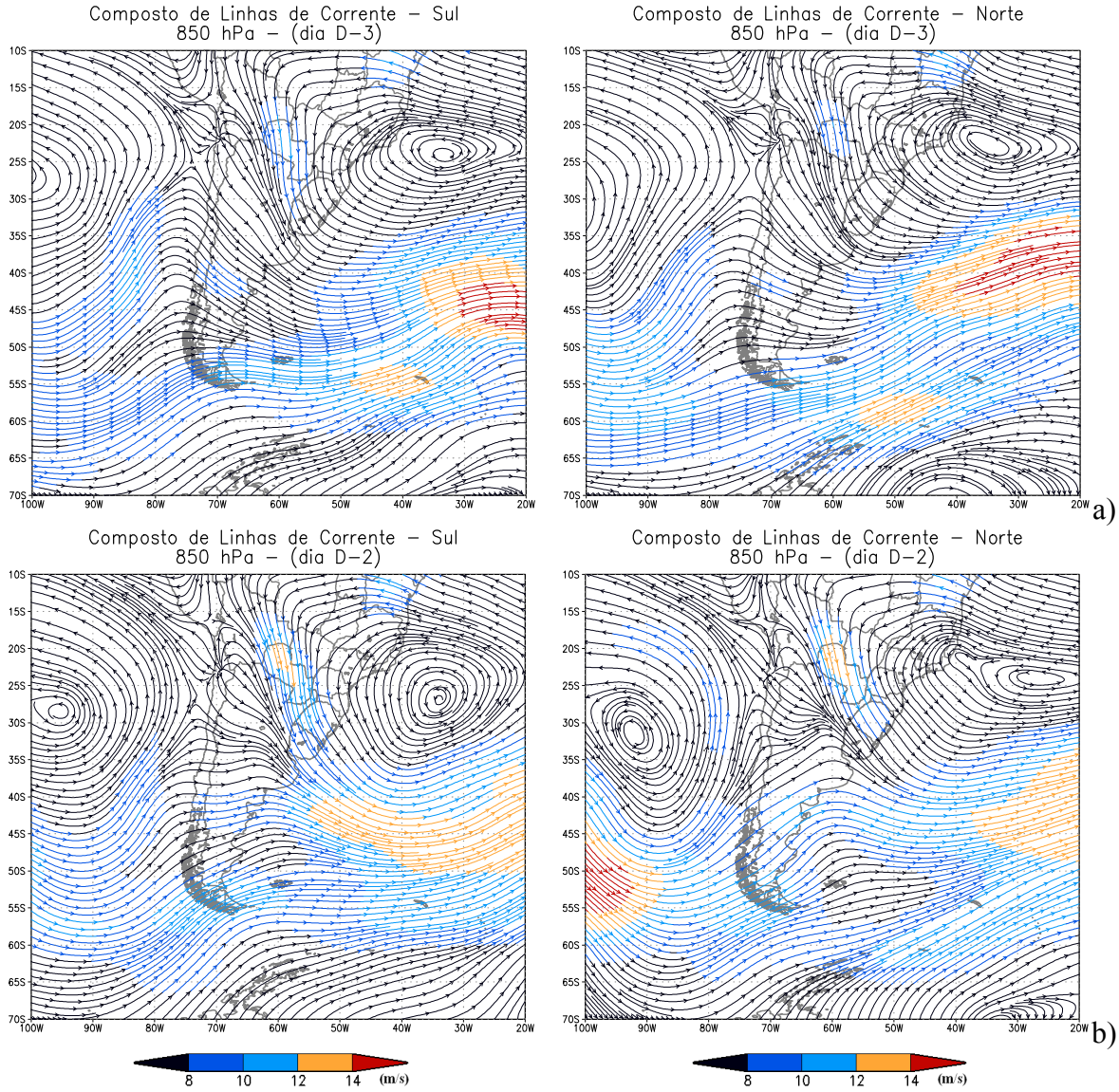


FIGURA 5.7 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de Linhas de Corrente e magnitude do vento (m s^{-1}) em 850 hPa, para os dias: a) D-3, b) D-2, c) D-1, d) D0, e) D1.

(Continua)

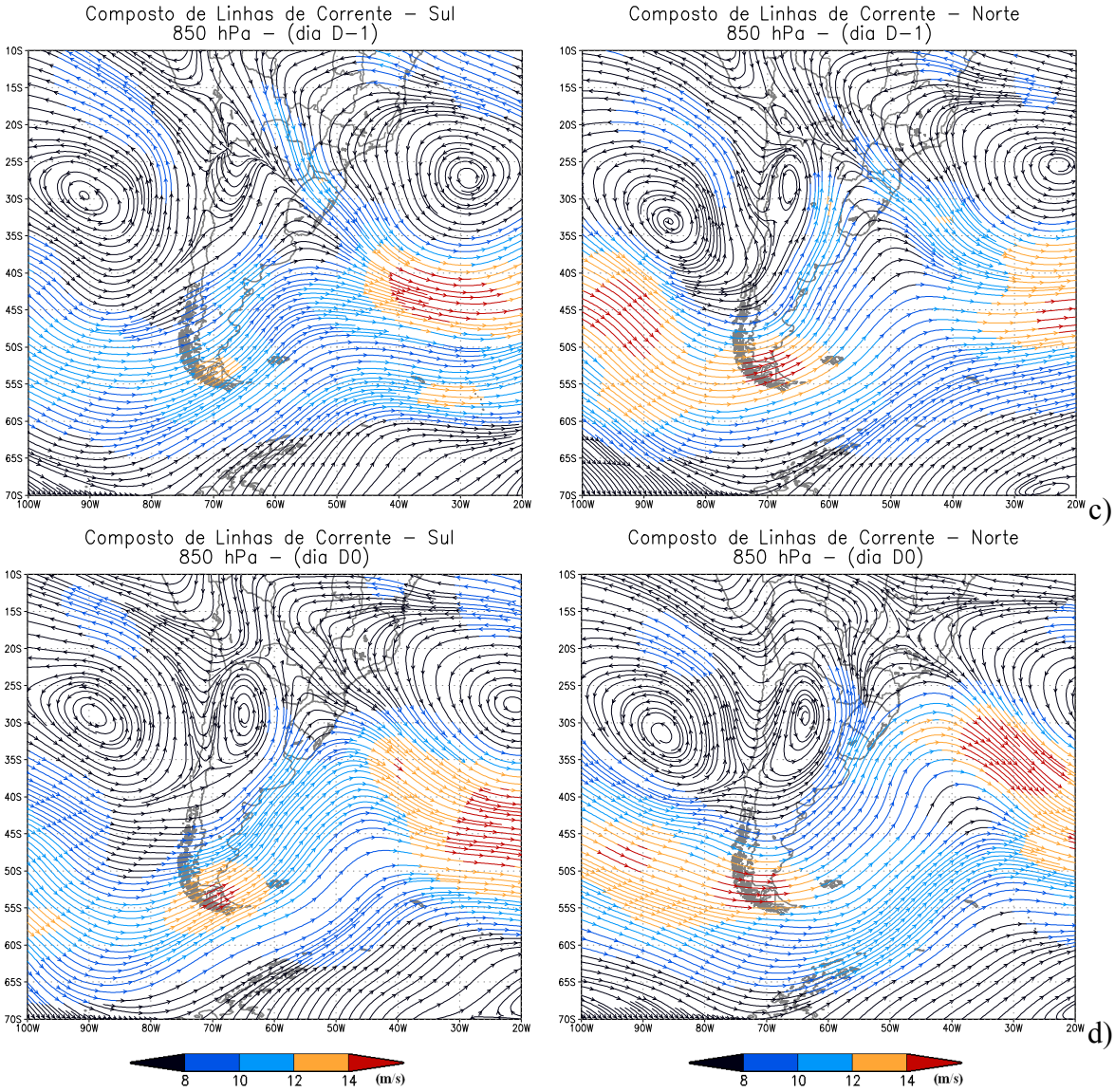
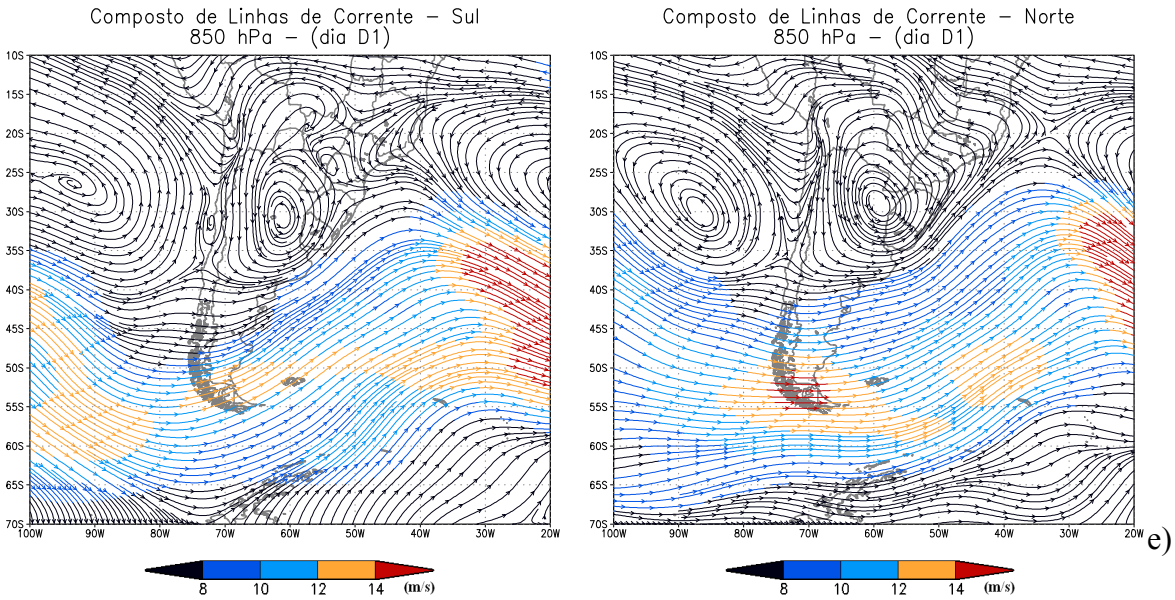


FIGURA 5.7 - (Continuação)
(continua)



e)

FIGURA 5.7 - (Conclusão).

A Figura 5.9 apresenta o corte zonal de v sobre os setores A1 (em 30°S) e A2 (em 24°S). No dia D-2 (Figura 5.9a), em baixos níveis, há uma componente de norte (superior a -9 m s^{-1}) em aproximadamente 58°W, a qual passa a ser de sul em D0, com um núcleo superior a 9 m s^{-1} (Figura 5.9b). A presença de uma componente de norte antes da QAT_{min} e de sul em D0, em que ambas apresentam uma magnitude em módulo superior a 9 m s^{-1} sobre o continente, é um padrão atmosférico que favorece a QAT_{min} na Região Sul do Brasil e a troca de massas de ar sobre a AS, devido há uma mudança significativa do fluxo de ar de norte para sul (Marego e Soares, 2002).

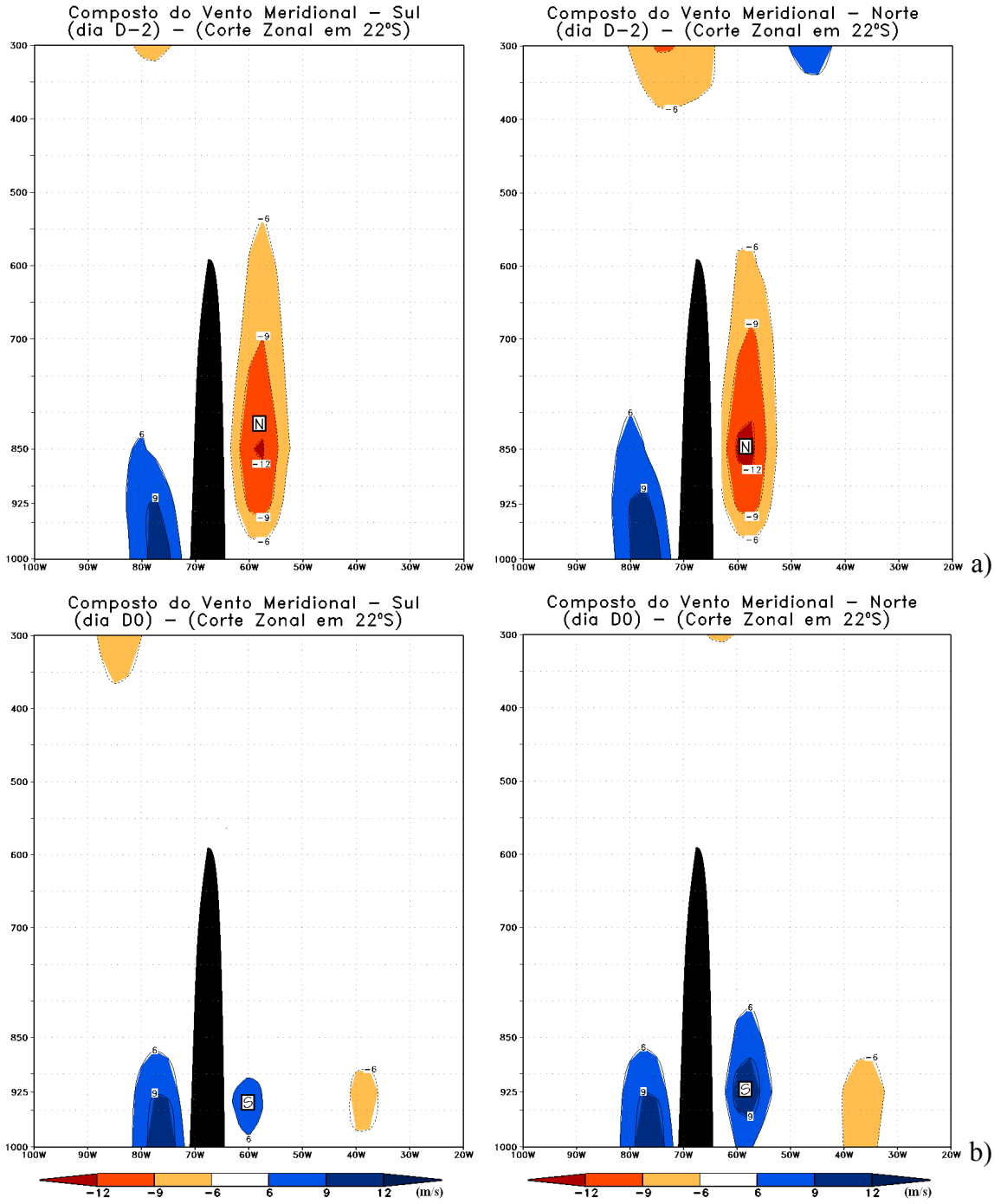


FIGURA 5.8 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) do corte zonal de v (m s^{-1}) em 22°S para os dias: a) D-2, b) D0. Uma localização aproximada e hipotética dos Andes é indicada em preto. Os fluxos de norte e sul são representados por N e S, respectivamente.

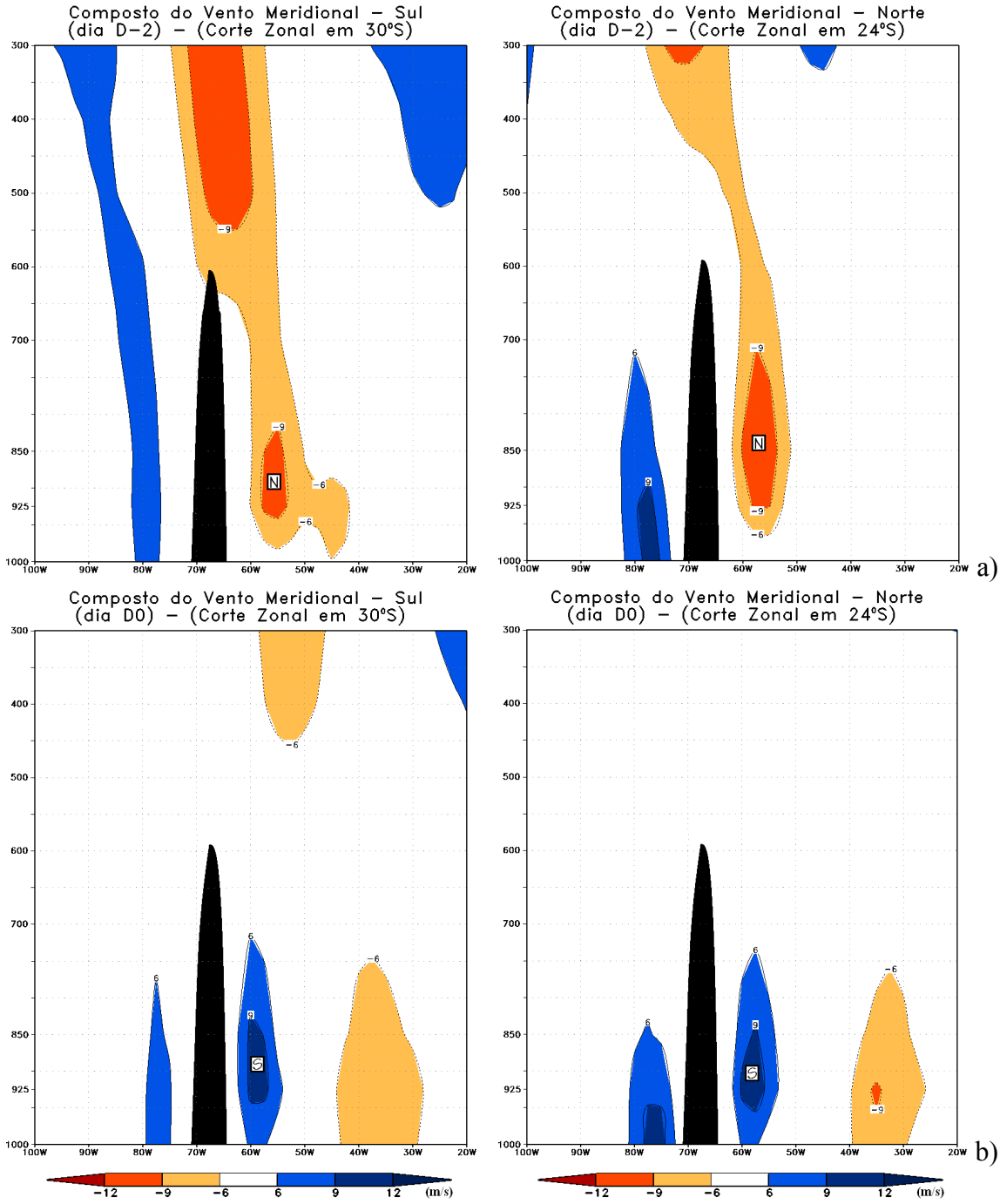


FIGURA 5.9 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) do corte zonal de v (m s^{-1}) em A1 (30°S) e em A2 (24°S), respectivamente, para os dias: a) D-2, b) D0. Uma localização aproximada e hipotética dos Andes é indicada em preto. Os fluxos de norte e sul são representados por N e S, respectivamente.

O campo de anomalias de v mostra um padrão tipo onda, que se estende desde do Oceano Pacífico Oeste até a AS entre os dias D-2 e D1 (Figura 5.10). Em geral, no Composto Norte, o trem de onda tem um menor comprimento de onda e anomalias de v mais intensas que o Composto Sul. Em ambos os compostos, as anomalias negativas de v (com NVM inferior a -6 m s^{-1}) que estão localizadas sobre o Sul do Brasil em D-2 (Figura 5.10a) deslocam-se para nordeste em D-1, propagando para o Oceano Atlântico Sul (Figura 5.10b). Na retaguarda destas anomalias negativas de v há o avanço de anomalias positivas de v sobre a AS, cuja intensidade sobre o nordeste da Argentina é superior a 12 m s^{-1} no Composto Norte e superior a 6 m s^{-1} no Composto Sul. No dia D0 (Figura 5.10c), essas anomalias positivas de v sobre a AS, juntamente com as anomalias negativas v sobre o Oceano Atlântico Sul, caracterizam uma circulação ciclônica à oeste da Região Sul do Brasil, contribuindo para a ocorrência de QAT_{min} do Tipo B sobre a região.

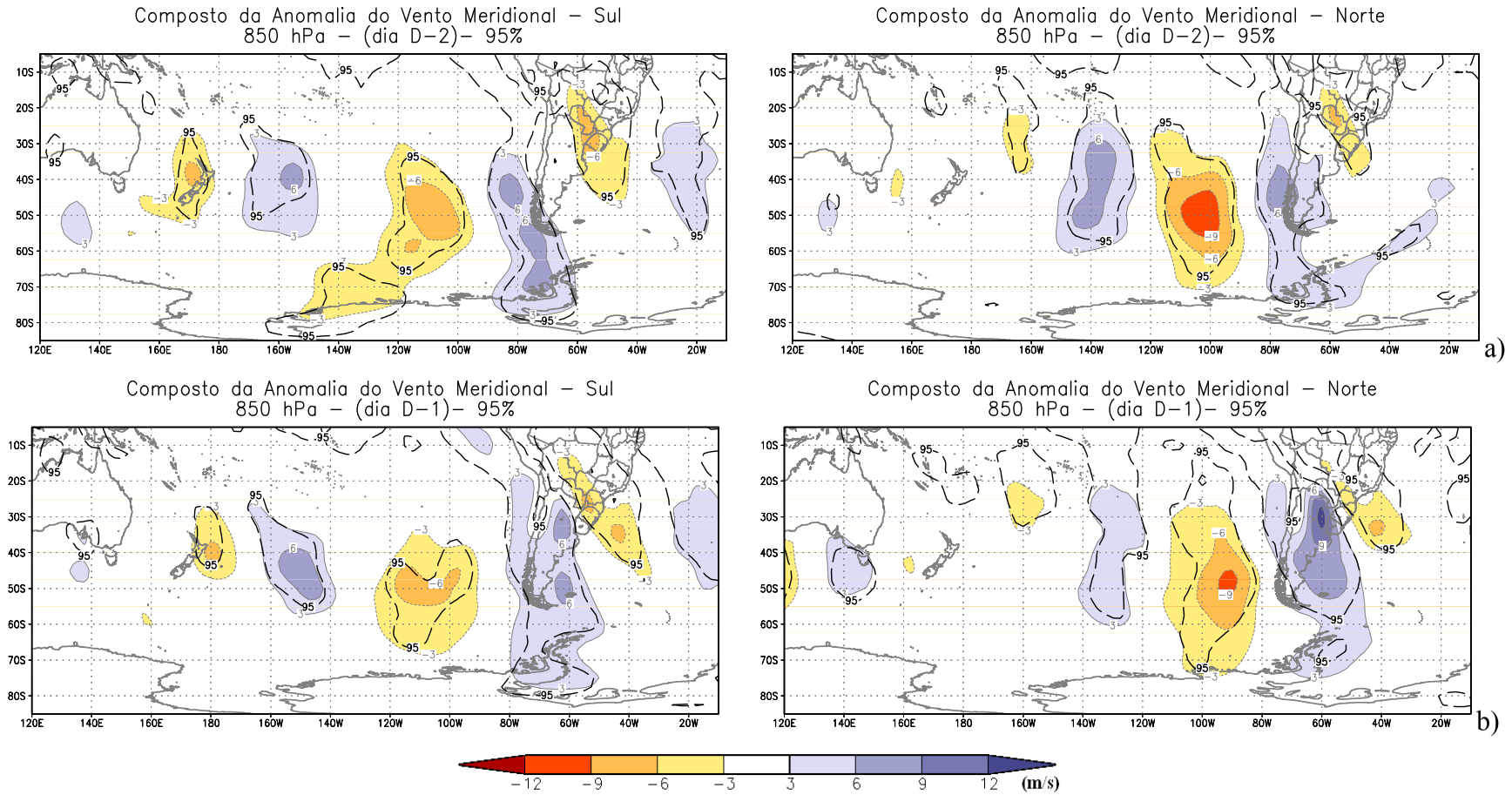


FIGURA 5.10 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de anomalia de v (m s^{-1}) em 850 hPa, para os dias: a) D-2, b) D-1, c) D0, d) D1. As regiões com significância superior a 95% estão indicadas pelo contorno tracejado preto.

(continua)

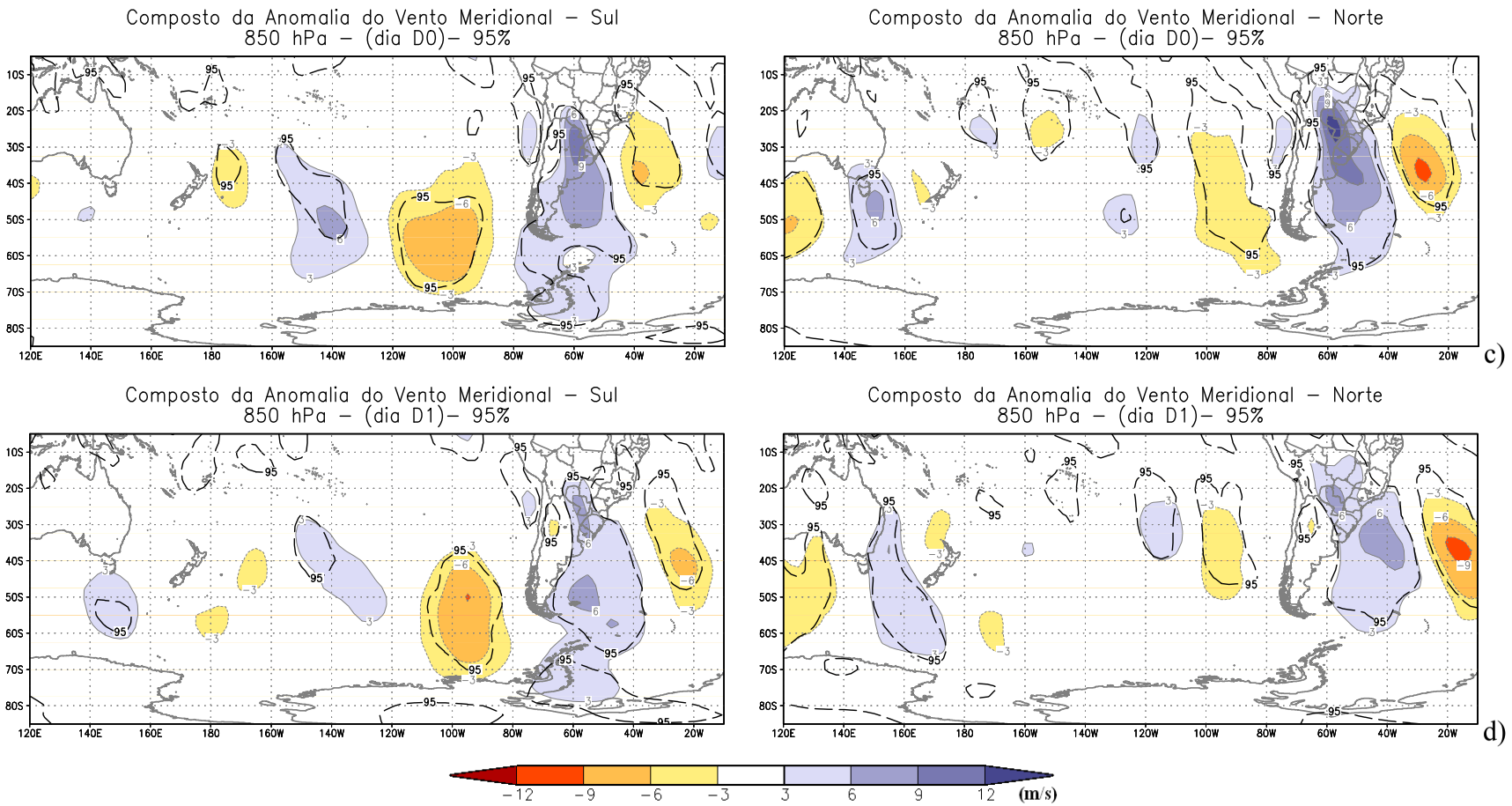


FIGURA 5.10 - (Conclusão).

A partir do dia D-2 (figura não mostrada), uma "língua" de ar úmido com valores superiores a 8 g kg^{-1} avança dos trópicos em direção ao Sul do Brasil. A Figura 5.11a mostra que há ar úmido sobre a Região Sul do Brasil no dia D-1, com o Composto Sul apresentando anomalias positivas de q superiores em 1 g kg^{-1} ao Composto Norte sobre essa região (Figura 5.12a).

Nos dias antecedentes a QAT_{min}, além do ar sobre a Região Sul do Brasil apresentar anomalias positivas de T (Figura 5.2c) e negativas de PNM (Figura 5.4d), observa-se que este é anomalamente úmido (Figura 5.12a). Além disso, as anomalias positivas de q são observadas sobre o Sul do Brasil em toda a camada inferior da troposfera (figura não mostrada). Estas condições atmosféricas são favoráveis ao desenvolvimento de atividade convectiva sobre o Sul do Brasil, a qual pode ser constatada pelos baixos valores de ROLE (Figura 5.6a). Este padrão de q verificado sobre A1 e A2, com pelo menos dois dias de antecedência à D0, é diretamente influenciado pelo escoamento de noroeste/norte vindo dos trópicos (Figura 5.7).

No dia D0 há uma invasão do ar seco sobre a Região Norte da Argentina, Paraguai e Sul do Brasil, o qual apresenta um núcleo de 2 g kg^{-1} sobre o nordeste argentino (Figura 5.11b). As regiões de anomalias negativas de q em 850 hPa (Figura 5.12b) coincidem com a posição das anomalias negativas de T (Figura 5.2d) e positivas de PNM (Figura 5.4c) sobre o continente, semelhante ao observado por Pezza (2003) para o Composto de casos de intensas ondas de frio que causaram T abaixo de zero e geada em SP.

No dia D1 observa-se que, a Região Sul do Brasil apresenta q mais baixa que a dos dias anteriores (Figura 5.11c). O campo anômalo de q (Figura 5.12c) mostra que o Composto Norte apresenta uma incursão de ar seco mais intensa, além de uma maior abrangência dos valores negativos de anomalia sobre a AS. O caminho percorrido pelas anomalias negativas entre os dias D-1 e D1 sugere que a massa de ar seco teve uma trajetória continental.

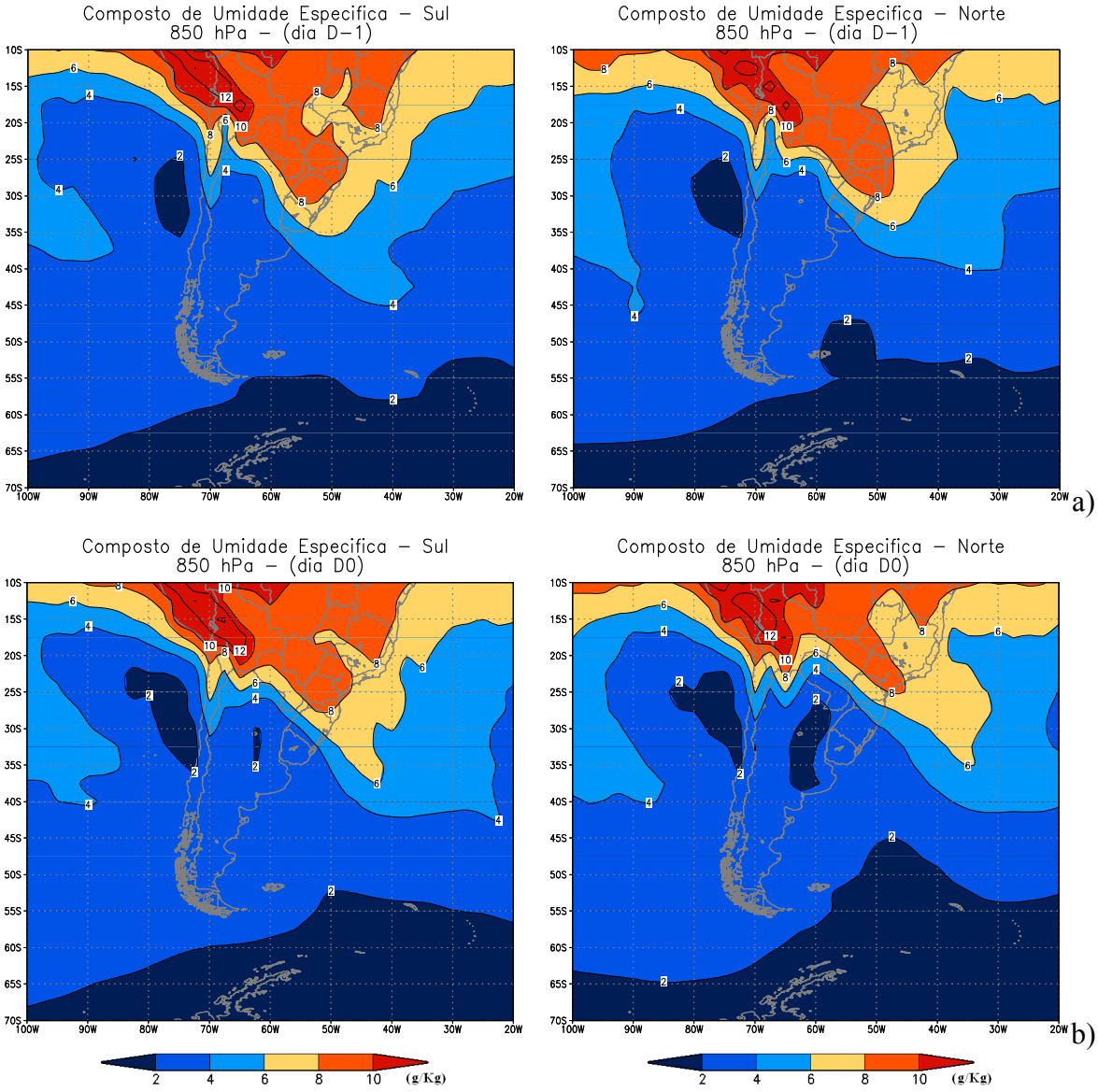
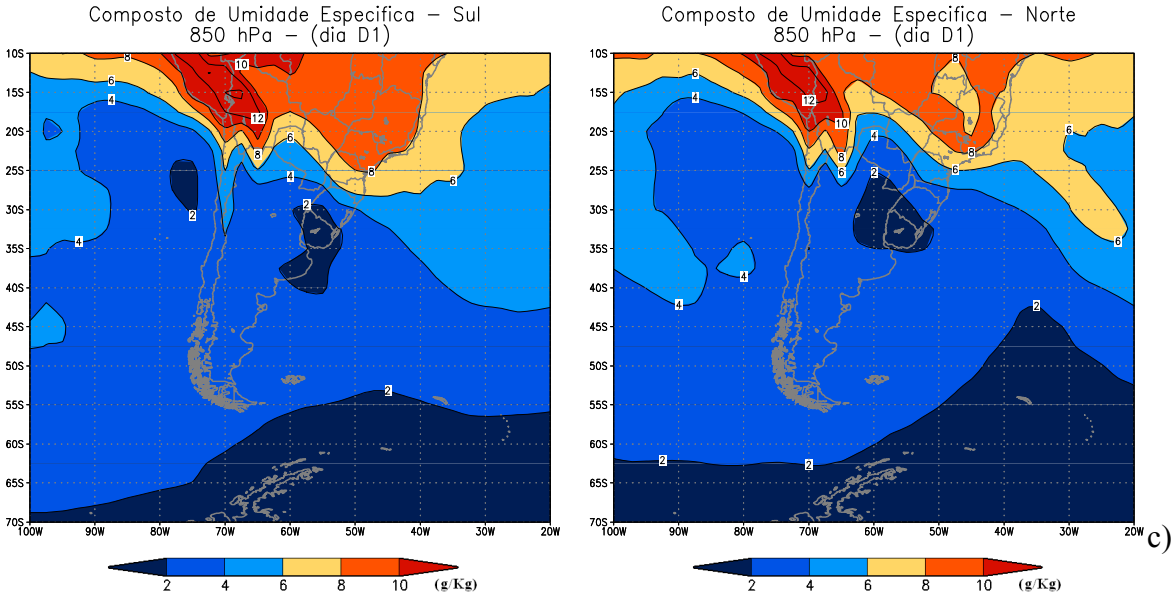


FIGURA 5.11 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de q (g kg^{-1}) em 850 hPa, para os dias: a) D-1, b) D0, c) D1.

(continua)



c)

FIGURA 5.11 – (Conclusão).

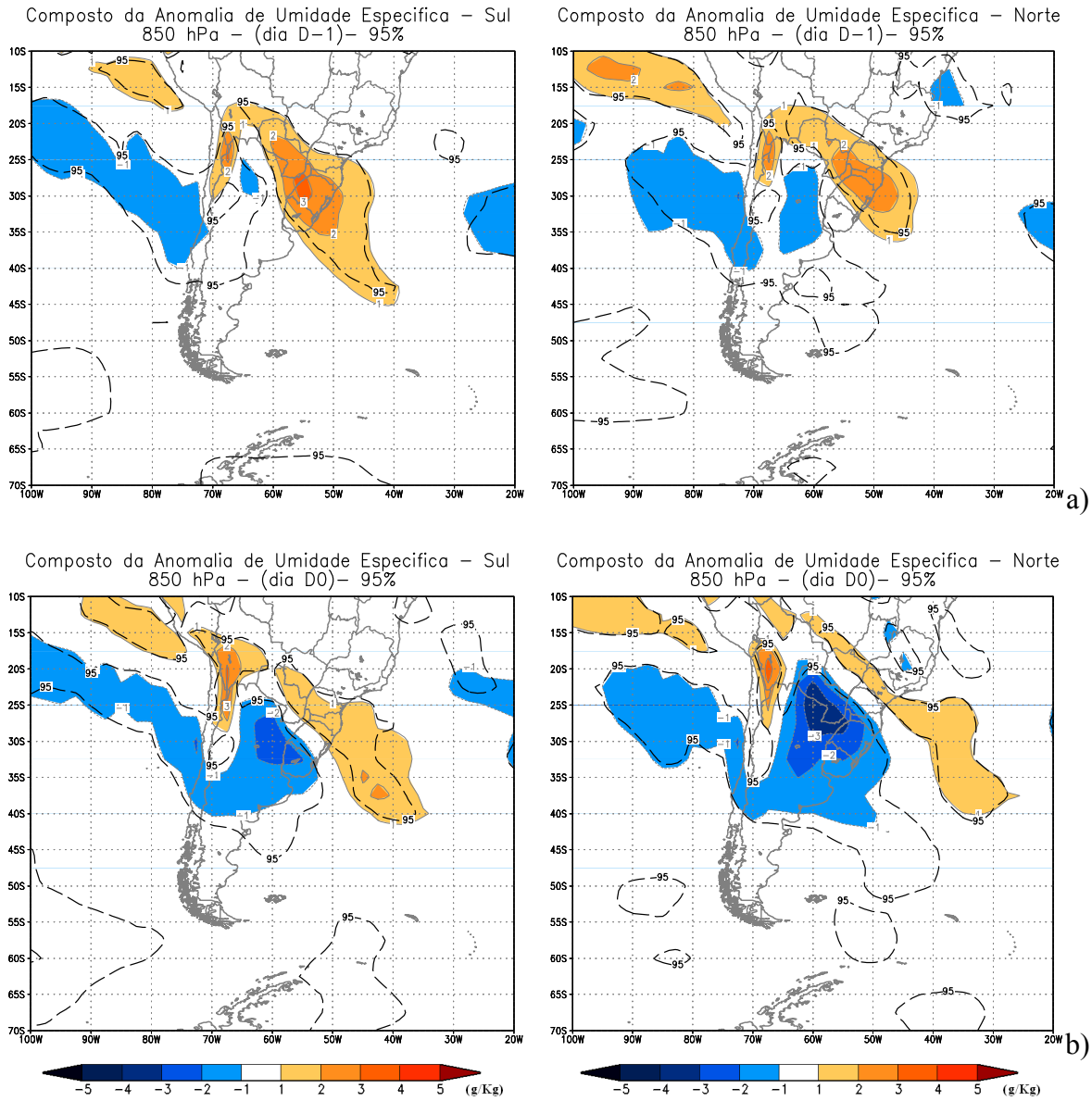


FIGURA 5.12 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de anomalia de q (g kg^{-1}) em 850 hPa, para os dias: a) D-1, b) D0, c) D1. As regiões com significância superior a 95% estão indicadas pelo contorno tracejado preto.

(continua)

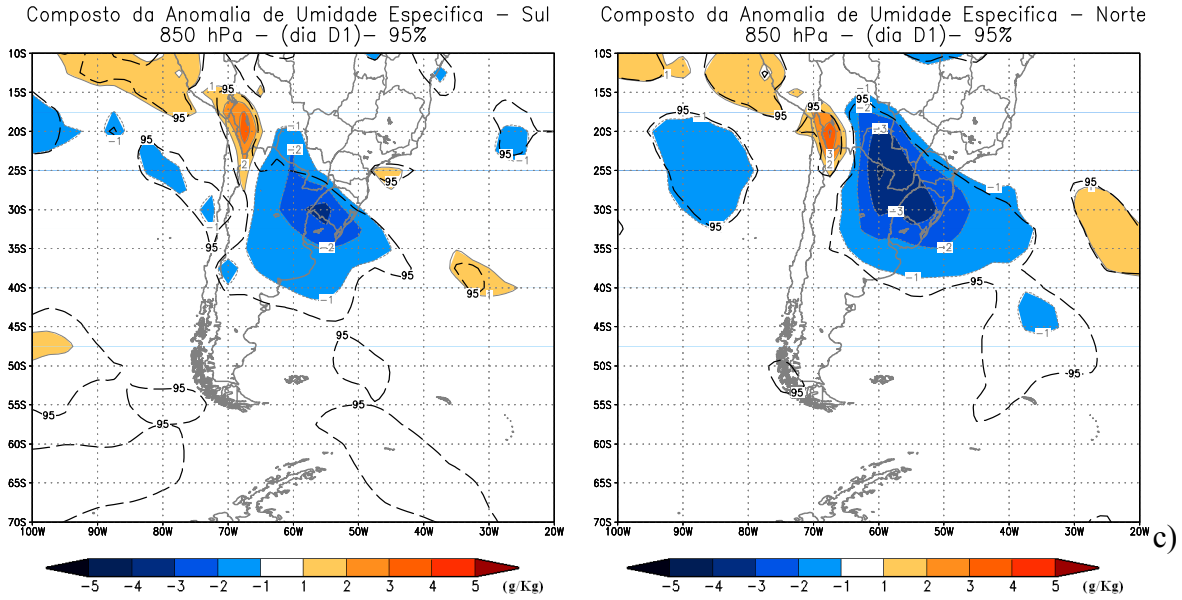
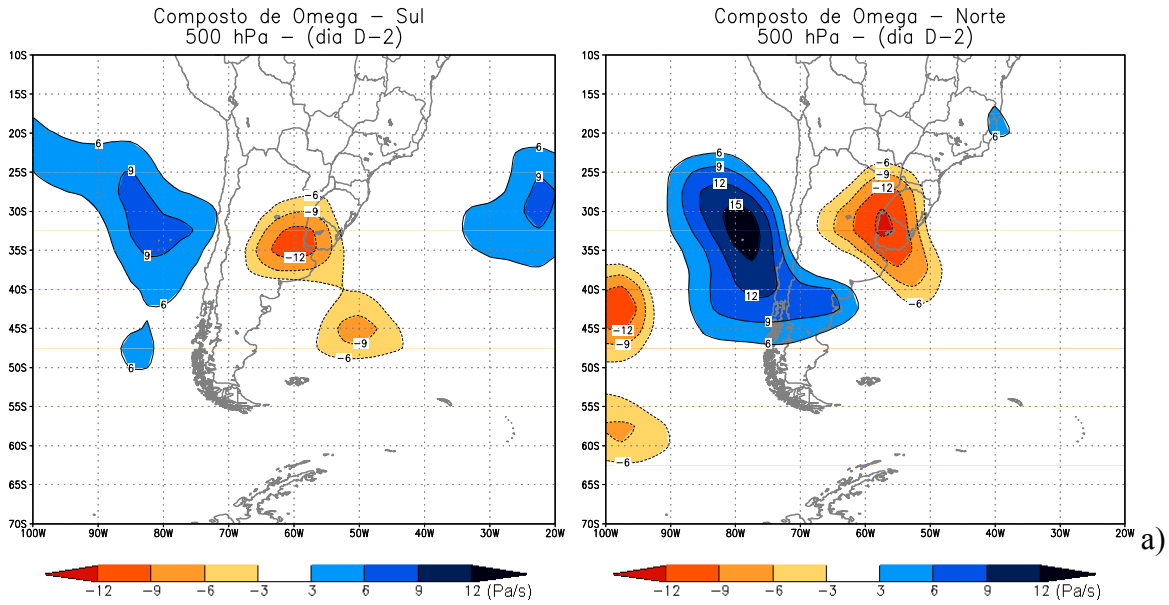


FIGURA 5.12 – (Conclusão).

O campo médio de ω em 500 hPa mostra que em ambos os compostos em D-2 há ascendência do ar sobre o sudeste da AS e subsidência de ar sobre a costa oeste da AS (Figura 5.13a). No Composto Norte, os núcleos de movimento subsidente e ascendente do ar são mais intensos que no Composto Sul, da ordem de 6 Pa s^{-1} e -3 Pa s^{-1}, respectivamente. No dia D-1, em ambos os compostos, a área de movimento ascendente de ar desloca-se para nordeste e se intensifica sobre o Sul do Brasil e o Oceano Atlântico Sul (Figura 5.13b), enquanto que a área de movimento subsidente de ar se desloca para leste e intensifica sobre a Argentina. A área de subsidência sobre o sudeste do continente sulamericano, a qual está associada à intensificação do anticiclone em superfície, intensifica no dia D0, permanecendo mais intensa no Composto Norte (Figura 5.3d). A análise do corte vertical do campo de ω (Figura 5.14a) mostra que no dia D-1 há movimento ascendente sobre A1 (em 30°S) e A2 (em 24ºS), o qual se estende de baixos níveis até 300 hPa. Esse movimento ascendente do ar provavelmente está associado à presença de uma frente fria. No dia D0 (Figura 5.14b), o movimento subsidente do ar próximo à A1 e A2 estende-se de 300 hPa até baixos níveis, estando diretamente associado à convergência do ar em altos níveis, e movimento subsidente de ar frio para os baixos níveis. Nesse dia, o núcleo de movimento subsidente é 3 Pa s-

[1]mais intenso no Composto Norte, em relação ao Composto Sul. Resultado este esperado, pois comparando a Figura 5.14 com o campo de anomalias de T (Figura 5.4), tem-se sobre o continente ar quente ascendendo na região de anomalias positivas de T e ar frio descendo na região de anomalias negativas de T. Com isso, há conversão de energia potencial disponível da perturbação em energia cinética do distúrbio (Holton, 1992).



a)

FIGURA 5.13 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de ω (Pa s^{-1}) em 500 hPa, para os dias: a) D-2, b) D-1, c) D0.

(continua)

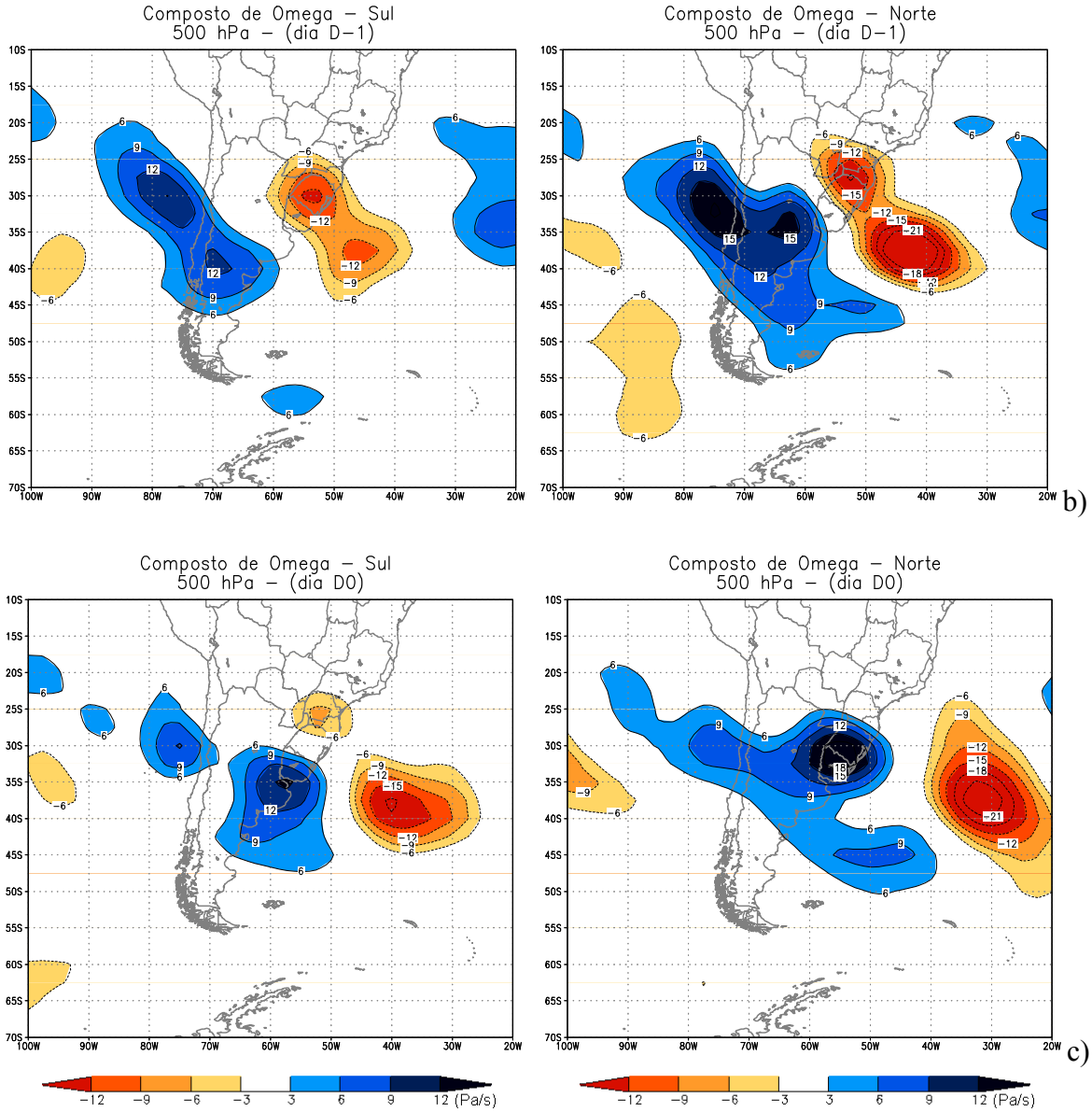


FIGURA 5.13 – (Conclusão).

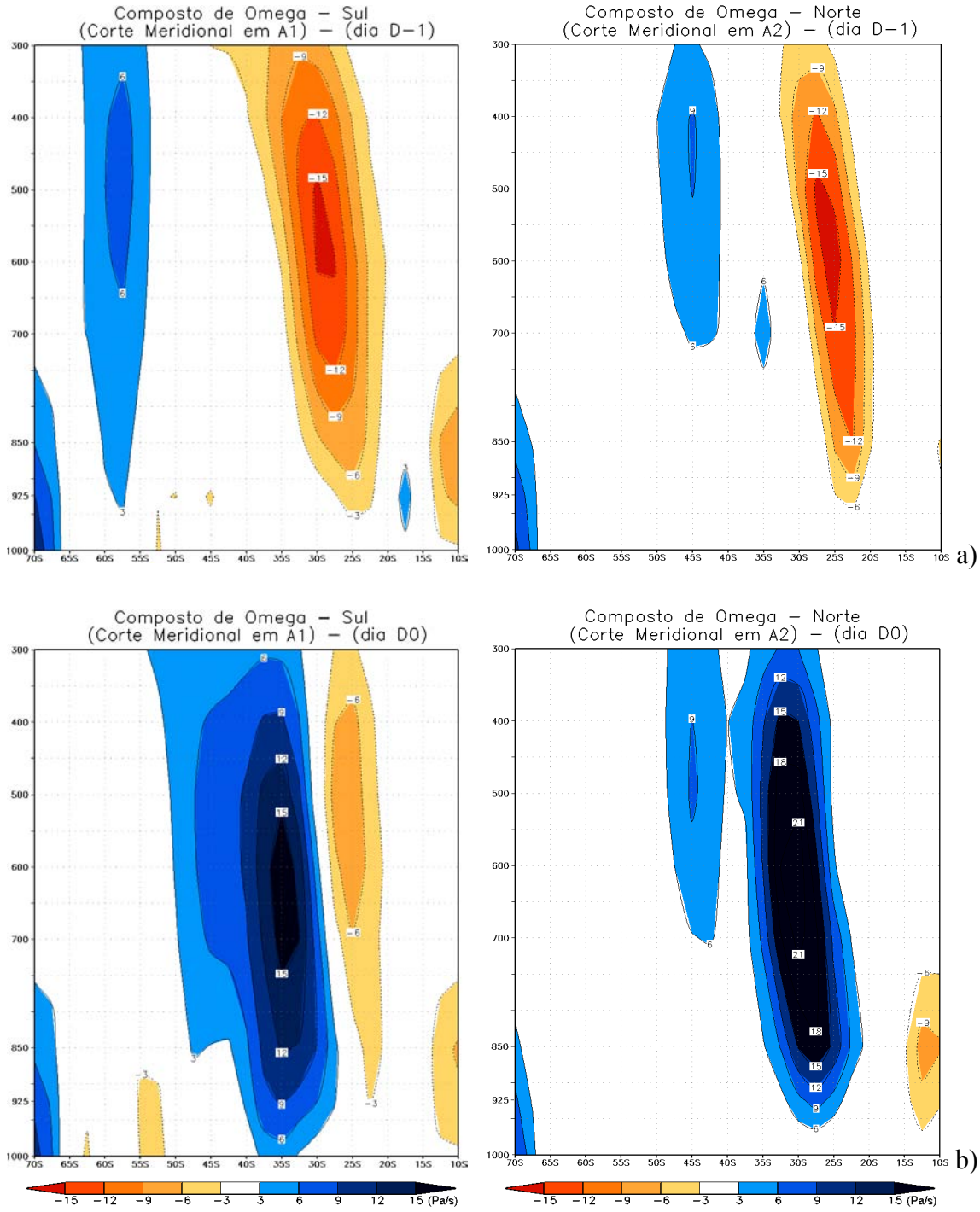


FIGURA 5.14 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) do corte meridional de ω (Pa s^{-1}) para os dias: a) D-1, b) D0.

Segundo Garreaud (2000), em casos de intensas incursões de ar frio sobre a AS é necessário que a entrada de uma corrente de jato em altos níveis esteja localizada sobre as latitudes subtropicais da AS para que a circulação direta transversal ao jato contribua para a intensificação do anticiclone em superfície e para o resfriamento do ar em níveis médios. Isso é verificado pela análise dos campos de linha de corrente e magnitude do vento em 500 hPa (Figura 5.15) e em 300 hPa (Figura 5.16). No dia D-2, em ambos os níveis (Figuras 5.15a e 5.16a), há um cavado próximo aos Andes e uma defasagem no escoamento do ar sobre o Oceano Pacífico Leste entre as latitudes tropicais e médias, com uma crista (em torno de 90°W) estendendo-se de latitudes subtropicais até 70°S. O Composto Norte apresenta sobre o Oceano Pacífico (em aproximadamente 55°S; 80°W), um escoamento do ar de sudoeste associado à crista mais intenso que o observado no Composto Sul. Esta maior intensidade do escoamento do ar, contribui para que a corrente de jato em altos níveis sobre o sudeste da AS seja mais intensa no Composto Norte, favorecendo a intensificação do sistema de alta pressão sobre o continente (Garreaud, 2000). No dia D-1 (Figuras 5.17b e 5.18b) há uma intensificação desse escoamento de sudoeste associado à crista sobre o Pacífico, tanto em 500 hPa como em 300 hPa, contribuindo assim, para a invasão de ar frio sobre a AS. O escoamento do ar de sudoeste estende-se por toda a troposfera, permanecendo mais intenso no Composto Norte. As Figuras 5.17c e 5.18c mostram no dia D0, a presença da corrente de jato em altos níveis sobre latitudes subtropicais da AS.

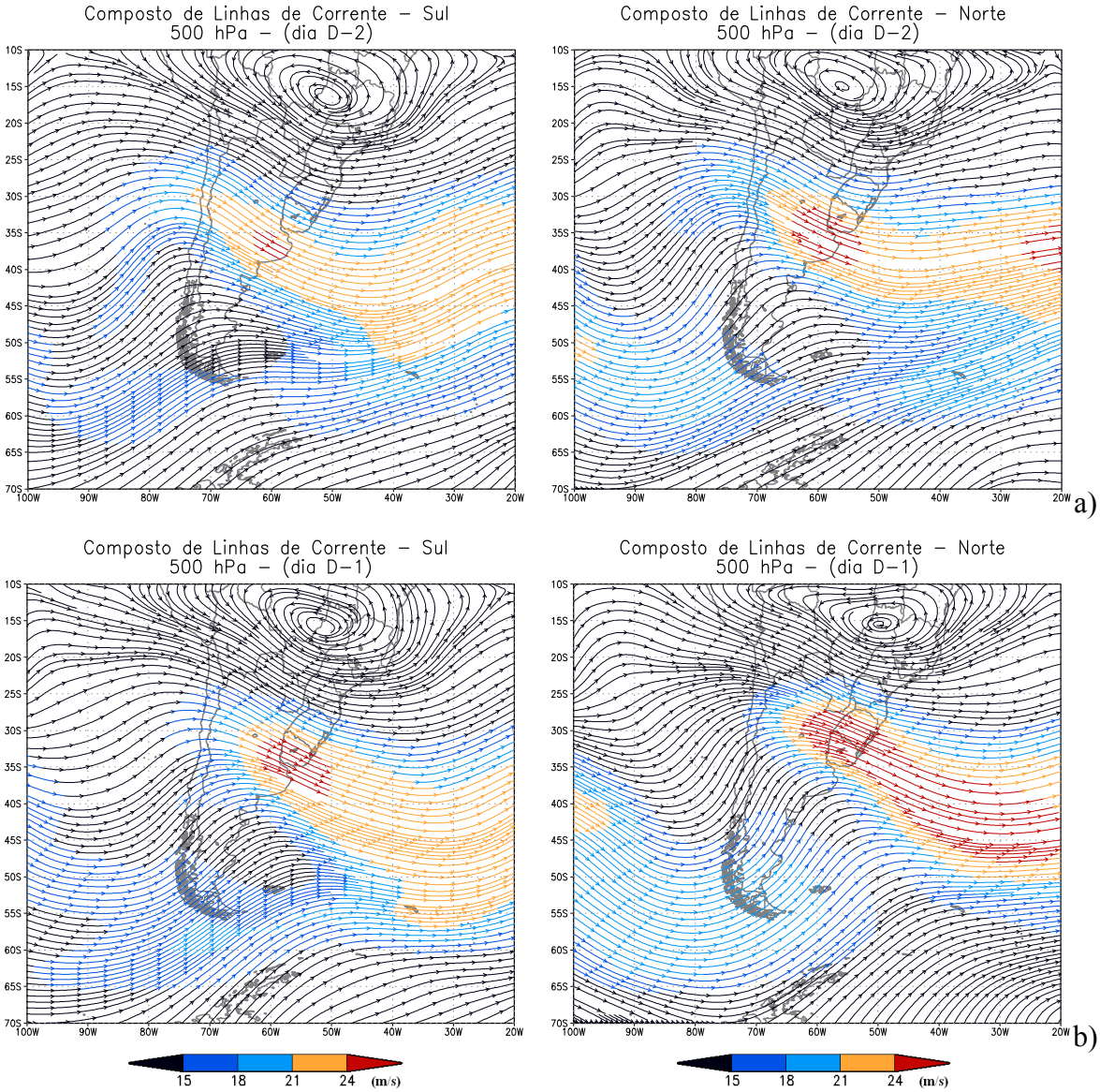
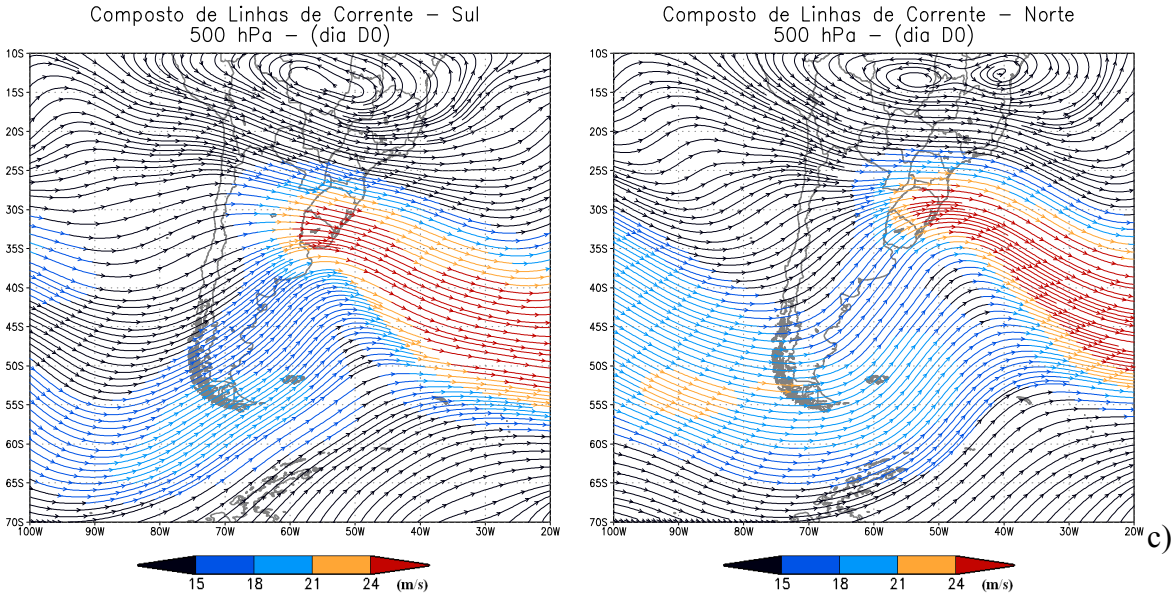


FIGURA 5.15 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de linhas de corrente e magnitude do vento (m s^{-1}) em 500 hPa, para os dias: a) D-1, b) D0, c) D1.

(continua)



c)

FIGURA 5.15 – (Conclusão).

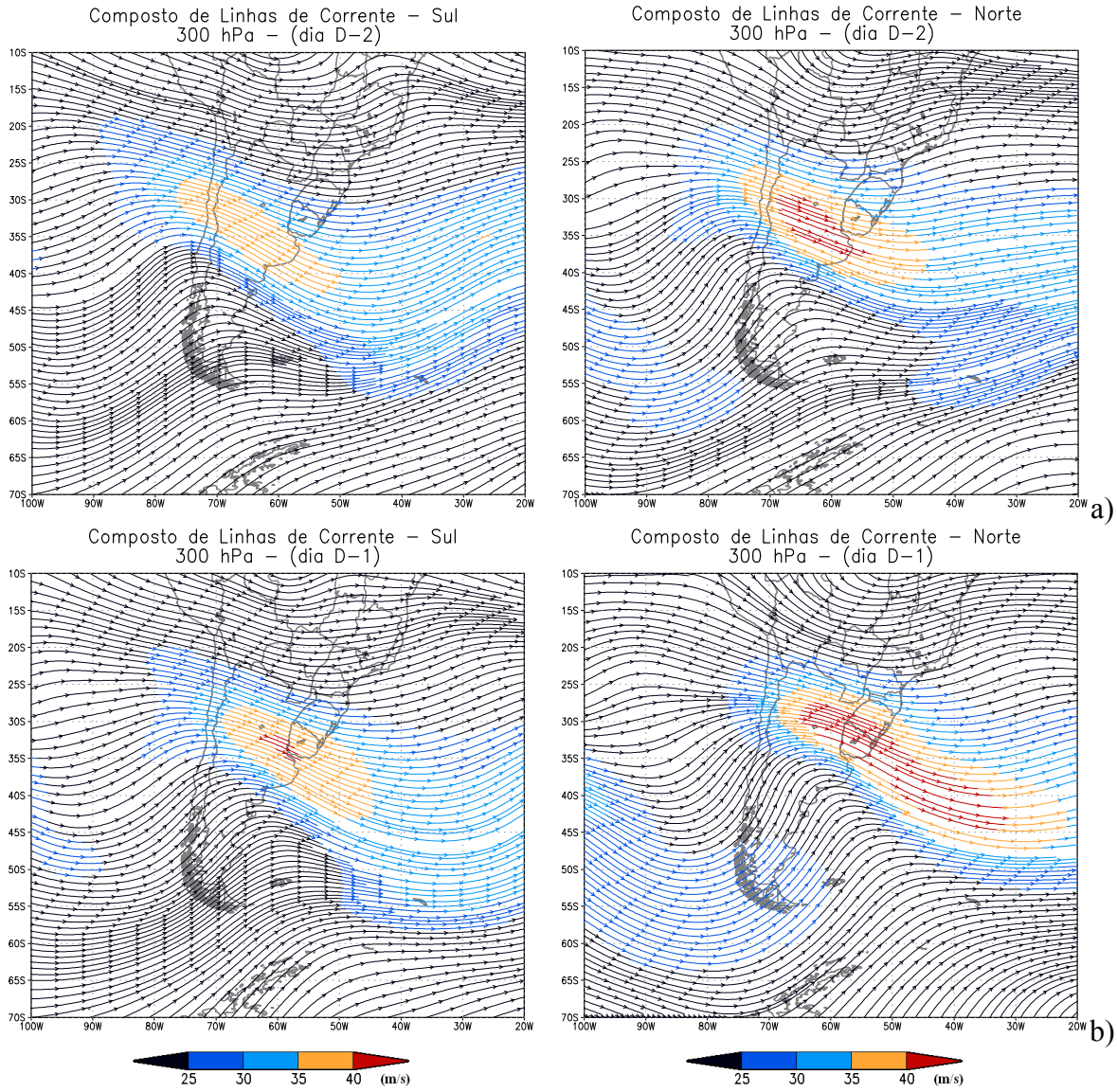
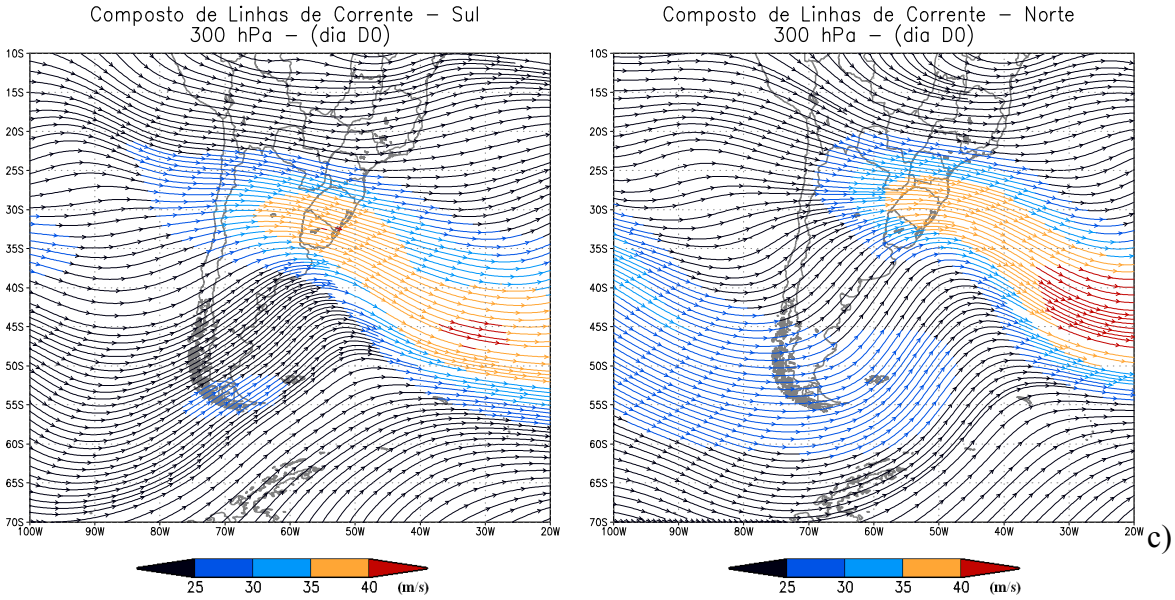


FIGURA 5.16 - Idem a Figura 5.15, exceto 300 hPa.

(continua)



c)

FIGURA 5.16 - (Conclusão).

As Figuras 5.17 e 5.18 mostram, respectivamente, a evolução temporal dos compostos de anomalia de z em 500 hPa e 300 hPa. Nos dias antecedentes a D0, observa-se a propagação de um trem de onda sobre o Oceano Pacífico, o qual se estende desde o Oceano Pacífico Oeste até a AS. No dia D-3 verifica-se uma anomalia ciclônica localizada sobre a costa oeste da AS (em aproximadamente em 40°S; 80°W), tanto em 500 hPa como em 300 hPa (Figura 5.17a e 5.18a). A partir do dia D-2, essa anomalia ciclônica começa a cruzar a cordilheira dos Andes, tornando-se mais alongada meridionalmente, adquirindo uma orientação noroeste-sudeste (Figura 5.17b e 5.18b). Este comportamento da anomalia ciclônica foi semelhante ao observado por Buzzi et al. (1987), quando modos normais cruzam uma cordilheira de montanha com orientação norte-sul. Essa anomalia ciclônica localiza-se sobre a costa sudeste da AS em D0, apresentando em 500 hPa (Figura 5.17d) um núcleo de –80 mgp no Composto Sul e –110 mgp no Composto Norte. Nessa mesma região do Oceano Atlântico Sul, Pezza (2003) encontrou para a anomalia de z em 500 hPa valores superiores a –150 mgp, por meio da composição de eventos de geada (T menor que 0°C) em São Paulo (SP). Isto sugere que anomalias negativas de z mais intensas sobre a costa sudeste da AS, podem estar associadas a incursões de intensas massas de ar frio sobre o continente para latitudes mais baixas.

No Composto Sul, a propagação das anomalias de z ocorre na faixa latitudinal de 30°S a 80ºS, com uma curvatura mais acentuada que a propagação observada no Composto Norte. Esse composto mostra uma propagação entre a faixa latitudinal de 20°S a 60°S e um trem anômalo mais intenso que o observado no Composto Sul. Os compostos Sul e Norte são caracterizados por um padrão bem definido de onda em altos níveis. Comparando a seqüência de campos anômalos de z em 500 hPa (Figura 5.17) e 300 hPa (Figura 5.18), pode-se concluir que as anomalias entre esses níveis sobre o Oceano Pacífico, a AS e o Oceano Atlântico Sul são barotrópicas equivalentes. Porém, relacionando-se essas anomalias de z em altos níveis com as anomalias de PNM (Figura 5.4) nota-se uma inclinação para oeste com a altura, da ordem de 8° de longitude. Essa característica é semelhante a observada por Randel e Stanford (1985) na fase de desenvolvimento de uma onda média baroclínica no HS. Além disso, o trem de onda

sobre o Oceano Pacífico, mostrou um padrão de onda semelhante ao observado por Marengo et al. (2002) em um modelo global de simulação numérica, onde uma onda de Rossby foi forçada por um aquecimento anômalo sobre o Oceano Índico e Pacífico Oeste. Isto sugere, uma teleconexão entre o aquecimento anômalo no Pacífico Oeste e as QAT_{min} na Região Sul do Brasil.

O Diagrama de Hovmöller (Figura 5.19) mostra a propagação das anomalias de z em 300 hPa, ao longo da latitude de 50°S, entre os dias D-13 e D5. Sobre o Oceano Pacífico Oeste, entre os dias D-10 e D-6, observa-se a propagação de uma crista anômala, com uma velocidade de fase da ordem de 5 °lon dia^{-1}. Porém, sobre o Oceano Pacífico Central e Leste, AS e Oceano Atlântico Sul destaca-se a amplificação corrente abaixo da onda, com pelo menos 5 dias de antecedência as QAT_{min} na Região Sul do Brasil. Nesse período, a velocidade de fase da onda é da ordem de 10 °lon dia^{-1} e, o comprimento é de aproximadamente 80° de longitude (onda n° 4). A principal característica observada na Figura 5.19 é que o Composto Norte mostra uma propagação de anomalias de z mais intensas do que as observadas no Composto Sul. Assim, conclui-se que os padrões atmosféricos associados à QAT_{min} na Região Sul do Brasil têm precedentes interessantes em 50°S: a propagação de um trem de onda n° 4 sobre o Oceano Pacífico, exibindo uma propagação de energia corrente abaixo (Krishnamurti et al., 1999), concordando com os resultados de Fortune e Kousky (1983) e Algarve (1994).

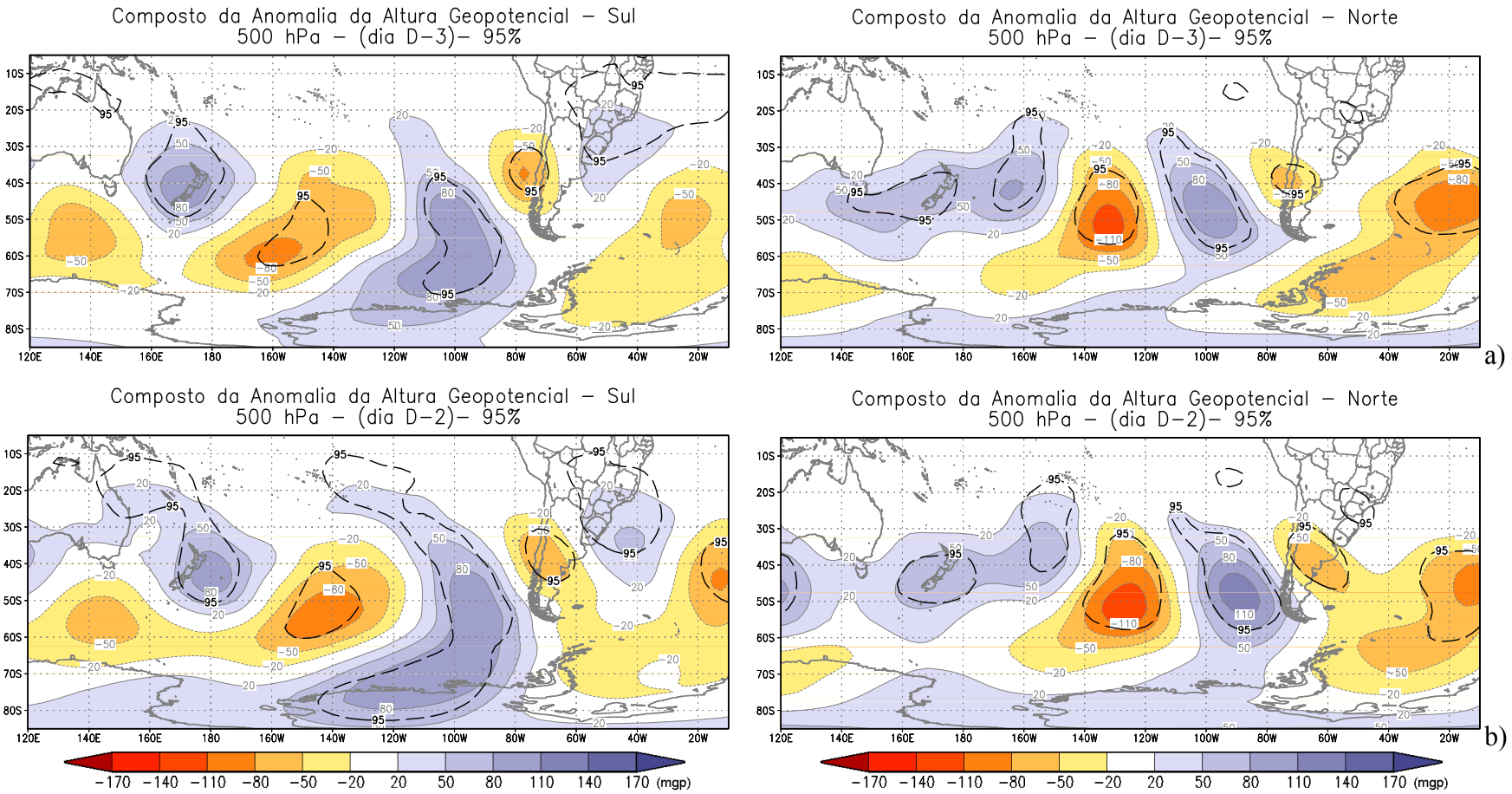


FIGURA 5.17 - Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de anomalia de z (mgp) em 500 hPa para os dias: a) D-3, b) D-2, c) D-1, d) D0. As regiões com significância superior a 95% estão indicadas pelo contorno tracejado preto.

(continua)

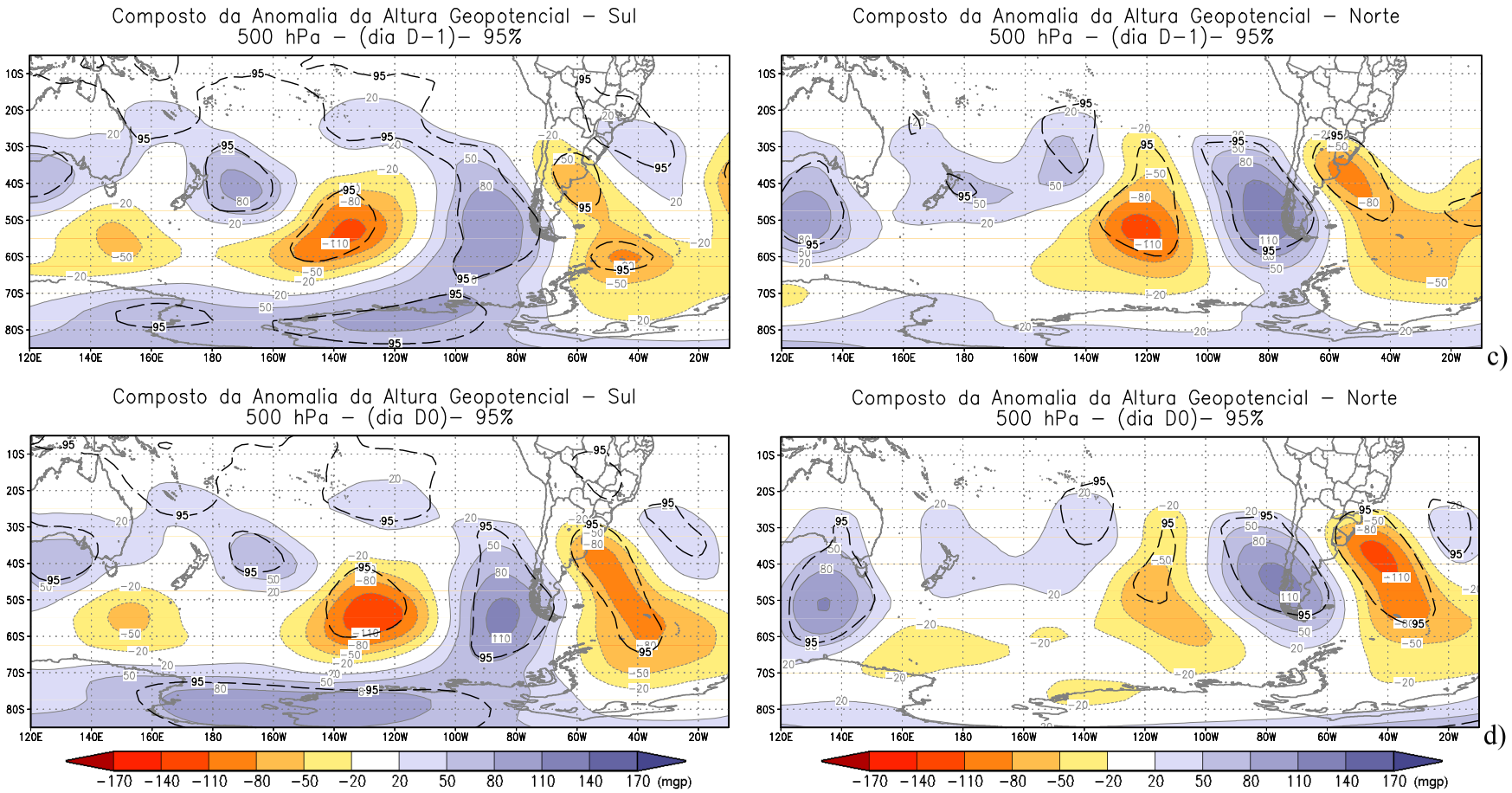


FIGURA 5.17 - (Conclusão).

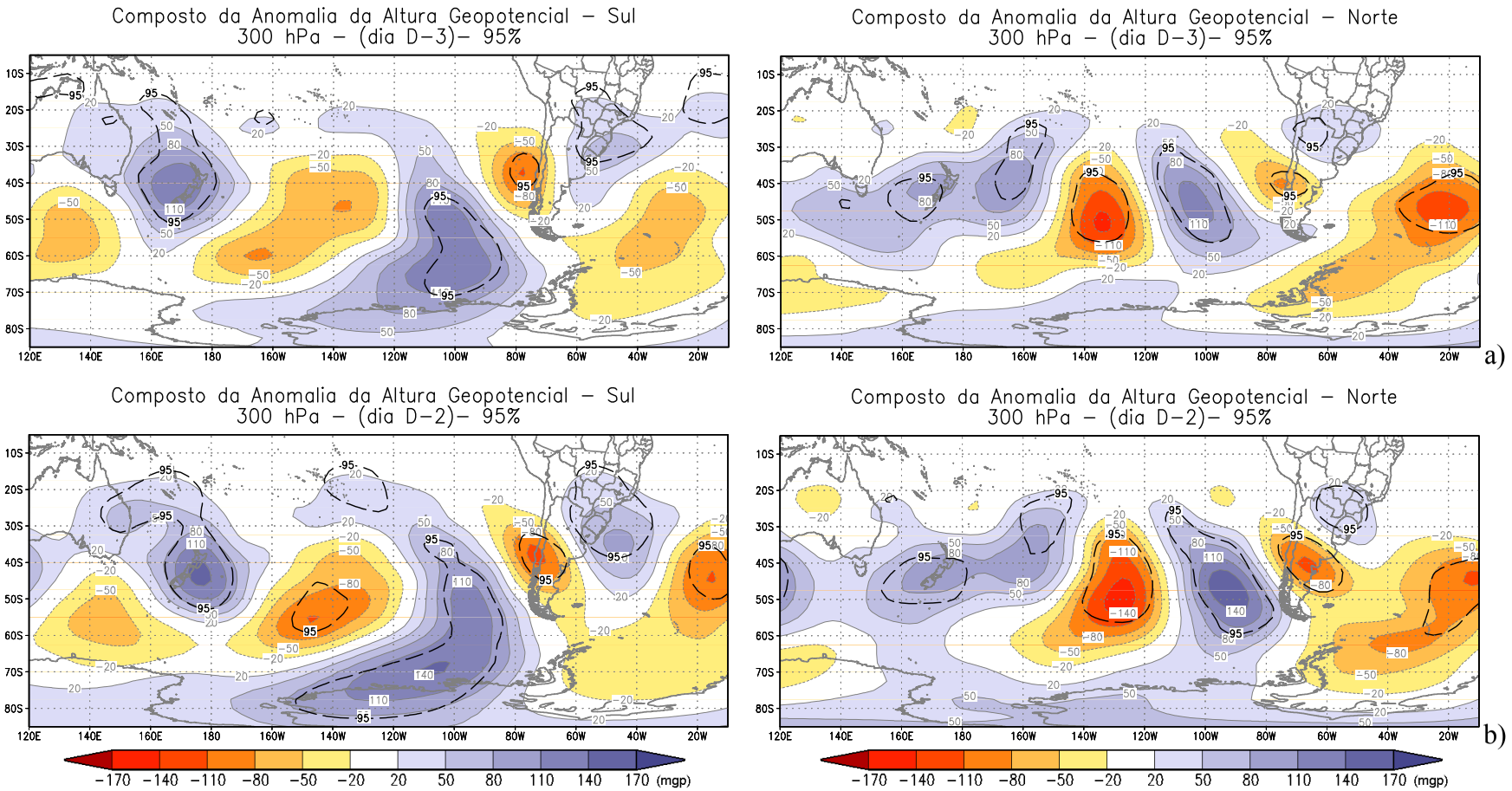


FIGURA 5.18 - Idem a Figura 5.17, exceto 300 hPa.

(continua)

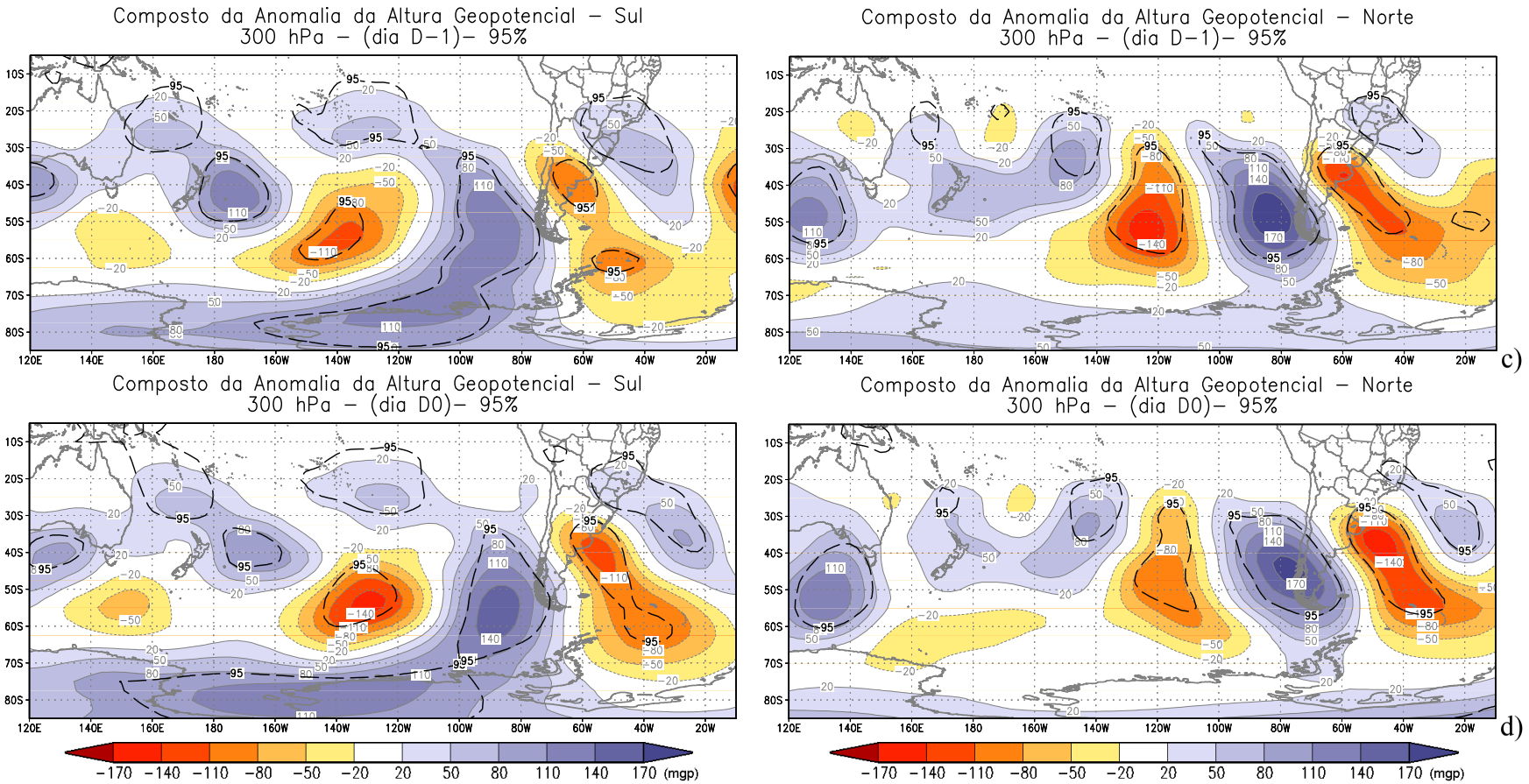


FIGURA 5.18 - (Conclusão).

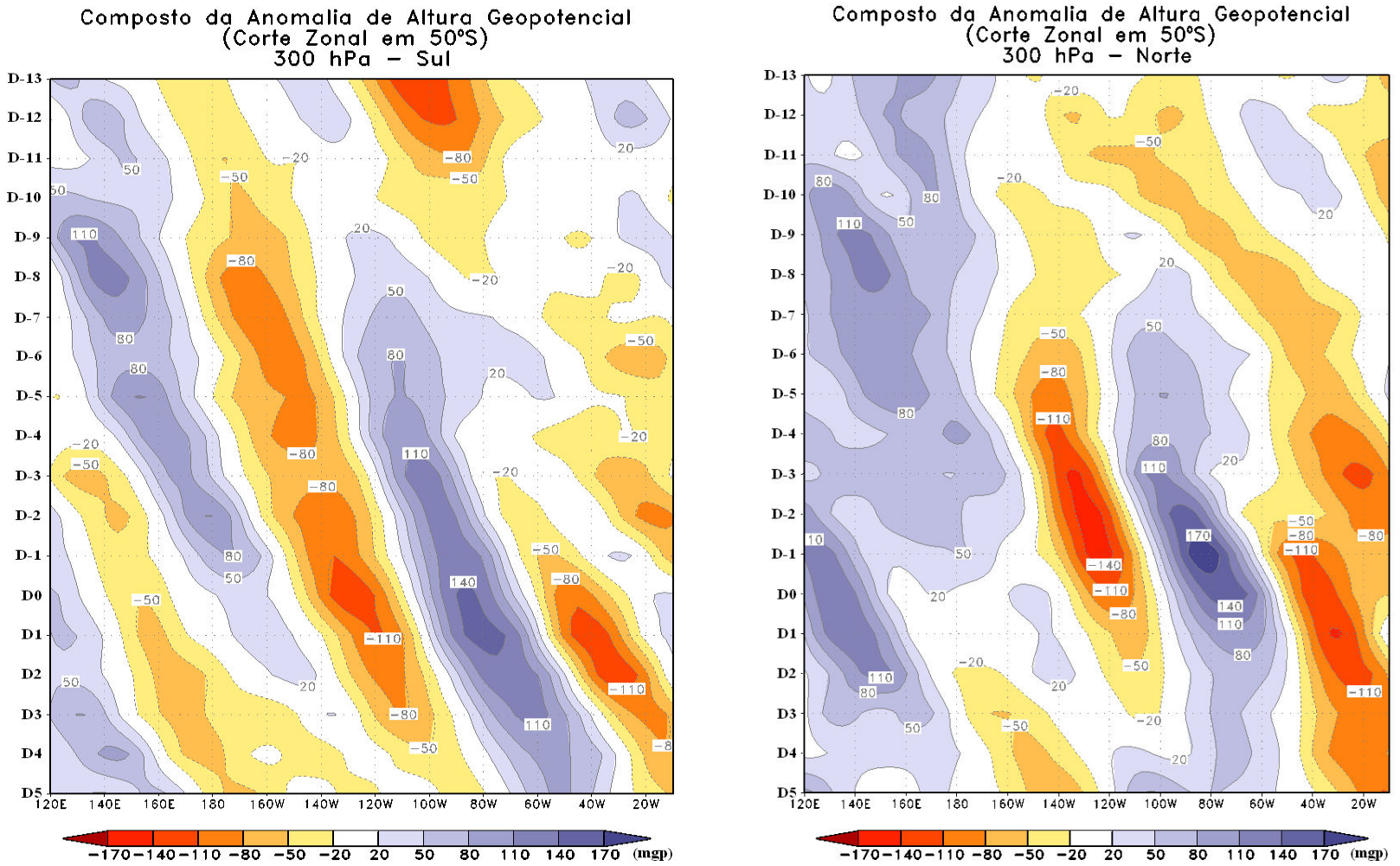


FIGURA 5.19 - Diagrama de Hovmöller do Composto Sul (coluna à esquerda) e Composto Norte (coluna à direita) de anomalia de z em 300 hPa ao longo da latitude de 50°S.

Em vista dos padrões atmosféricos encontrados nos Compostos Sul e Norte, propõe-se o modelo conceitual de QAT_{min} do Tipo B na Região Sul do Brasil, dado pela Figura 5.20 (para os baixos níveis, entre os dias D-2 e D0) e pela Figura 5.21 (em médios e altos níveis para o dia D0).

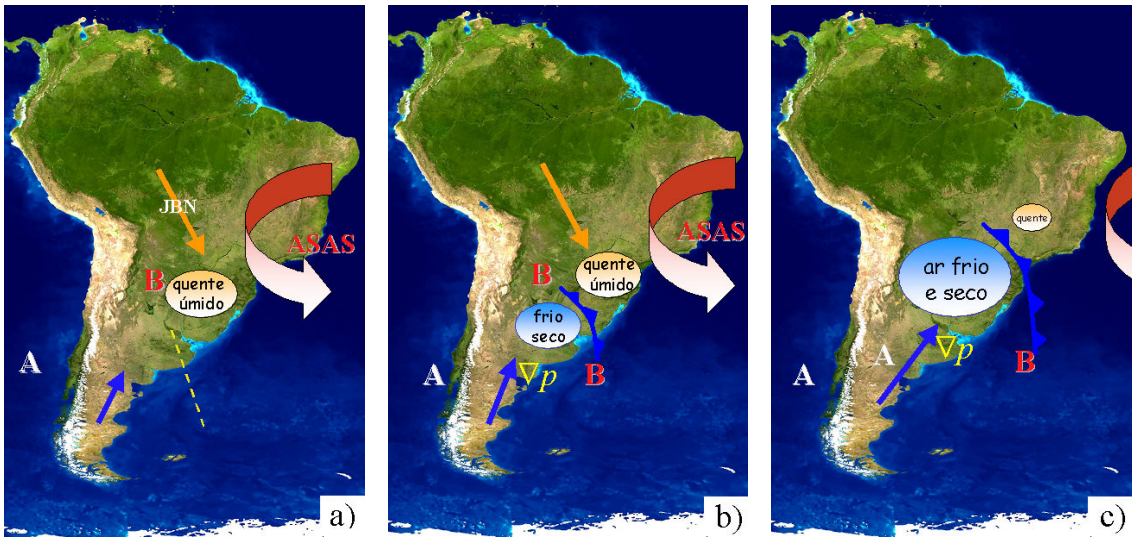


FIGURA 5.20 - Modelo conceitual de QAT_{min} do Tipo B na Região Sul do Brasil em baixos níveis para os dias: a) D-2, b) D-1, c) D0.

FIGURA 5.21 - Modelo conceitual de QAT_{min} do Tipo B na Região Sul do Brasil em médios e altos níveis para o dia D0.

CAPÍTULO 6

ESTUDO DE CASO

Durante o período de 11 a 23 de julho de 2000 ocorreram sucessivas incursões de ar frio sobre a AS, que trouxeram conseqüências irreparáveis a Região Sul do Brasil, causando grande repercussão nacional e internacional. Durante o mês de julho de 2000 passaram quatro frentes frias sobre o Sul do Brasil e ocorreram três ciclogêneses sobre o Oceano Atlântico Sul, próximo a essa região (Climanálise, 2000). Vários episódios de geadas foram registrados na Região Sul do Brasil entre os dias 12 de julho de 2000 (D1) e 14 de julho de 2000 (D3) (Climanálise, 2000), cuja maior abrangência territorial do fenômeno ocorreu em D3. Fotos correspondentes aos dias D0 e D3, as quais foram tiradas no Sul do Brasil, podem ser vistas, respectivamente, nas Figuras A.1 e A.2 (Apêndice A).

A Figura 6.1 mostra a variação diária da T_{min} durante o mês de julho de 2000 nas Est_07, Est_10, Est_20 e Est_21, onde se observam significativas QT_{min} associadas a sucessivas incursões de ar frio. O dia D0 (11 de julho de 2000) apresentou a incursão de ar frio mais intensa que resultou em QAT_{min} do Tipo B em praticamente toda a Região Sul do Brasil, sendo mais intensas na serra e no interior da região.

Assim, neste Capítulo apresenta-se uma discussão sinótica das condições atmosféricas associadas a um evento de QAT_{min} do Tipo B ocorrido em 11 de julho de 2000 (dia D0) na Região Sul do Brasil, o qual favoreceu a ocorrência de geadas parciais no dia D1 e 12 de julho de 2000 (D2), seguidas de um evento de geada total em D3.

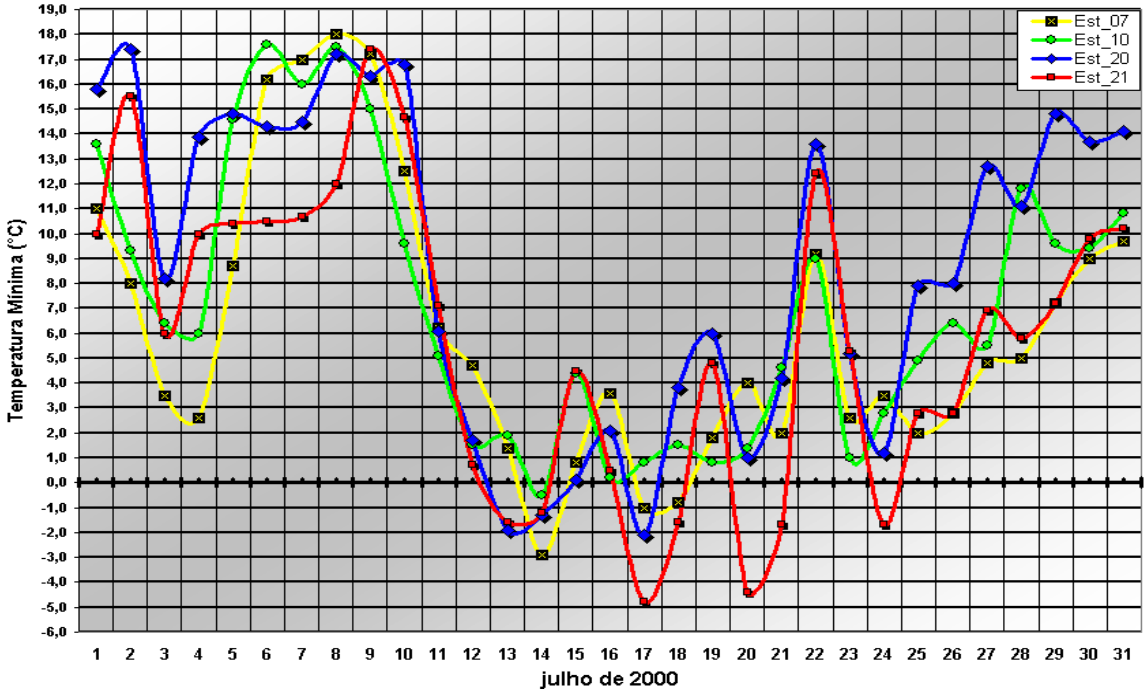


FIGURA 6.1 - Variação diária de T_{min} em julho de 2000 nas Est_07, Est_10, Est_20 e Est_21.

A Figura 6.2 mostra uma seqüência de imagens do satélite GOES-8 (canal infravermelho) entre os dias D-3 (08 de julho de 2000) e D3, às 06:00 UTC. No dia D-3 observa-se uma banda de nebulosidade associada a um sistema frontal localizado sobre a Região Central da Argentina e Oceano Atlântico Sul (Figura 6.2a). No dia seguinte (Figura 6.2b), a banda de nebulosidade passa a adquirir uma orientação ciclônica no sudeste da AS. Em D-1 (10 de julho de 2000) verificou-se uma frente fria bem definida, com orientação noroeste-sudeste, a qual estendeu-se desde o Peru até o Oceano Atlântico Sul (Figura 6.2c). Além desse sistema, neste dia destaca-se o desenvolvimento de um ciclone extratropical sobre o RS. Esse ciclone deslocou-se para sudeste no dia D0 (Figura 6.2d), onde continuou o seu desenvolvimento próximo à costa do Uruguai e do RS, sobre o Oceano Atlântico Sul. Nos dias D1 (Figura 6.2e) e D2 (figura não mostrada), a frente fria deslocou-se para nordeste, atingindo a Região Sudeste e Norte do Brasil, e o ciclone extratropical continuou propagando para sudeste. Isto contribuiu para que a massa de ar pós-frontal atingisse a região tropical da AS no dia D3 (Figura 6.2f).

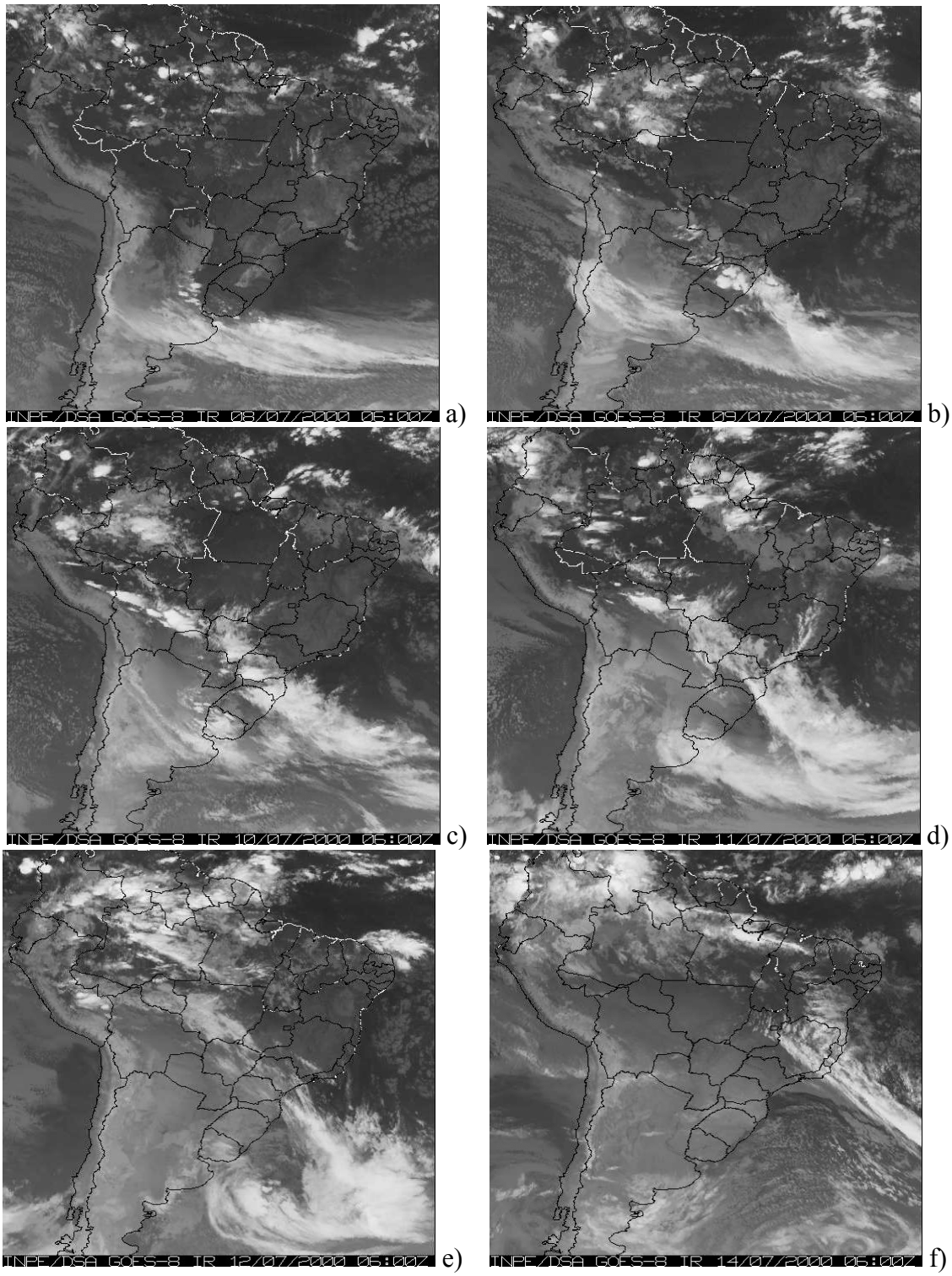


FIGURA 6.2 - Imagens do satélite GOES-8 no canal infravermelho, às 06:00 UTC, para os dias: (a) 08 de julho de 2000 (D-3), (b) 09 de julho de 2000 (D-2), (c) 10 de julho de 2000 (D-1), (d) 11 de julho de 2000 (D0), (e) 12 de julho de 2000 (D1), (f) 14 de julho de 2000 (D3).

A localização do sistema frontal em D-3 (Figura 6.2a) pode ser confirmada pelo campo de PNM desse dia, às 06:00 UTC, o qual mostra uma região de baixa pressão sobre a AS, da ordem de 1010 hPa (Figura 6.3a). Nesse dia, também observou-se um anticiclone de 1035 hPa posicionado sobre o Oceano Pacífico Leste (47°S; 90°W) e um cavado invertido localizado próximo à costa do Chile, em torno de 75°W.

Ao invadir o extremo sul da AS no dia D-3, esse anticiclone ocasionou um escoamento do ar de leste sobre a Argentina, o que favoreceu a ascensão do ar à leste dos Andes e a subsidente do ar na região do cavado invertido sobre o Oceano Pacífico Leste. Tal influência da Cordilheira do Andes na circulação do anticiclone foi mostrada por Kousky e Elias (1982), por meio da equação de desenvolvimento de ciclones e anticiclones de Sutcliffe (Figura 6.5). O movimento ascendente à leste dessa cordilheira gera um resfriamento adiabático da camada de ar que produz vorticidade anticiclônica favorecendo, assim, a intensificação do anticiclone em superfície. Por vez, o movimento subsidente à oeste da cordilheira, gera um aquecimento adiabático do ar e produção de vorticidade ciclônica, contribuindo para a formação e intensificação do cavado invertido sobre a costa do Chile (Figura 6.4). Algo semelhante foi observado no evento de incursão de ar frio ocorrido em 16 de abril de 1999, que resultou em geadas no Sul do Brasil (Satyamurty et al., 2002).

O centro de baixa pressão, inicialmente localizado sobre norte da Argentina e Paraguai, deslocou-se para o RS no dia D-2 (Figura 6.3b). Nesse dia, o anticiclone intensificou em 5 hPa, localizando-se sobre o Oceano Pacífico Leste (em aproximadamente 50°S; 80°W) assim como o cavado invertido, o qual intensificou próximo à costa oeste dos Andes. Como no inverno existe muito pouca radiação solar incidente no sul da Argentina para aquecer a superfície continental, e também há uma quantidade significativa de ROLE perdida para o espaço, esta superfície atua como um sumidouro de calor e, portanto, como uma região favorável a anticiclogênese (Kousky e Elias, 1982). Este efeito causado pela perda de ROLE na AS não é tão significativo como o que ocorre no Hemisfério Norte, pelo fato da faixa continental ser estreita, porém o

efeito continental contribuiu para a intensificação do anticiclone sobre a AS no dia D-1 (Figura 6.3c).

No dia D0 (Figura 6.3d) o anticiclone intensificou sobre o extremo sul da Argentina, atingindo valores superiores a 1045 hPa. Segundo Pezza (2003), nesse dia o anticiclone atingiu uma PNM de 1049 hPa no sul da Patagônia, sendo o centro de anticiclone mais intenso já registrado sobre a AS. Além disso, nessa região de atuação de centro de alta pressão registrou-se T da ordem de –23°C. O deslocamento desse anticiclone sobre o interior da AS esteve diretamente relacionado com a intensificação do ciclone sobre o litoral do Uruguai (centro de 1005 hPa). Isto devido ao intenso gradiente de PNM entre ambos os sistemas, que foi responsável pela intensificação dos ventos de sul, os quais contribuíram para o da advecção de ar frio em direção a massa de ar quente, gerando assim, um aumento da baroclinia.

Quando esse sistema de baixa pressão deslocou-se do continente para Oceano Atlântico Sul (ou seja, de uma superfície mais fria para uma superfície mais quente) este ganhou vorticidade ciclônica devido ao aquecimento diabático do ar (Kousky e Elias, 1982), o que favoreceu a ciclogênese. Vários estudos mostram que a costa oriental da AS, próximo à Argentina e Uruguai, é uma região ciclogênética (Gan, 1991; Sinclair, 1996) e que o efeito da costa leste da AS durante o inverno, contribui para a intensificação dos ciclones por meio do processo de aquecimento diabático (Dal Piva, 2001). Isto explica em parte a intensificação do sistema de baixa pressão sobre o Oceano Atlântico Sul em D0. Outra provável contribuição para a intensificação do ciclone extratropical e, também para a frontogênese sobre a AS, foi a instabilidade baroclínica gerada pelo gradiente horizontal de T entre as massas de ar. Semelhante a Funatsu (1999), que estudou um evento de ciclogênese ocorrida sobre o Uruguai entre os dias 9 e 10 de julho de 1996, um VCAN originado sobre o Oceano Pacífico também favoreceu a formação de um ciclone extratropical sobre a AS. Este VCAN induziu a estrutura baroclínica na vertical que alimentou o ciclone extratropical em seu estágio de desenvolvimento. Este característica em altos níveis será mostrada a seguir.

No dia D1 (figura não mostrada), destacou-se a intensificação do ciclone sobre o oceano e seu rápido deslocamento para o sul e a invasão do sistema de alta pressão sobre o continente, o qual atingiu valores superiores a 1040 hPa próximo aos Andes (30°S; 66ºW). O sistema de baixa pressão próximo à costa oriental da AS e o anticiclone sobre a Argentina geraram um intenso gradiente de pressão, o qual foi responsável pela advecção de ar sobre o sul e sudeste do Brasil, favorecendo ao resfriamento do ar em superfície, e conseqüentemente, a ocorrência de QAT_{min}. Isto mostra a importância do sistema de baixa pressão sobre a costa oriental da AS na incursão de ar frio em latitudes subtropicais e tropicais, como proposto por Pezza (2003). As condições dinâmicas em altos níveis, que serão apresentadas a seguir, também permitiram o deslocamento do anticiclone do sul da AS para o interior do continente em uma trajetória totalmente continental. A Figura 6.4 ilustra a trajetória do centro de alta pressão entre os dias D-3 e D4 e do centro de baixa pressão entre os dias D-1 e D4.

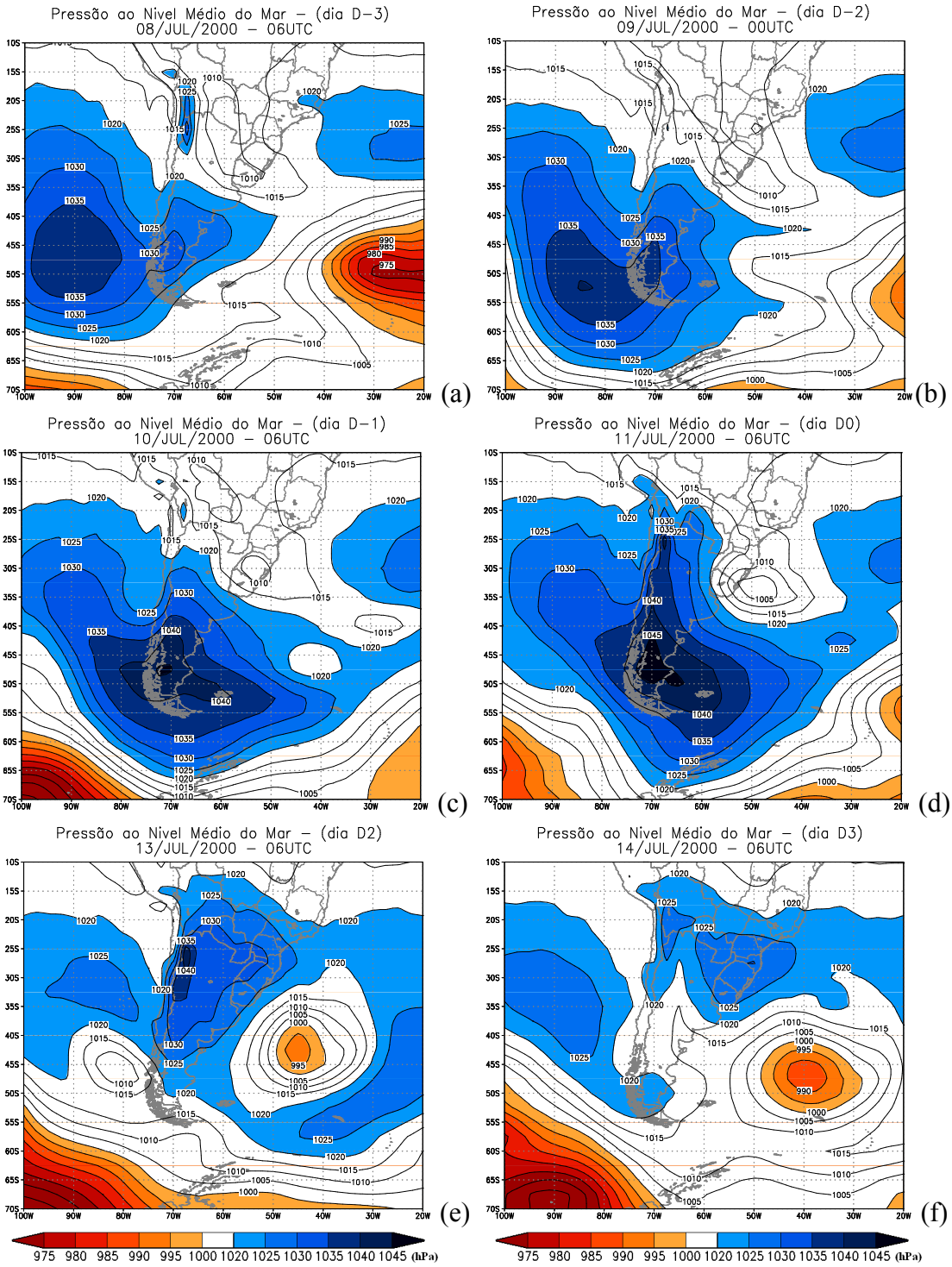


FIGURA 6.3 - Campo de PNM (hPa) às 06:00 UTC, para os dias: (a) D-3, (b) D-2, (c) D-1, (d) D0, (e) D2 e (f) D3.

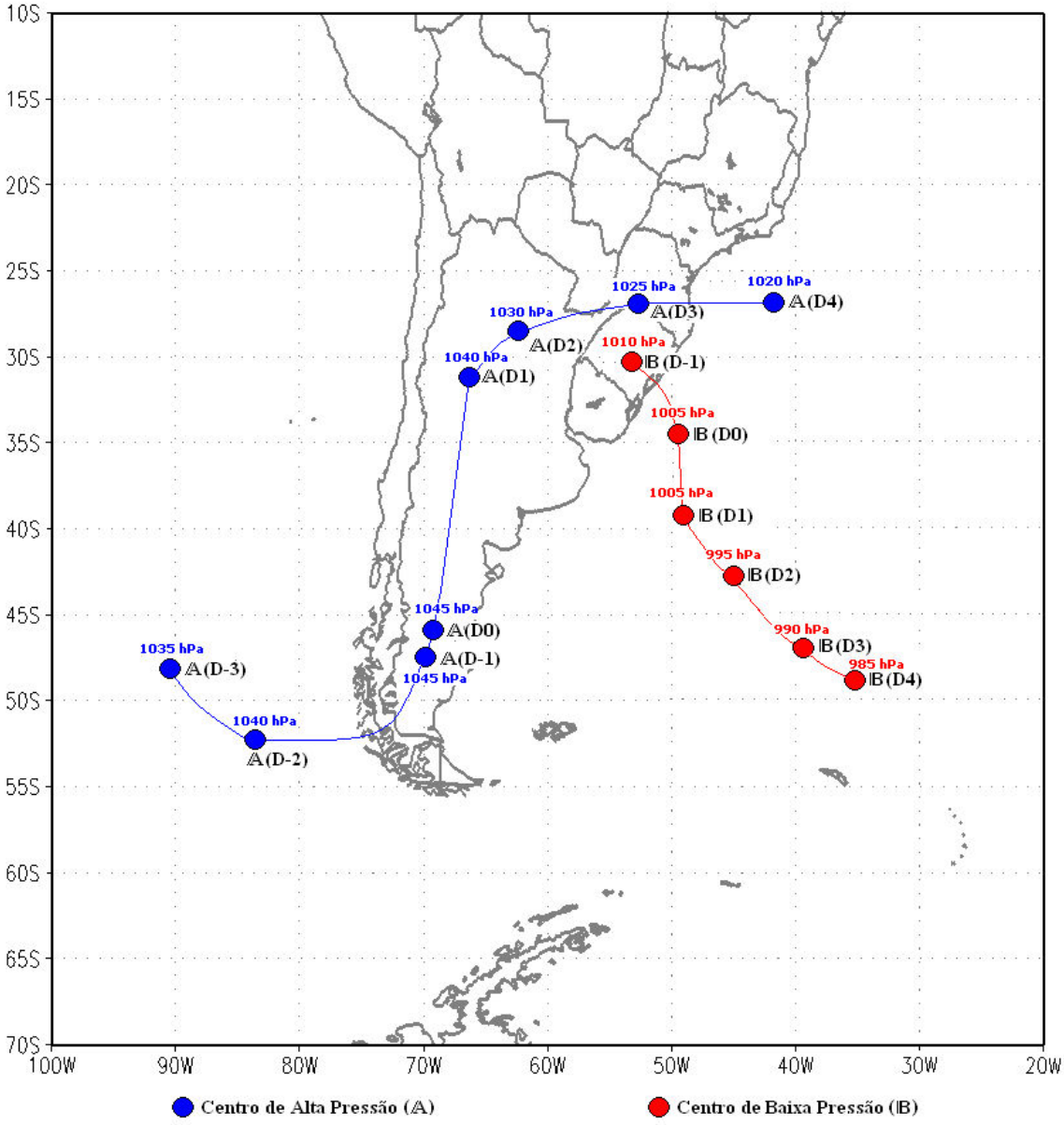
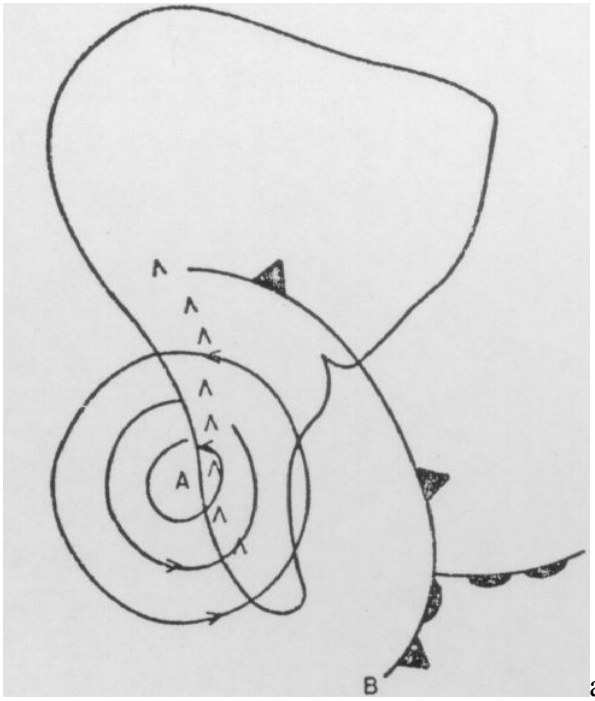
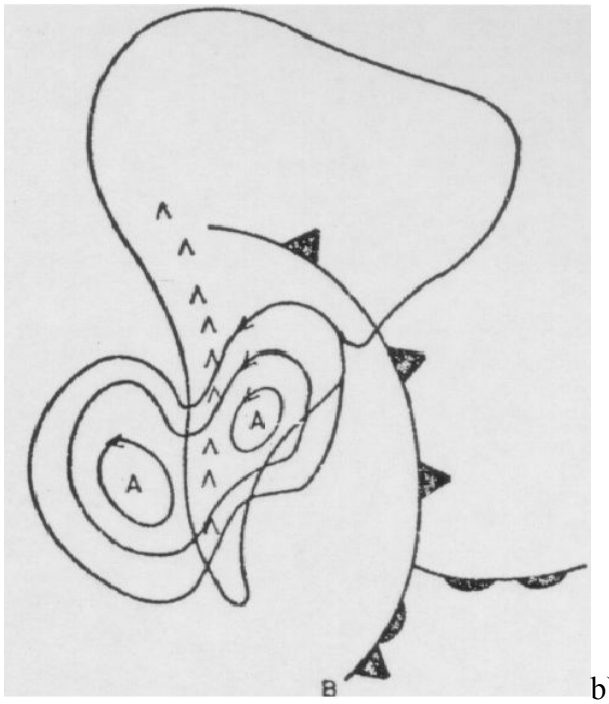


FIGURA 6.4 - Trajetória do centro de alta (entre os dias D-3 e D4) e de baixa pressão (entre os dias D-1 e D4).



a)



b)

FIGURA 6.5 - Configuração esperada para o campo de PNM: a) desprezando os efeitos adiabáticos e b) incluindo os efeitos adiabáticos.
FONTE: Kousky e Elias (1982).

A análise do campo de T em 925 hPa mostra que no dia D-3 (Figura 6.6a) havia um gradiente horizontal de T da ordem de 12°C/550km, localizado na região da zona frontal (Figura 6.2a). Neste mesmo dia observou-se uma "língua" de ar quente que se estendeu da região tropical da AS até a Região Sul do Brasil, além de um núcleo de ar frio (da ordem de -6°C) sobre o sul da Argentina. A Figura 6.7a mostra advecção de ar quente em 925 hPa sobre o Sul do Brasil em D-3, a qual permaneceu sobre essa região nos dias D-2 e D-1 (figuras não mostradas). Em D-1, a língua de ar quente intensificou, apresentando um núcleo de 26°C, sobre a região tropical da AS, e outro de 22°C, sobre o litoral norte da Região Sul do Brasil. Além disso, nesse dia observou-se uma língua de ar frio desde o sul do continente até o norte da Argentina, com um núcleo de ar frio da ordem de -6°C, em aproximadamente 45°S (Figura 6.6b). O encontro entre as massas de ar frio e ar quente gerou o gradiente de T, o qual apresentou uma magnitude de aproximadamente 8°C/550km sobre o Sul do Brasil. No dia D0 (Figura 6.6c), a incursão do ar frio pelo interior da AS, identificada pela advecção de ar frio em 925 hPa sobre a Região Sul do Brasil (Figura 6.7b), favoreceu a troca de massas de ar sobre o Sul do Brasil. Como resultado da incursão da massa de ar sobre o continente, destaca-se que no dia D1, o gradiente de T estendeu-se sobre os trópicos da AS, até a latitude de 10°S (Figura 6.6d). Esta massa de ar frio provocou T abaixo de 0°C sobre a Região Sul do Brasil em 925 hPa, entre os dias D1 e D3.

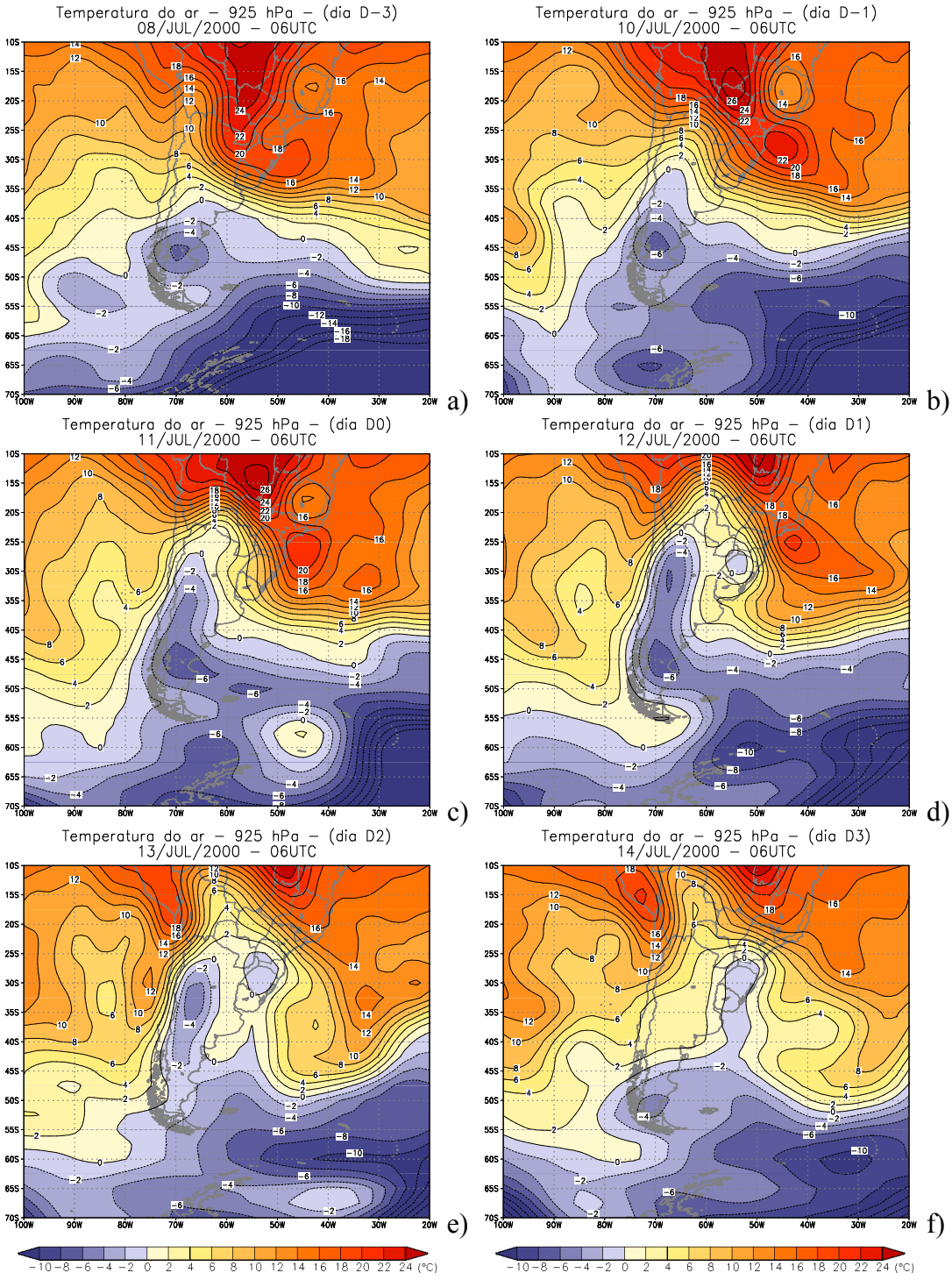


FIGURA 6.6 - Campo de T (°C) em 925 hPa, às 06:00 UTC, para os dias: a) D-3, b) D-1, c) D0, d) D1, e) D2, f) D3.

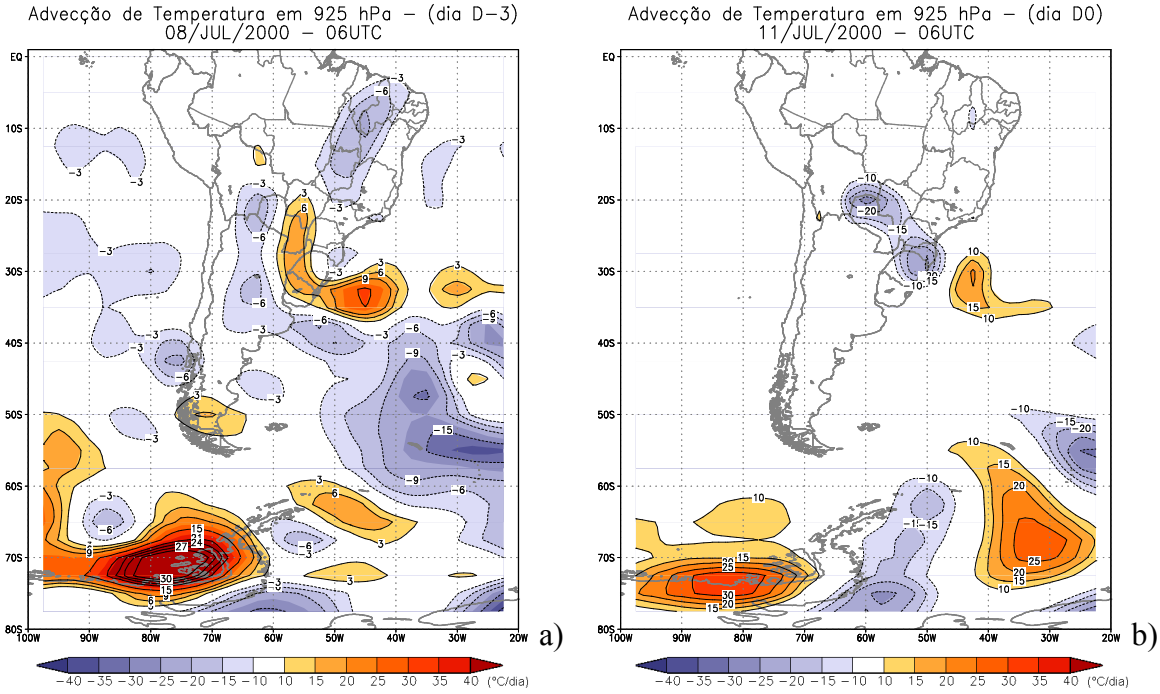


FIGURA 6.7 - Advecção de T (°C dia^{-1}) em 925 hPa, às 06:00 UTC, para os dias: a) D-3, b) D0.

Para quantificar a intensidade das incursões de ar quente e frio no Sul do Brasil, a Figura 6.8 mostra o campo de anomalia de T em 925 hPa. Nos dias D-2 e D-1 (Figuras 6.8a e 6.8b, respectivamente) verificam-se anomalias positivas de T sobre a Região Sul do Brasil, variando entre 2°C e 6°C, e um centro 8°C sobre a costa oceânica. Além disso, ocorreram anomalias negativas de T sobre a Argentina com núcleo de –8°C. A partir do dia D0 (Figura 6.8c), essas anomalias negativas de T invadiram o interior da AS, causando QAT_{min} do Tipo B na Região Sul do Brasil. Nos três dias seguintes à ocorrência das QAT_{min} no Sul do Brasil, essas anomalias negativas de T continuaram se espalhando pela AS em direção a latitudes baixas. Em D2 e D3 (Figuras 6.8e e 6.8f, respectivamente), a Região Sul do Brasil apresentou anomalias negativas de T variando entre –12°C e –14°C. Essas alcançaram a linha do equador no dia D3 (Figura 6.8f), apresentando dois centros de T da ordem de –14°C, sendo um em aproximadamente 17°S; 60°W e outro em 27°S; 55°W.

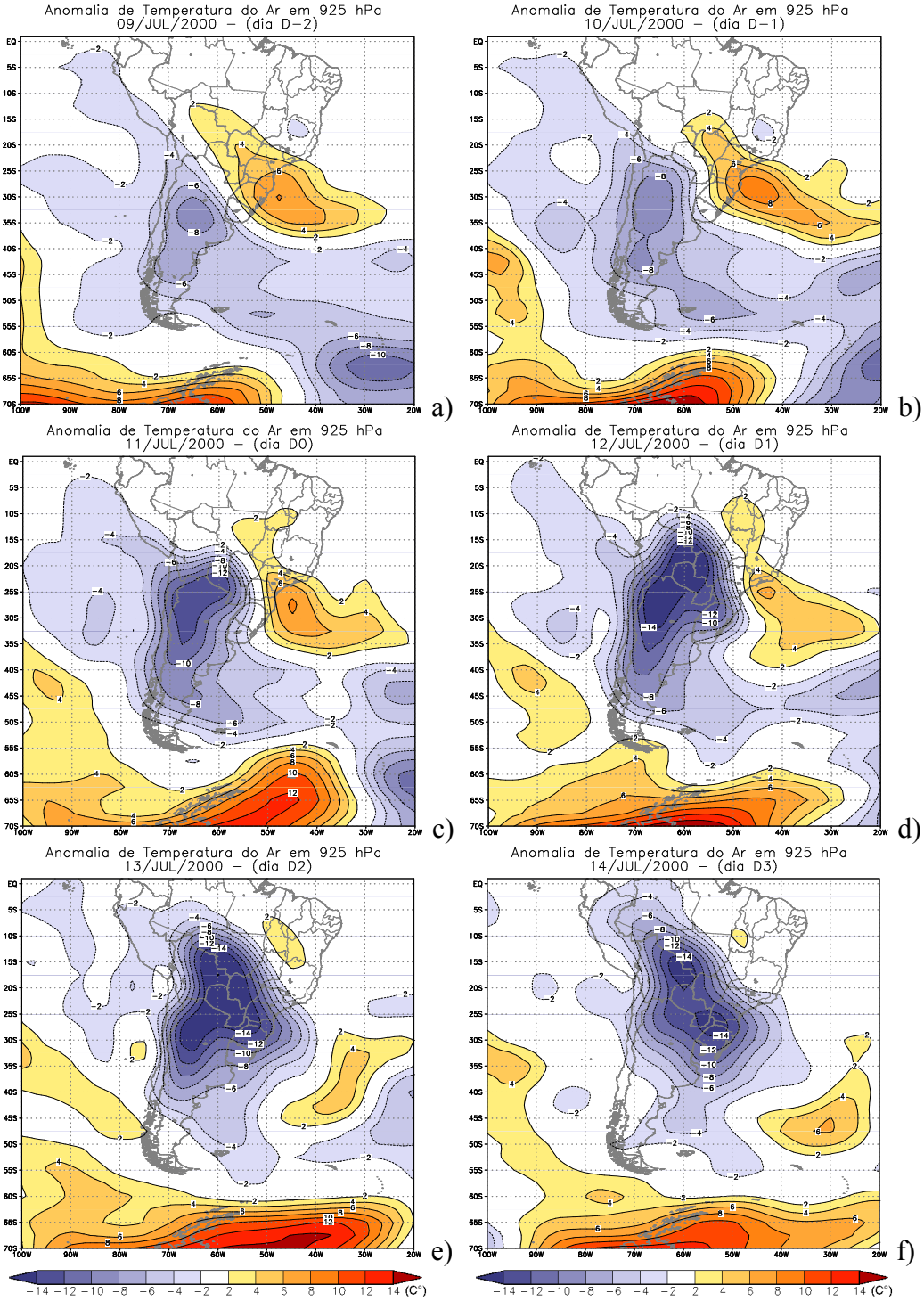


FIGURA 6.8 - Anomalias de T (°C) em 925 hPa para os dias: a) D-2, b) D-1, c) D0, d) D1, e) D2, f) D3.

A Figura 6.9 mostra uma seqüência de campos anômalos de PNM sobre o Oceano Pacífico, a AS e o Oceano Atlântico. Em D-3, uma região de baixa pressão anômala localizou-se sobre a AS (Figura 6.9a), a qual esteve associada a um trem de anomalias de PNM que se estendiam desde o Oceano Pacífico Oeste. No dia D-1 (Figura 6.9b) essas anomalias negativas de PNM apresentaram uma orientação noroeste-sudeste sobre a AS, e um centro de –8 hPa bem definido sobre a Região Sul do Brasil. Neste mesmo dia, na retaguarda dessas anomalias negativas de PNM, ocorreu a intensificação de anomalias positivas de PNM sobre o extremo sul da AS. A Figura 6.9c mostra no dia D0, a incursão de parte dessas anomalias positivas de PNM sobre a Argentina e a intensificação da baixa anômala sobre o Oceano Atlântico Sul. No dia D2, as anomalias positivas de PNM predominam sobre o Sul do Brasil (Figura 6.9d), o que mostra um domínio do anticiclone sobre a região.

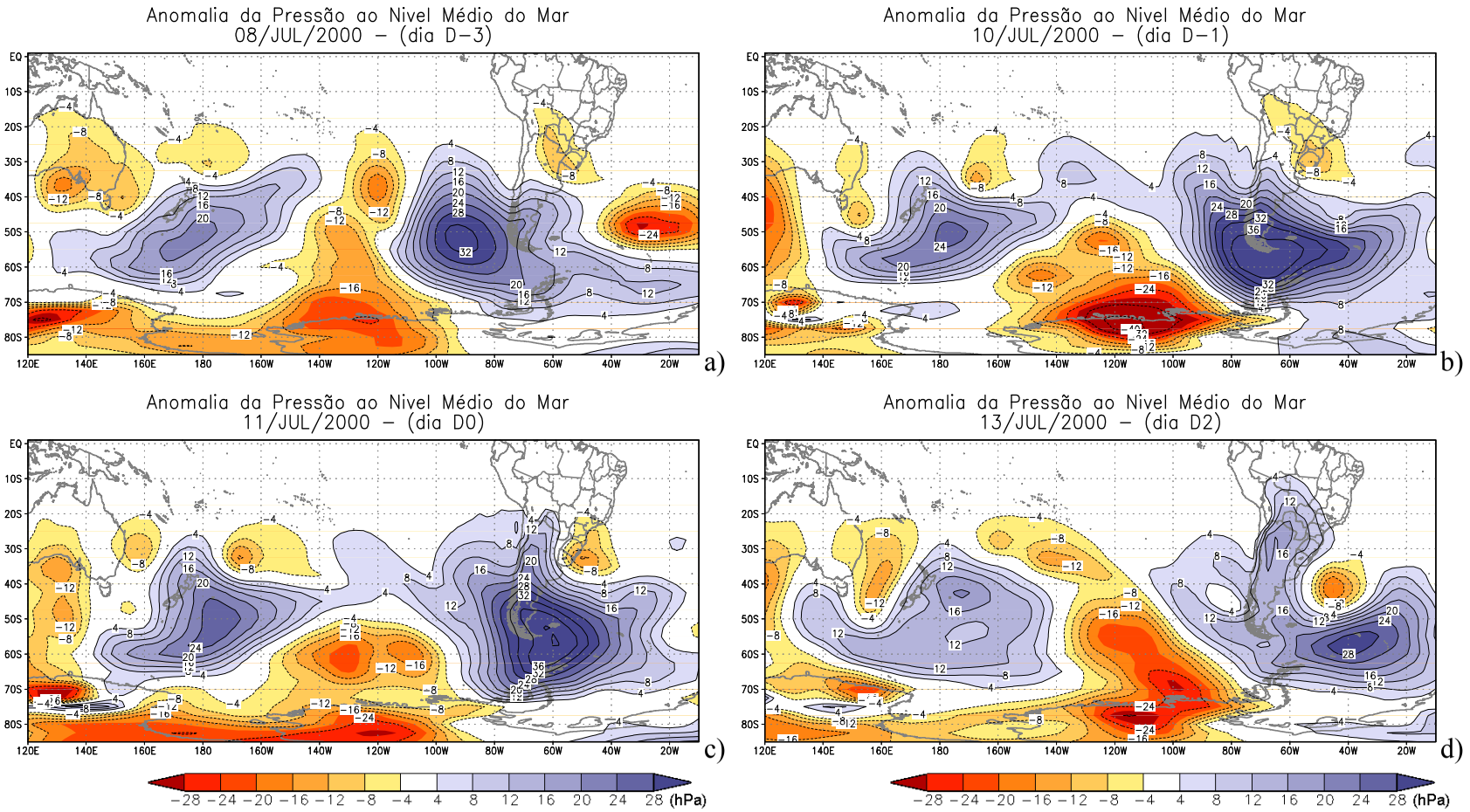


FIGURA 6.9 - Anomalias de PNM (hPa) para os dias: a) D-3, b) D-1, c) D0, d) D2.

A Figura 6.10 mostra o campo de linhas de corrente e da magnitude do vento em 850 hPa. No dia D-3 havia um escoamento do ar de noroeste sobre o Sul do Brasil, devido a circulação da ASAS e de uma circulação ciclônica localizada sobre o nordeste argentino (Figuras 6.10a). Este escoamento de ar de noroeste apresentou um NVM entre 18 e 21 m s^{-1}, sobre o Paraguai e a Bolívia. Nesse dia também se verificou uma crista sobre o sul da Argentina associada a uma intensa circulação anticiclônica sobre o Pacífico Leste, centrada em aproximadamente 47°S; 95°W. Esta invasão da circulação anticiclônica sobre o extremo sul da AS foi responsável por um escoamento de leste sobre a Argentina Central e pela formação de uma circulação ciclônica no lado oeste da Cordilheira dos Andes.

No dia D-1 (Figura 6.10b), o centro da circulação anticiclônica deslocou-se para o extremo sul da AS e a circulação ciclônica, que estava sobre o nordeste argentino no dia D-3, localizou-se sobre o Uruguai e oeste do RS no Brasil. Os compostos de QAT_{min} mostraram um cavado sobre o sudeste da AS, ao invés de uma circulação ciclônica, isso por ser um campo médio. A Figura 6.10c mostra que no dia D0 o setor oeste desta circulação ciclônica apresentou NVM de sul (superior a 18 m s^{-1}) sobre o continente, o qual esteve diretamente relacionado com a confluência do escoamento do ar entre essa circulação ciclônica sobre a costa Uruguai e a circulação anticiclônica sobre o sul do continente. Na Figura 6.10d nota-se que no dia D1 há uma inversão no posicionamento das circulações, com a ciclônica se deslocando para sul (37°S) e a anticiciclônica para norte (22°S). No dia D2 (Figura 6.10e) verificou-se um escoamento do ar de sudeste sobre a Região Amazônica e o deslocando-se para sul da circulação ciclônica (em aproximadamente 43°S; 45°W), onde esta ainda contribuiu para a advecção de ar frio sobre o sul do Brasil. Em D3, dia em que ocorreu a geada total na Região Sul do Brasil, o núcleo do sistema anticiclônico localizou-se sobre o Sul do Brasil (Figura 6.10f), o que confirma o completo domínio do centro anticiclone sobre a região de estudo.

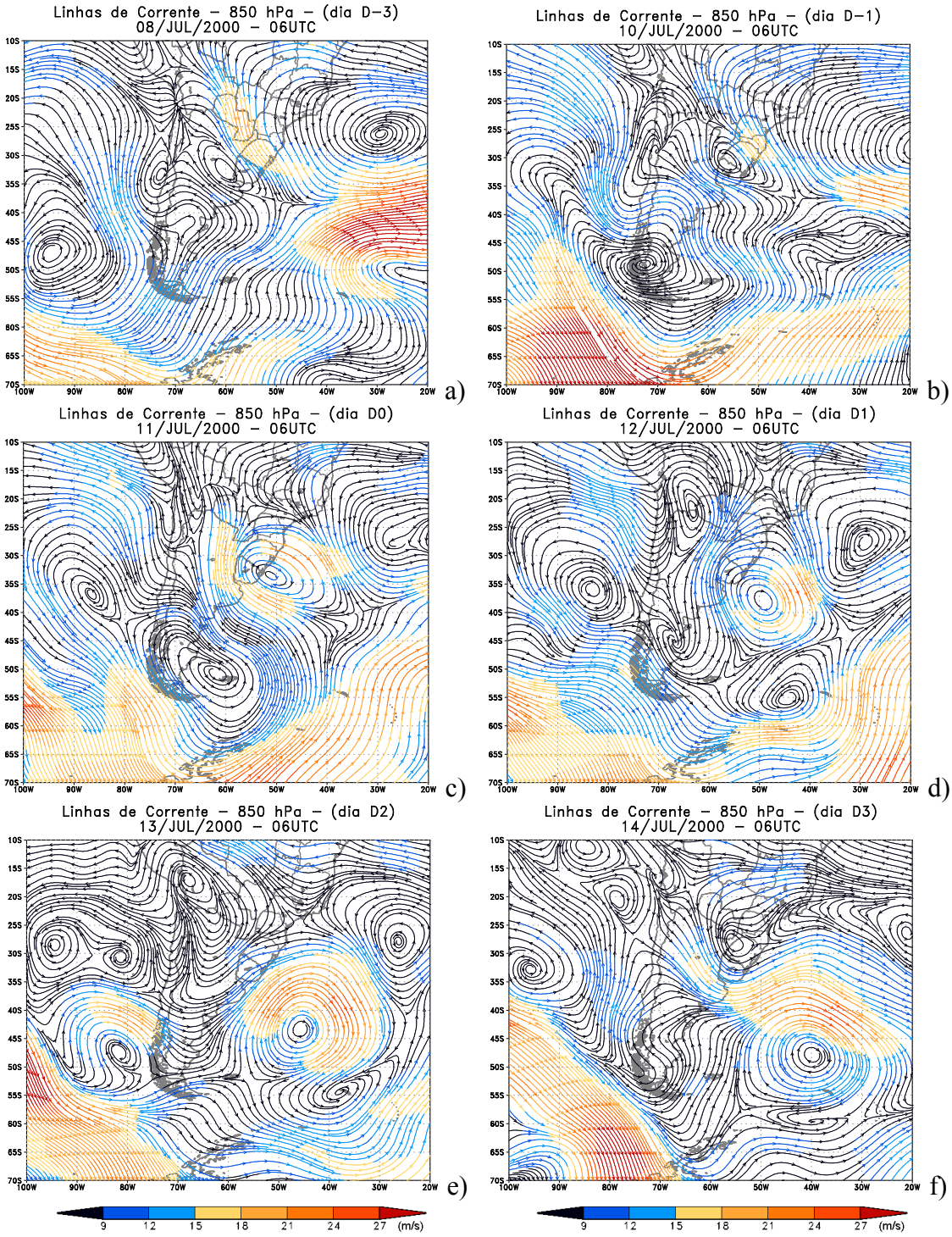


FIGURA 6.10 - Linhas de Corrente e magnitude do vento (m s^{-1}) em 850 hPa, às 06:00 UTC, para os dias: a) D-3, b) D-1, c) D0, d) D1, e) D2, f) D3.

A Figura 6.11 apresenta o campo de anomalias de v em 850 hPa sobre o Oceano Pacífico, a AS e o Oceano Atlântico. A partir do dia D-3, anomalias negativas de v localizaram-se sobre a região central da AS, enquanto que as anomalias positivas estiveram no sul da AS. As anomalias negativas de v apresentaram uma orientação noroeste-sudeste e intensidade superior a -5 m s^{-1} sobre o Sul do Brasil (Figura 6.11a). Entre os dias D-2 e D-1 o trem de onda deslocou-se para leste, invadindo a AS pelo extremo sul. No dia D-1, as anomalias negativas de v permaneceram sobre o sul do Brasil, e na retaguarda destas ocorreu a incursão das anomalias positivas de v sobre a Argentina (Figura 6.11b), as quais exibiram uma orientação sul-norte e intensidade superior a 10 m s^{-1}. No dia em que ocorreram as QAT_{min} no Sul do Brasil (Figura 6.11c) as anomalias negativas de v intensificaram sobre o Oceano Atlântico, onde apresentaram um núcleo de –15 m s^{-1} próximo a Região Sul do Brasil. Também no dia D0, as anomalias positivas de v intensificaram sobre a Região Nordeste da Argentina, atingindo um valor anômalo superior a 20 m s^{-1}. Estas anomalias positivas e negativas de v em 850 hPa apresentaram um padrão semelhante ao observado nos compostos de QAT_{min} do Tipo B, caracterizando uma circulação ciclônica no litoral da Região Sul (Figura 6.3c). A partir do dia D1, as anomalias positivas avançaram sobre a AS, em direção à linha do equador (Figura 6.11d).

O corte zonal de v do vento em 24°S para o dia D-3 (Figura 6.12a) mostra um fluxo de norte sobre a Região Sul do Brasil, com intensidade superior a –18 m s^{-1} em 850 hPa, sugerindo a existência de um JBN de norte. No dia D0 (Figura 6.12b) ocorreu uma mudança no fluxo de norte para sul sobre a Região Sul do Brasil (24°S). Esta componente de sul localizou-se bem próxima da Cordilheira dos Andes, em aproximadamente 60°W, com um núcleo superior a 18 m s^{-1} em 925 hPa, mostrando a presença de um JS, semelhante ao observado por Marengo e Soares (2002). Essa mudança do JBN de norte para JS em D0 sobre a Região Sul do Brasil, é um padrão atmosférico que favoreceu muito a ocorrência de QAT_{min} na região. A localização do JS em 60°W no dia D0 contribuiu para que a massa de ar frio fosse canalizada pelo Andes numa trajetória totalmente continental e atingisse a Amazônia com uma intensidade superior a 9 m s^{-1} em 925 hPa (Figura 6.12c).

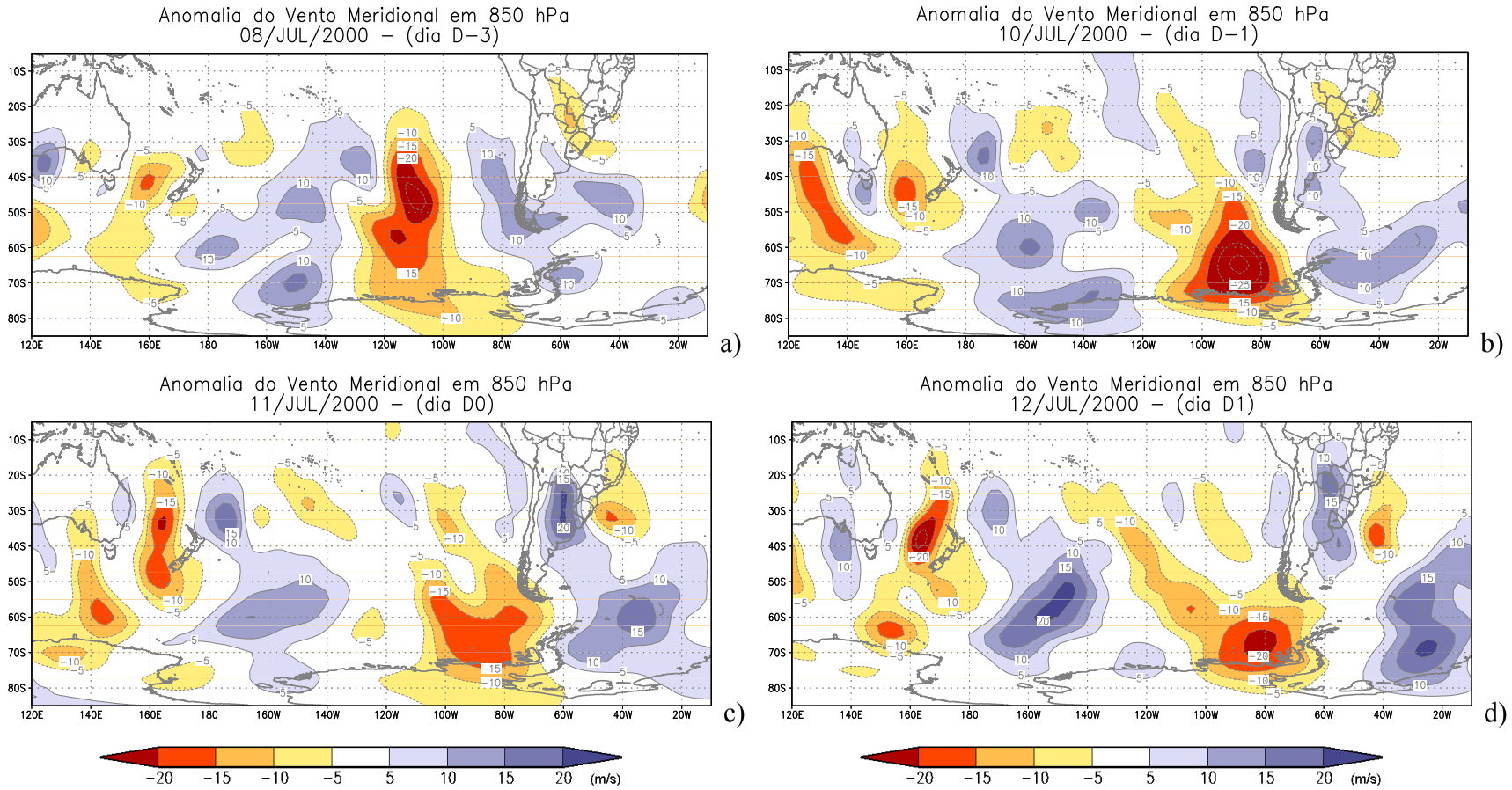


FIGURA 6.11 - Anomalias de v (m s^{-1}) em 850 hPa, para os dias: a) D-3, b) D-1, c) D0, d) D1.

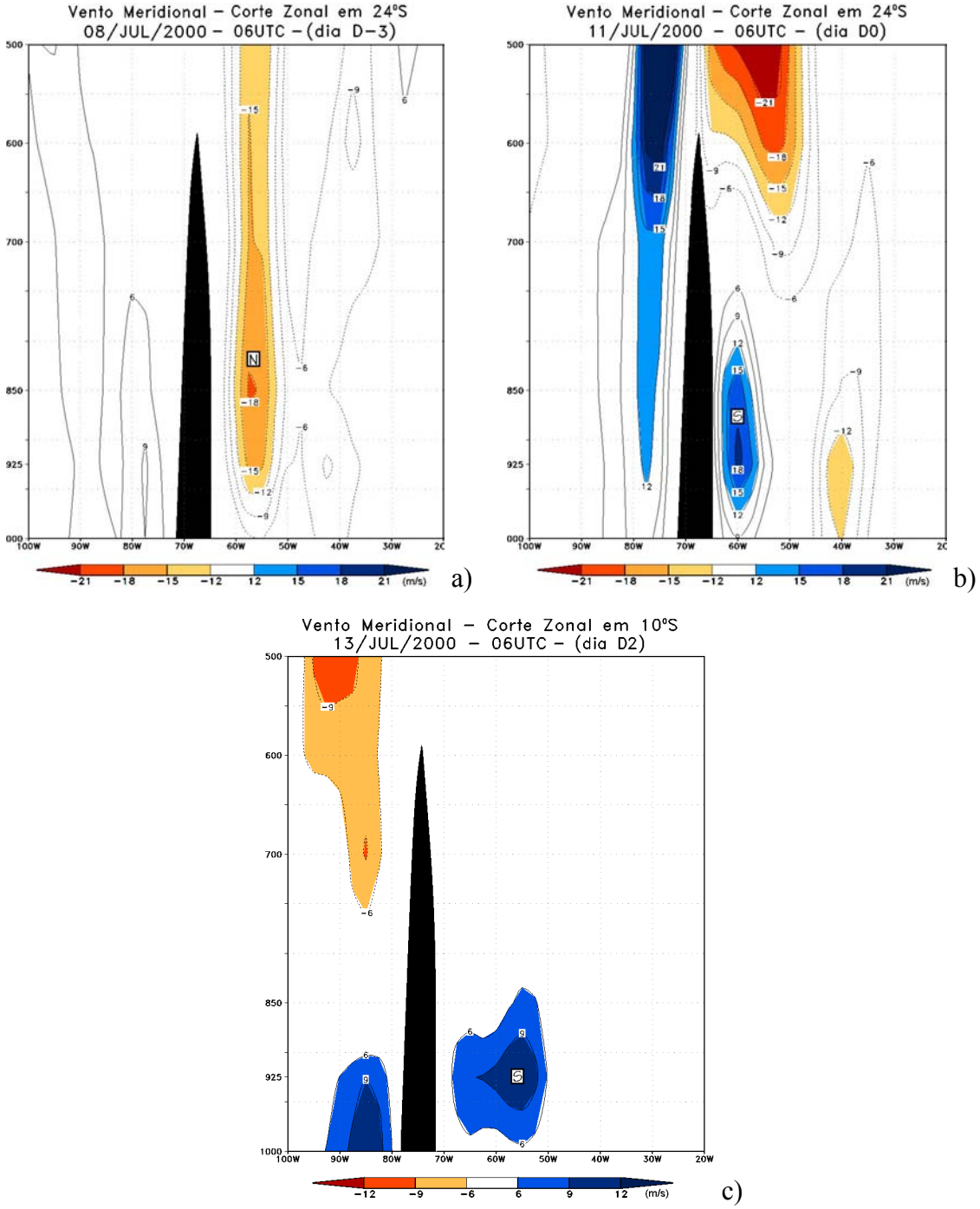


FIGURA 6.12 - Corte zonal de v (m s^{-1}) em 24°S para os dias: a) D-3, b) D0; e em 10°S para o dia: c) D2. Uma localização aproximada e hipotética dos Andes é indicada. Os fluxos de Norte e Sul são representados por N e S, respectivamente.

A Figura 6.13a mostra o campo de q em 850 hPa. No dia D-2 observa-se uma "língua" de ar úmido de noroeste, superior a 9 g kg^{-1}, avançando dos trópicos para o sul Brasil. Esta língua de ar úmido esteve associada ao escoamento de noroeste vindo dos trópicos (Figura 6.10a), o qual também foi responsável pela advecção de ar quente sobre a Região Sul do Brasil antes das QAT_{min}. O campo de anomalia de q para o dia D-2 (Figura 6.14a) sugere que a massa de ar sobre o sul do Brasil, além de anomalamente quente, era anomalamente úmida. O ar úmido permaneceu sobre a Região Sul do Brasil até o dia D-1 (Figura 6.13b).

A partir do dia D0 a língua de ar úmido foi "cortada" devido ao avanço de uma massa de ar seco sobre a AS, que atingiu o norte da Argentina, Paraguai e a Região Sul do Brasil (Figura 6.13c). Esta região coincide com a posição das anomalias negativas de T (Figura 6.8c) e positivas de PNM (Figura 6.9c) sobre o continente, semelhante ao observado nos padrões atmosféricos do Capítulo 5. Entretanto, nesse dia ainda é possível observar um núcleo de ar úmido (superior a 13 g kg^{-1}) localizado sobre o Oceano Atlântico Sul, à leste da Região Sul do Brasil. No dia D1, o Sul do Brasil apresentou q mais baixa que a dos dias anteriores, devido à incursão da massa de ar seco em latitudes baixas da AS (Figura 6.13d). Neste mesmo dia um núcleo de 1 g kg^{-1} localizou-se sobre a Região Norte da Argentina. Isto sugere que a massa de ar frio e seco começou a perder umidade ao deslocar-se sobre a AS. A análise da Figura 6.13e também sugere que no dia D2, a massa ar frio sofreu um ressecamento em seu deslocamento sobre o continente em direção a região tropical. O campo das anomalias de q em D2 (Figura 6.14b) detalha melhor a extensão da massa de ar seco sobre o continente. A boa concordância dos campos anômalos de q com os campos de anomalias de PNM e de T mostra o domínio da massa de ar frio e seco sobre a AS. No dia D3 (Figura 6.13f) a massa de ar seco esteve centrada sobre a Região Sul do Brasil, onde apresentou valores inferiores a 1 g kg^{-1}, contribuindo assim para a ocorrência de geada negra na região de estudo.

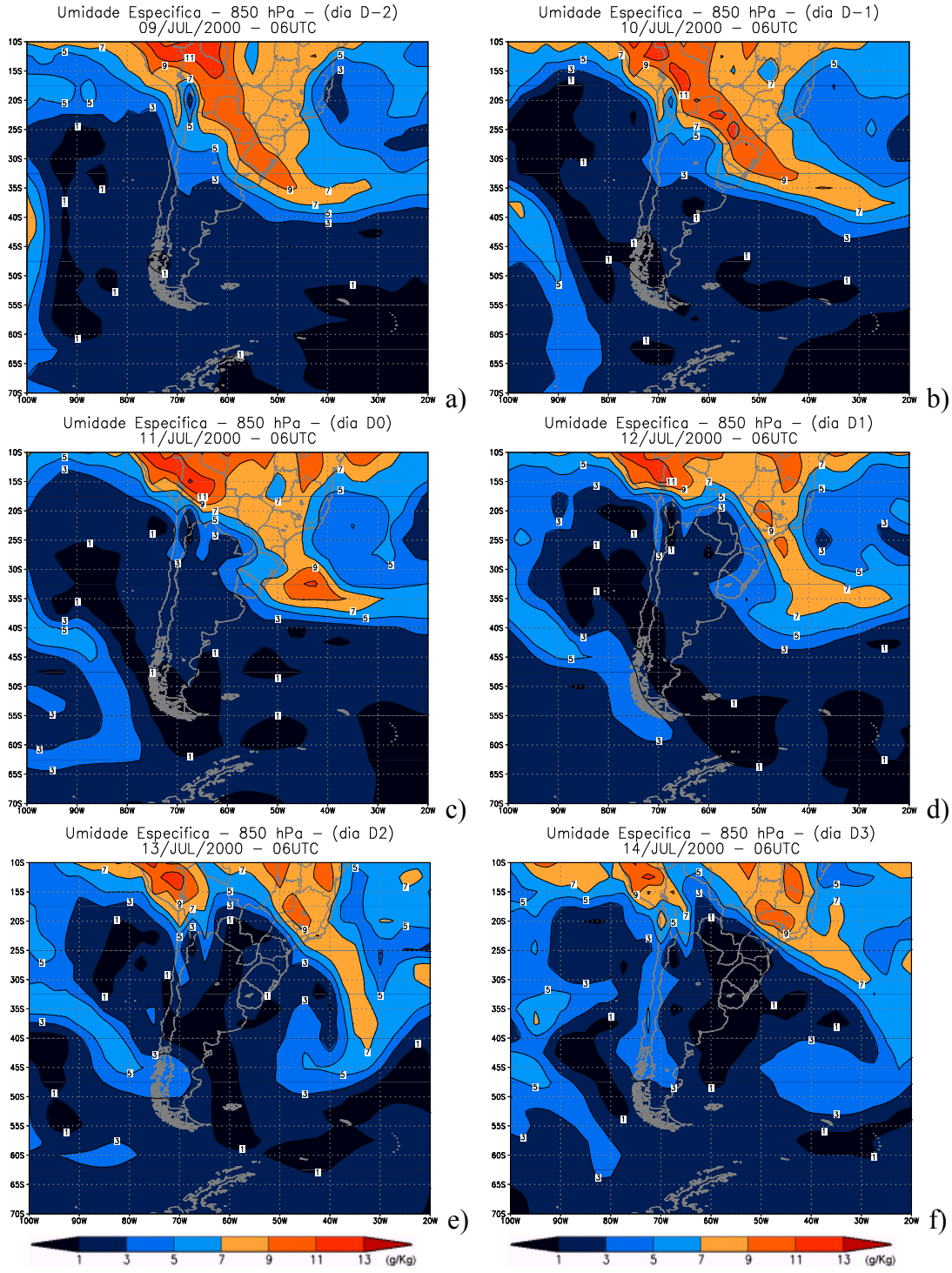


FIGURA 6.13 - Campo de q (g kg^{-1}) em 850 hPa, às 06:00 UTC, para os dias: a) D-2, b) D-1, c) D0, d) D1, e) D2, f) D3.

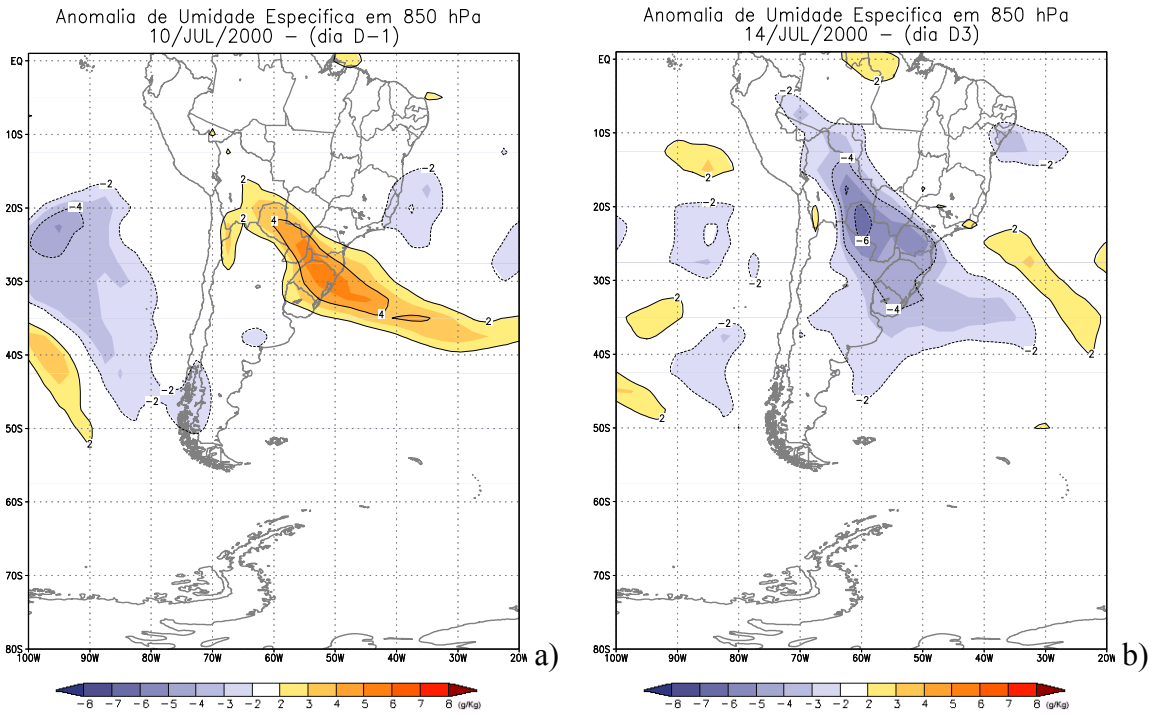


FIGURA 6.14 - Anomalias de q (g kg^{-1}) em 850 hPa, para os dias: a) D-1, b) D3.

O campo de ω em 500 hPa mostra, no dia D-3 (Figura 6.15a) e no dia D-2 (figura não mostrada), uma área de movimento ascendente do ar sobre o sudeste da AS e subsidente a sudeste deste movimento ascendente e também, no lado oeste da Cordilheira dos Andes. Em D-1 (Figura 6.15b), a área de movimento ascendente do ar deslocou-se para nordeste e intensificou sobre o sul do Brasil. Essa região de movimento ascendente do ar coincide com a região de advecção de ar quente, de anomalias positivas de q e da banda de nebulosidade associada ao sistema frontal. A Figura 6.15c mostra que no dia D0 existiu uma região de movimento subsidente sobre o RS. Nessa figura observasse também, que a região de movimento ascendente do ar adquire uma curvatura ciclônica em torno do movimento subsidente, a qual esteve associada com o ciclone extratropical sobre o Oceano Atlântico Sul. No dia D2 (Figuras 6.15d) a área de movimento subsidente do ar se intensificou sobre o sudeste da AS. O corte meridional de ω em 55°W mostra o perfil do movimento do ar sobre a Região Sul do Brasil nos dias D-1, D0 e D2 (Figuras 6.16a, 6.16b e 6.16c, respectivamente). Sobre a Região Sul do Brasil (em torno de 30°S) destaca-se o intenso movimento ascendente do ar em praticamente toda a troposfera, um dia antes

da incursão de ar frio (Figura 6.16a) e, o intenso movimento descendente do ar em praticamente toda a troposfera, após a incursão de ar frio sobre a região (Figura 6.16c).

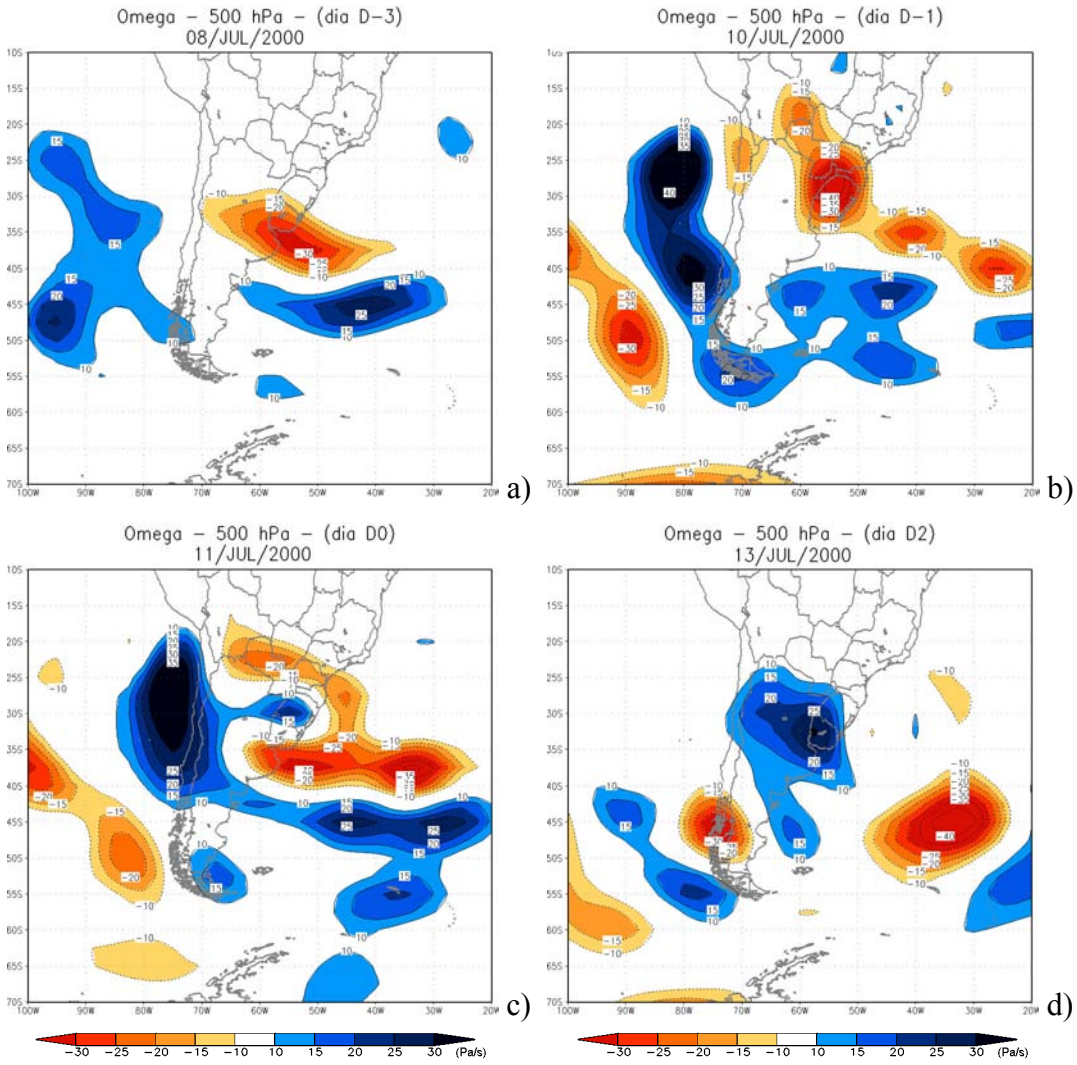


FIGURA 6.15 - ω (Pa s^{-1}) em 500 hPa, para os dias: a) D-3, b) D-1, c) D0, d) D2.

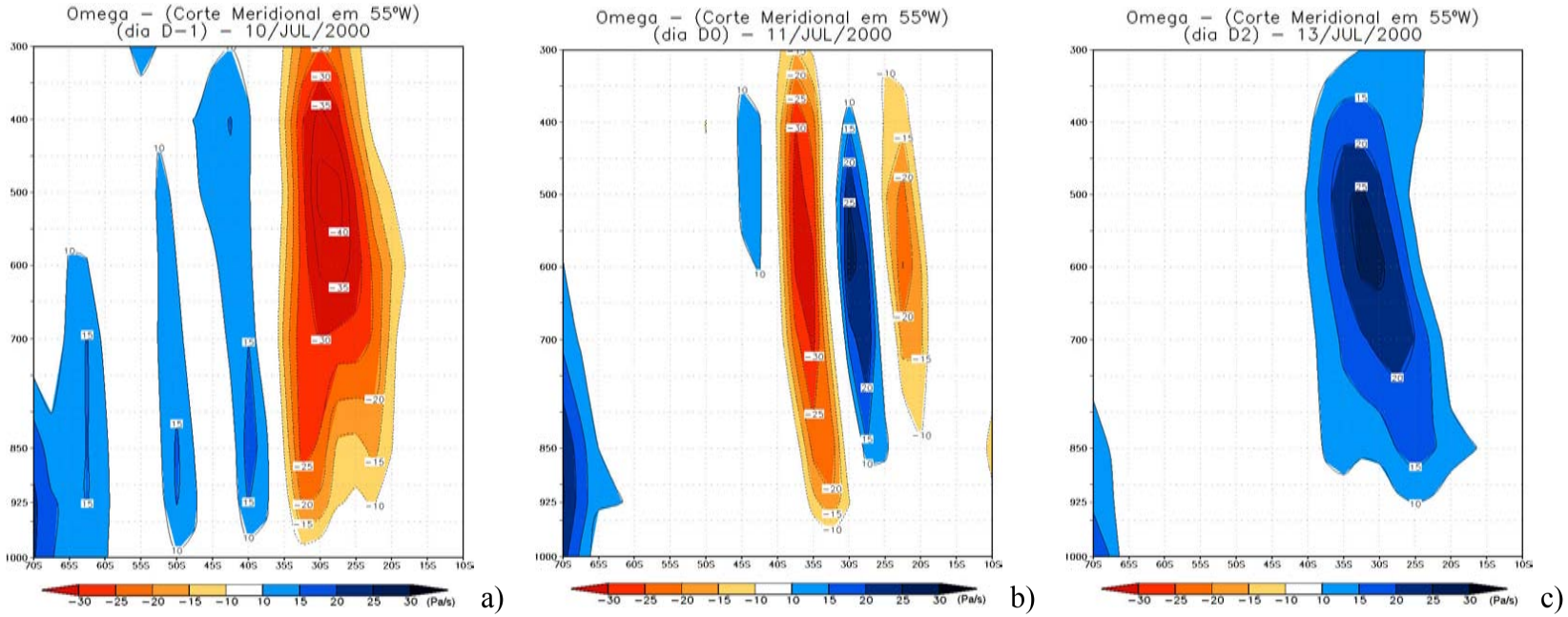


FIGURA 6.16 - Corte Meridional de ω (Pa s^{-1}) sobre a Região Sul do Brasil (55°W) para os dias: a) D-1, b) D0, c) D2.

Os campos de linhas de corrente e magnitude do vento em 500 hPa e 300 hPa podem ser vistos nas Figuras 6.17 e 6.18, respectivamente. No dia D-3 foram observados, em ambos os níveis atmosféricos, um cavado com inclinação horizontal para oeste, à leste dos Andes, e uma defasagem no escoamento do ar sobre o Oceano Pacífico Leste (Figuras 6.17a e 6.18a). No dia D-2 (figura não mostrada), este cavado em altos níveis apresentou uma velocidade zonal em latitudes subtropicais, inferior a observada em latitudes médias, o que favoreceu a formação de um VCAN, em torno de 35°S, e de uma alta desprendida em 58°S, formando um dipolo com orientação norte-sul. As Figuras 6.17b e 6.18b mostram o padrão dipolo em 70°W para o dia D-1, com uma configuração de bloqueio (Reinke et al., 2004). Esta configuração do Tipo "S" em altos níveis favoreceu a canalização de ar da região sub-polar para a AS.

Nas Figuras 6.17c e 6.18c observa-se que o posicionamento do VCAN sobre o sul da AS explica em parte a rápida incursão do anticiclone em superfície no dia D0 (Figura 6.3d), pois o setor oeste do VCAN localizou-se bem próximo aos Andes, à leste da cordilheira. Além disso, o posicionamento da corrente de jato com orientação noroeste-sudeste sobre os subtrópicos da AS, contribuiu para a intensificação do sistema de alta pressão em superfície, devido à circulação termicamente direta transversal ao jato (Garreaud, 2000). A comparação deste caso ocorrido em julho de 2000 com os padrões atmosféricos encontrados nos compostos de QAT_{min}, mostra que o escoamento de sul em altos níveis, à leste dos Andes, contribuiu para uma incursão mais intensa de ar frio sobre a AS do que uma componente de sudeste, a qual foi observado nos compostos (ver Figuras 5.15 e 5.16). No dia D1, o VCAN continuou sendo responsável por um intenso escoamento de sul sobre a Argentina que contribuiu para a intensificação corrente de jato em torno de 30°S; 52°W, onde este apresentou uma inclinação bem meridional (Figuras 6.17d e 6.18d). Fortune e Kousky (1983) e Satyamurty (2002) também observaram VCAN sobre a Argentina em eventos de geada na Região Sul do Brasil. A partir do dia D2 o VCAN e o jato propagaram para leste, o que favoreceu ao deslocamento do centro do sistema de alta pressão para a Região Sul do Brasil no dia D3, e a ocorrência de geada total na região.

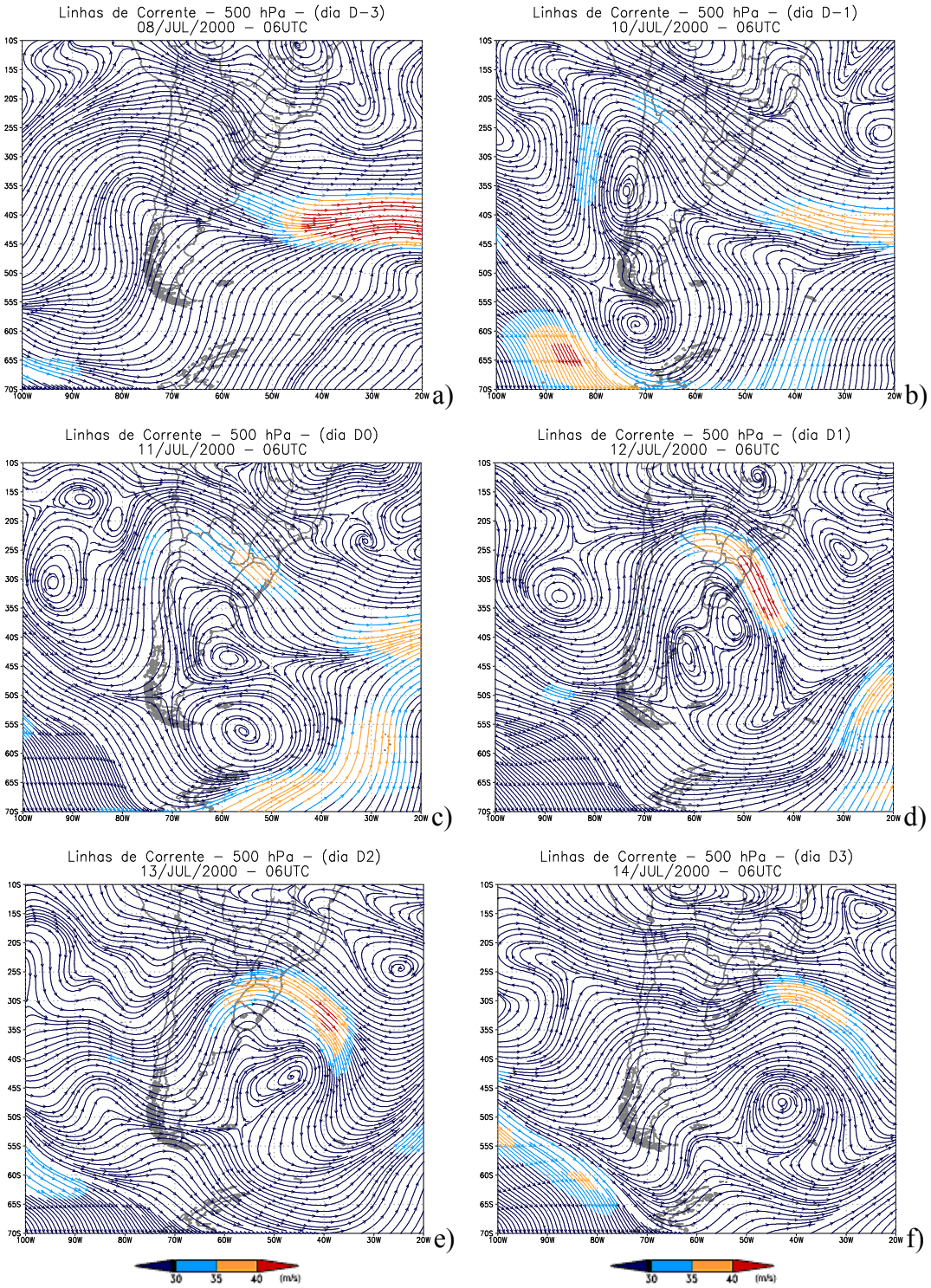


FIGURA 6.17 - Linhas de Corrente e magnitude do vento (m s^{-1}) em 500 hPa, às 06:00 UTC, para os dias: a) D-3, b) D-1, c) D0, d) D1, e) D2, f) D3.

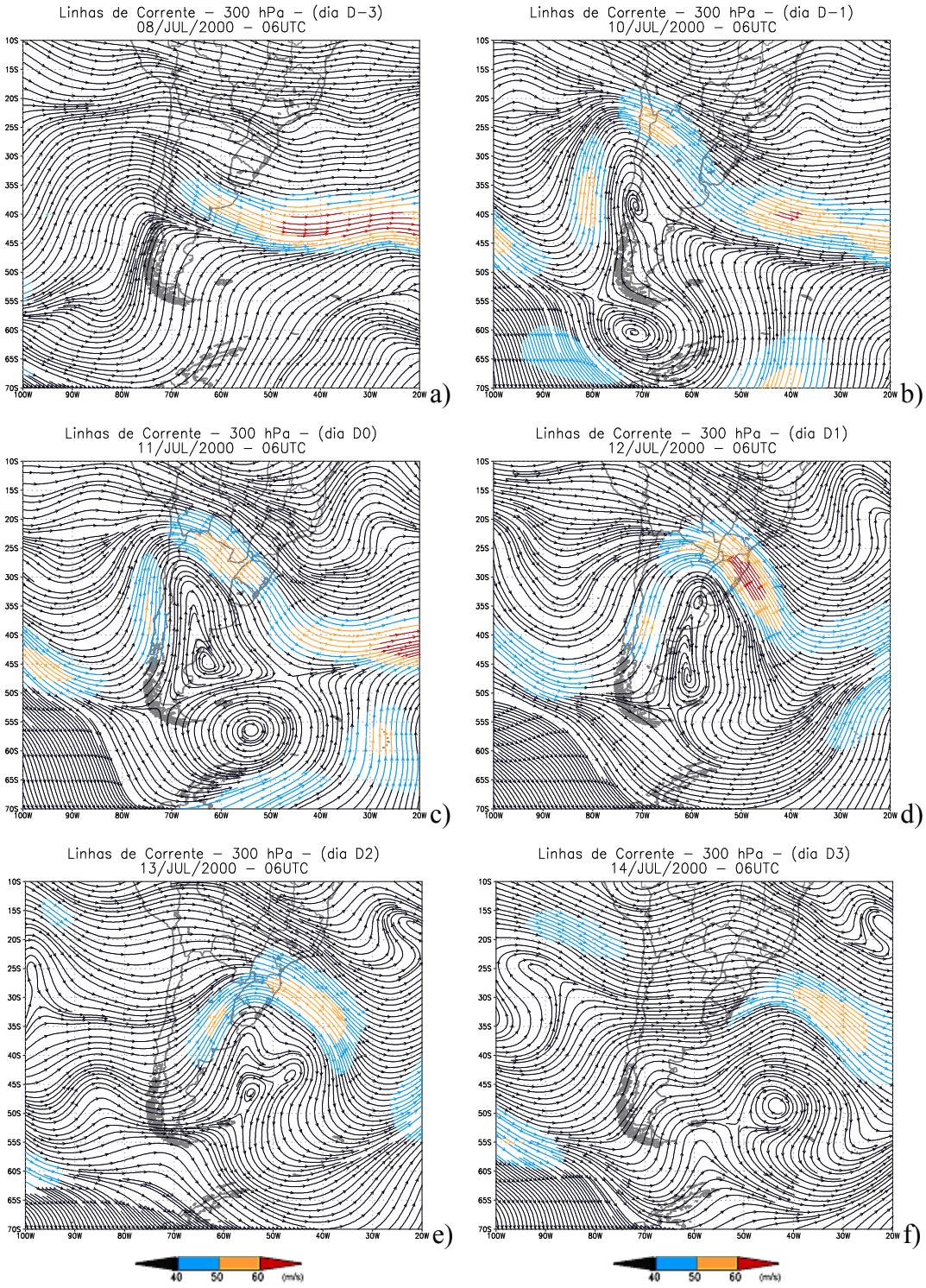
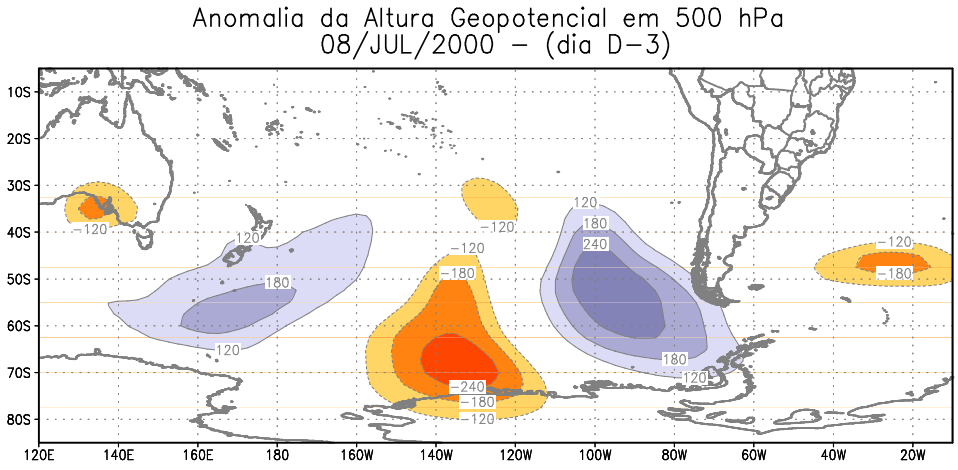


FIGURA 6.18 - Idem a Figura 5.16, exceto 300 hPa.

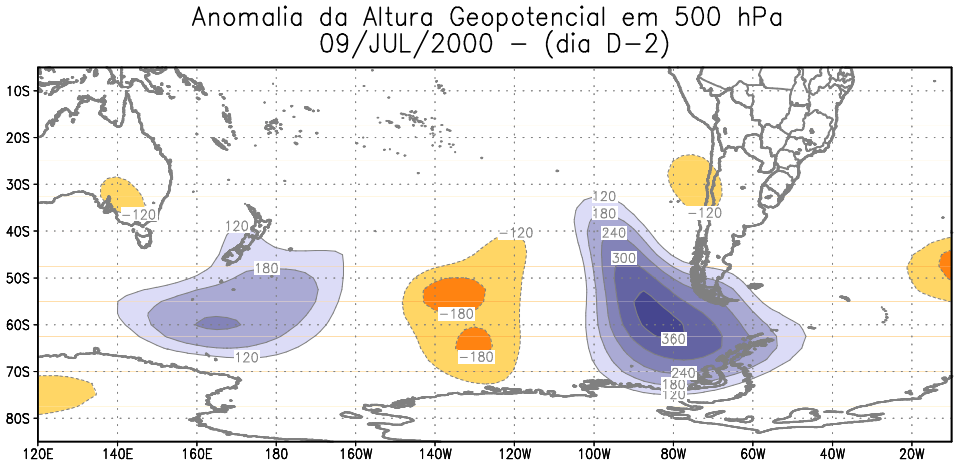
As Figuras 5.18 e 5.19 mostram, respectivamente, a evolução temporal das anomalias de z em 500 e 300 hPa. Essas figuras mostram que dias antes da ocorrência de QAT na Região Sul do Brasil já existia uma propagação de trem de onda em médios e altos níveis sobre o Oceano Pacífico. Comparando as anomalias de PNM (Figura 6.9) com as anomalias de z em altos níveis verifica-se que esse trem de onda tem características de uma onda baroclínica (Randel e Stanford, 1985), com maior inclinação para oeste na vertical em baixos níveis. No dia D-3, uma anomalia negativa de geopotencial (–120 mgp) surgiu em 300 hPa, em aproximadamente 37°S; 75°W (Figuras 5.19a), a qual não mostrava um sinal de existência em 500 hPa (Figuras 5.18a). A partir do dia D-2 o sinal dessa anomalia de z apareceu em 500 hPa, sobre a costa oeste da AS, em aproximadamente 30°S; 75°W (Figura 5.18b). Nesse mesmo dia, a Figura 5.19b mostra a intensificação da anomalia negativa em 300 hPa (–240 mgp) e a propagação do trem de anomalias para leste.

A anomalia negativa de z, inicialmente observada sobre a costa oeste da AS, localizou-se sobre os Andes no dia D-1, e intensificou tanto em 500 hPa como em 300 hPa (Figuras 5.18c e 5.19c). No dia D0 (Figuras 5.18d e 5.19d), essa anomalia ciclônica se deslocou em direção ao noroeste da Argentina, onde apresentou uma intensidade maior que a dos dias anteriores. Esta anomalia ciclônica cruzou zonalmente os Andes em 30°S, diferente do que ocorreu nos compostos de QAT, que mostraram uma anomalia ciclônica cruzando a cordilheira em aproximadamente em 40°S. Em D1, essa anomalia negativa de z posicionou-se sobre o nordeste da Argentina e apresentou sua máxima intensidade (Figuras 5.18e e 5.19e). Essa, a partir do dia D2, passou a se deslocar sobre o Oceano Atlântico.

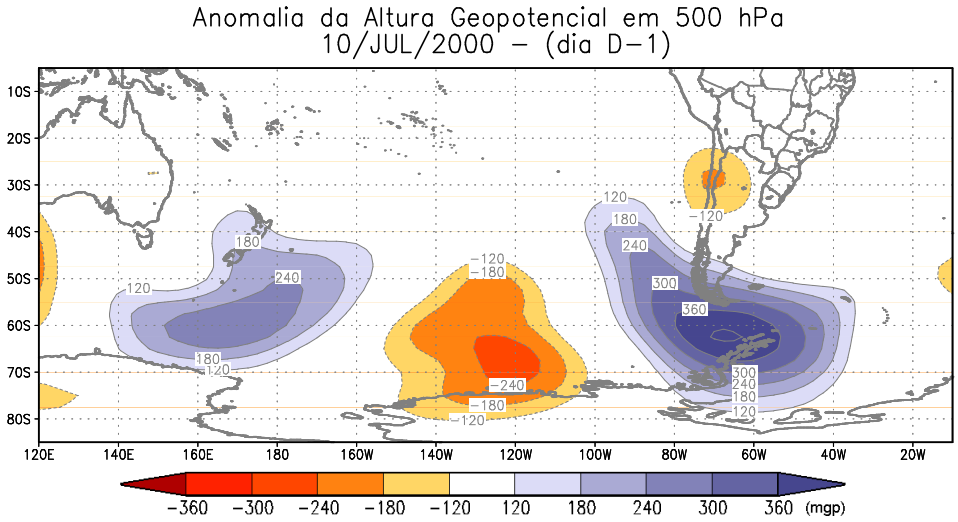
Assim como verificado nos compostos de QAT_{min}, os padrões atmosféricos observados neste caso têm precedentes muito interessantes, que é a propagação de um trem onda em altos níveis sobre o Oceano Pacífico, com alguns dias antecedência a QAT_{min} na Região Sul do Brasil (Fortune e Kousky, 1983), exibindo uma amplificação corrente abaixo (Krishnamurti et al., 1999).



a)



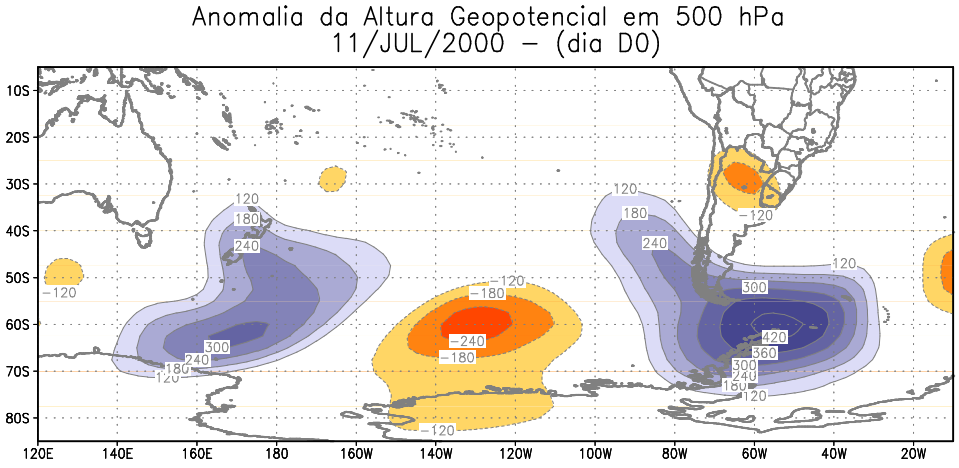
b)



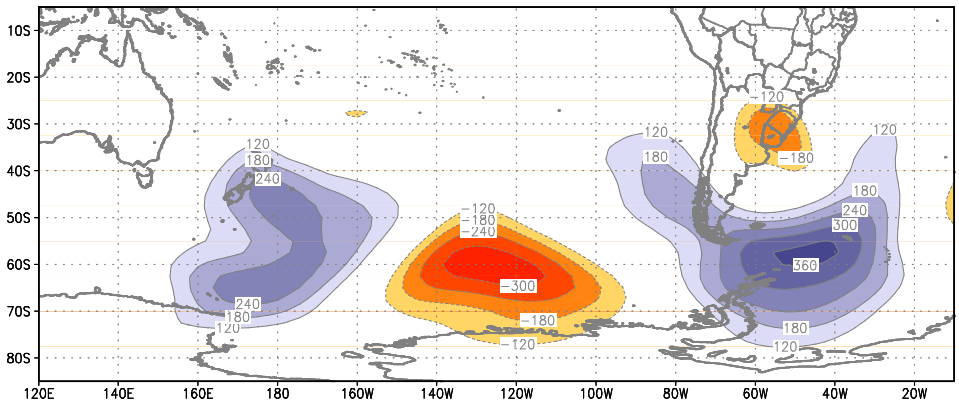
c)

FIGURA 6.19 - Anomalias de z (mgp) em 500 hPa, para os dias: a) D-3, b) D-2, c) D-1, d) D0, e) D1, f) D3.

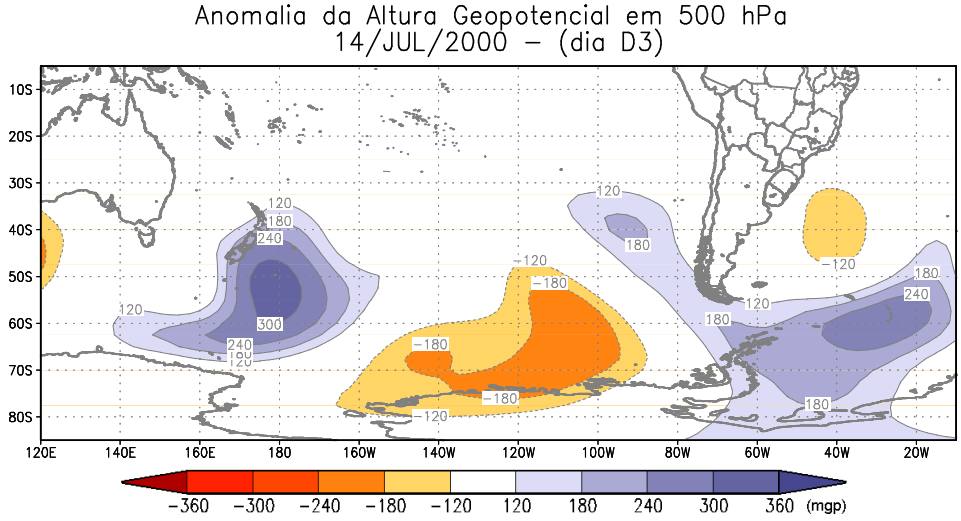
(continua)



d)

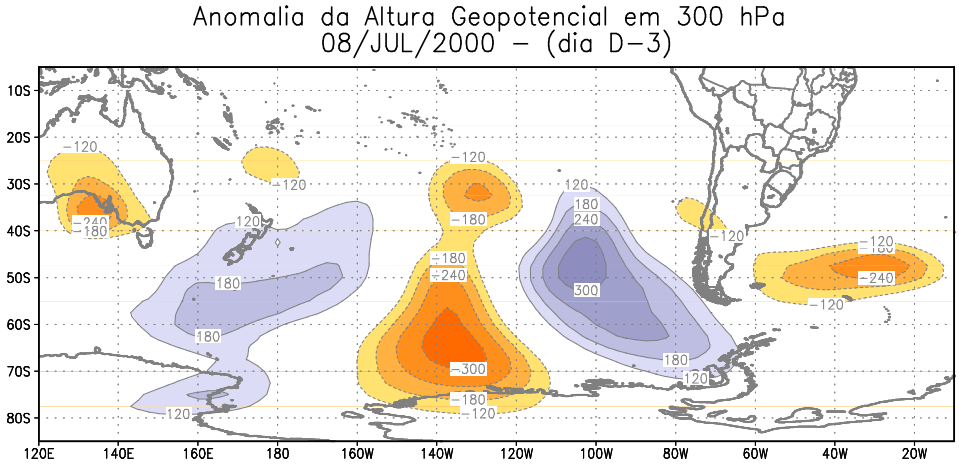


e)

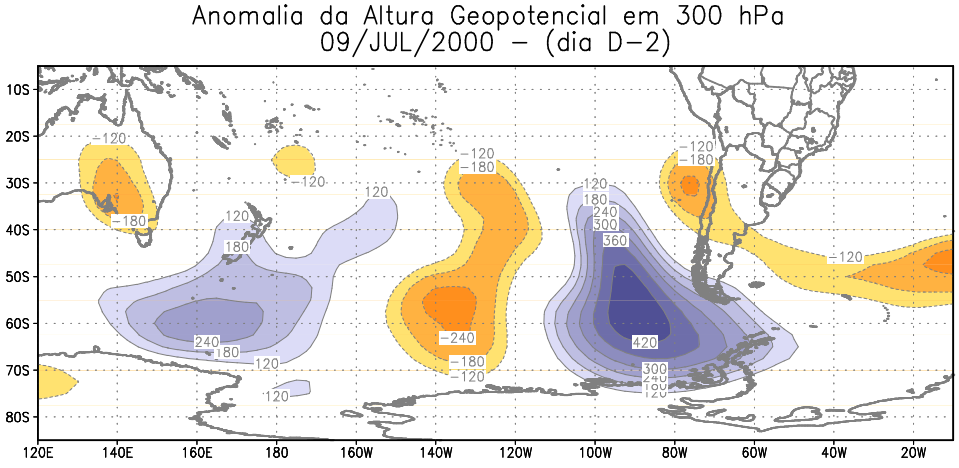


f)

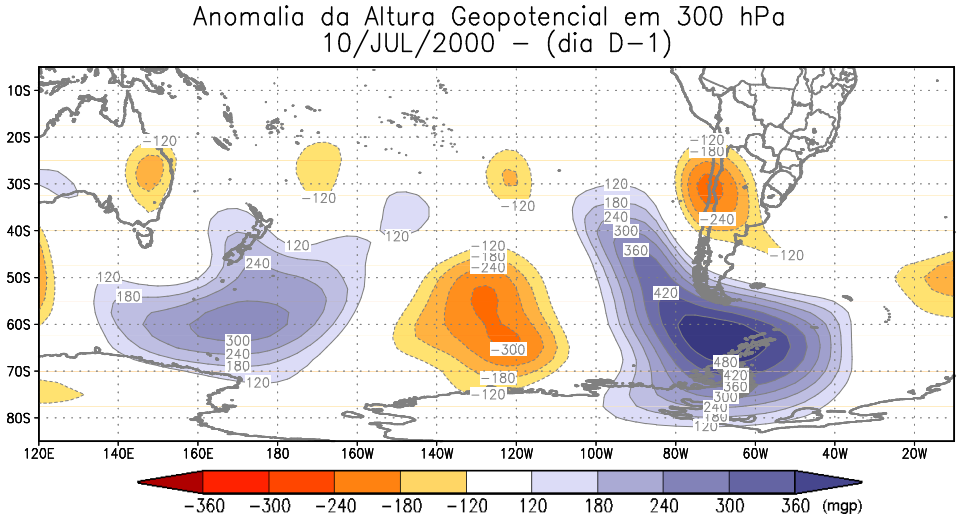
FIGURA 6.19 - (Conclusão).



a)



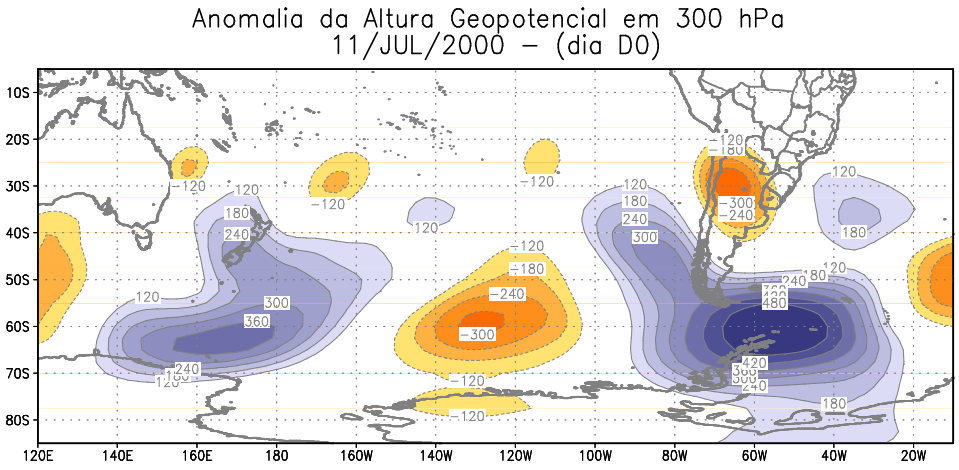
b)



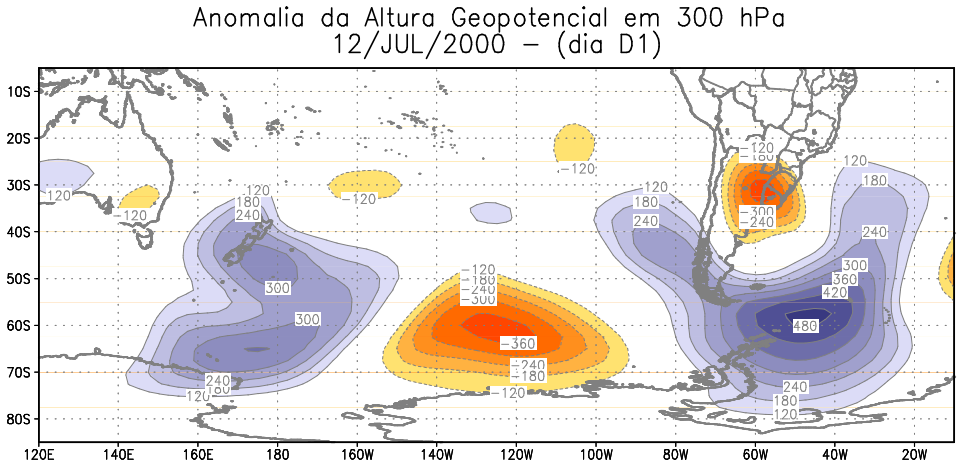
c)

FIGURA 6.20 - Idem a Figura 6.19, exceto 300 hPa.

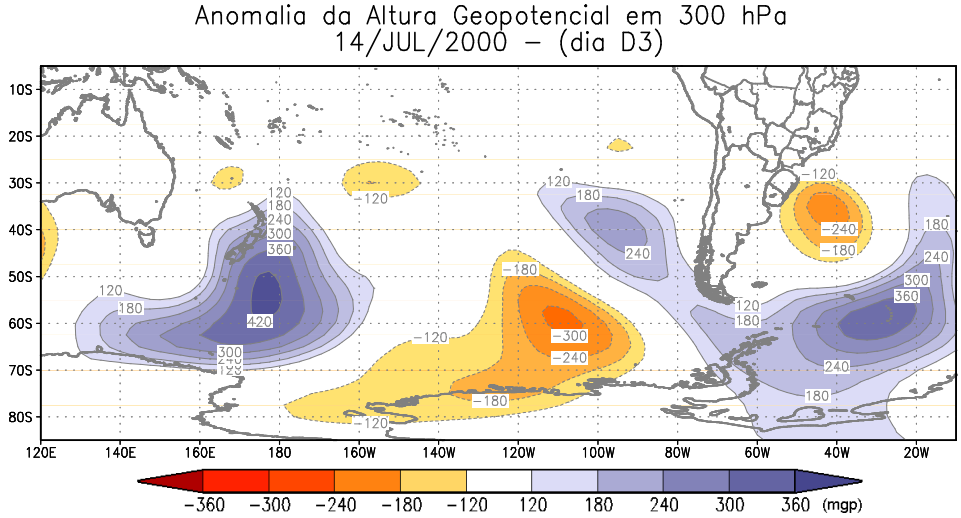
(continua)



d)



e)



f)

FIGURA 6.20 - (Conclusão).

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre os vários eventos meteorológicos que causam prejuízos agrícolas na Região Sul do Brasil destaca-se a incursão de ar frio, que muitas vezes resulta em QAT e ocorrência de geadas nessa região. Assim, o objetivo deste estudo foi conhecer a distribuição espacial e a intensidade das QAT na Região Sul do Brasil e os padrões atmosféricos associados à esses eventos, em uma tentativa de relacioná-los com o fenômeno de geada.

Inicialmente, fez-se uma análise estatística de QT e QAT na Região Sul do Brasil, para o período de maio a setembro (1996 a 2003). Os menores valores de $\overline{QT}$ e $\overline{QAT}$ foram em maio, provavelmente, porque neste mês as incursões de ar frio e de ar quente não foram tão intensas como nos outros meses do período de estudo.

No período de maio a setembro observou-se que os maiores valores de $\overline{QT}$ e $\overline{QAT}$ ocorreram no setor oeste da Região Sul e os menores, no litoral. Além disso, as maiores variações intermensais e os maiores $\overline{\sigma}$ de QT e QAT ocorreram nas estações meteorológicas localizadas no lado oeste da Região Sul do Brasil. Uma explicação para a maior magnitude e para a alta variabilidade diária de $\overline{QT}$ e $\overline{QAT}$ no setor oeste da Região Sul durante o período de estudo, é o efeito da continentalidade. Pois, em geral, no setor oeste da Região Sul do Brasil há uma atmosfera mais seca que na faixa litorânea da Região Sul do Brasil (Nimer, 1979), favorecendo uma maior quantidade de radiação incidente e emitida no interior da região. Outro ponto importante a ser destacado é que a maior atividade baroclínica associada a sistemas transientes nesse setor da região durante o período de estudo. Segundo Seluchi e Marengo (2000), a variabilidade diária do transporte meridional de massas de ar é influenciada diretamente pela barreira topográfica dos Andes, especialmente no período de inverno, a qual

favorece a atividade baroclínica e permite uma troca ativa de massas de ar na faixa longitudinal de 25°S e 35°S.

As QAT do Tipo B foram as mais freqüentes durante o período, sendo o tipo que melhor representou a troca de massas de ar sobre a Região Sul do Brasil. Resultado este semelhante ao obtido para a Argentina (Escobar, 2001). Os eventos extremos de QAT_{min} apresentaram maiores magnitudes nos setores centro-noroeste do RS, sudoeste do PR e região serrana. Baseado neste resultado, escolheu-se os eventos extremos de QAT_{min} do Tipo B ocorridos nos setores A1 e A2 da Região Sul do Brasil (ver Figura 5.2), com a finalidade de gerar as composições.

Os campos compostos mostraram padrões de grande escala bem definidos, destacando-se em baixos níveis, a penetração da ASAS sobre a AS, onde o setor oeste deste sistema é responsável por um escoamento de noroeste, dos trópicos em direção a Região Sul do Brasil. Esta situação surgiu vários dias antes da QAT_{min} na região. O centro de baixa pressão localizado sobre a região do Chaco também contribuiu para o escoamento de noroeste sobre a AS. Com pelo menos dois dias de antecedência a QAT_{min}, esse escoamento de noroeste intensifica, sendo responsável pelo transporte de ar quente da região Amazônica para a Região Sul do Brasil, e pelo conseqüente aumento da T e diminuição da PNM nessa região (Fedorova, 2001). Nesse dia, em 850 hPa, ficou caracterizado a presença de um JBN sobre a AS e o avanço de uma "língua" de ar úmido dos trópicos para o sul Brasil.

Um dia antes da ocorrência de QAT_{min} verificou-se o afastamento da ASAS do continente sulamericano e a propagação para leste de um cavado sobre o sudeste da AS, estando associado ao centro de baixa pressão sobre a região do Chaco. Na retaguarda desse cavado, o anticiclone vindo do Oceano Pacífico Leste avançou sobre a AS. A passagem de um sistema frontal sobre a Região Sul do Brasil entre os dias D-1 e D0 foi caracterizada pelos campos de ROLE e de anomalias de PNM. As características atmosféricas observadas antes da QAT_{min} na Região Sul do Brasil são semelhantes ao

modelo conceitual de incursão de ar frio sobre a AS elaborado por Garreaud (2000) (ver Figuras 2.2a e 2.2b).

Em altos e médios níveis verificou-se que em D-2, havia um cavado cruzando os Andes e uma crista localizada sobre o Oceano Pacífico Leste, a qual contribuiu para o escoamento do ar de sudoeste sobre o sul da AS. Este escoamento do ar de sudoeste ocorre também em baixos níveis. Este padrão escoamento do ar de sudeste também foi observado por Algarve (1994) em casos de geada total no sul do Brasil. Este fluxo do ar de sudoeste favorece a intensificação da corrente de jato sobre o sudeste da AS e, também, da circulação transversal direta à entrada do núcleo do jato, a qual contribui para a intensificação do sistema de alta pressão em superfície (Garreaud, 2000). O escoamento do ar de sudoeste, a confluência do escoamento do ar, o núcleo da corrente de jato em altos níveis e a circulação termicamente direta transversal ao jato são mais intensas no Composto Norte do que no Composto Sul. No dia D0 há intenso movimento subsidente do ar sobre o anticiclone em superfície, em praticamente toda a troposfera, em resposta à anomalia ciclônica de z em altos níveis.

No dia D0, em ambos os compostos Sul e Norte têm-se, em baixos níveis, uma mudança no escoamento do ar de noroeste para sudoeste sobre a Região Sul do Brasil (ver Figura 2.2c). Associado a este escoamento do ar de sudoeste, há a incursão de ar frio e seco sobre o interior da AS, onde essa incursão em direção a latitudes baixas do continente é mais intensa no Composto Norte. Destaca-se o gradiente de pressão sobre o sudeste da AS para a advecção de ar frio e seco sobre a Região Sul Brasil, favorecendo a ocorrência de QAT_{min} nessa região, semelhante ao observado por Pezza (2003), nas composições de eventos extremos de ondas de frio em SP. Este gradiente de pressão é mais intenso no Composto Norte, o que contribui para a incursão de ar frio em latitudes mais baixas da AS.

Um padrão de onda baroclínica bem definido foi observado nos dois compostos, o qual se estende desde o Oceano Pacífico Oeste até a AS. No Composto Sul, a propagação desse trem de onda ocorre em uma faixa latitudinal mais extensa, apresentando uma

curvatura mais acentuada do que a propagação observada no Composto Norte. Porém, o Composto Norte mostra uma propagação de anomalias de z mais intensas que as observadas no Composto Sul. Além disso, a onda baroclínica sobre o Oceano Pacífico, apresentou uma inclinação para oeste com altura, da ordem de 8° de longitude, entre o nível médio do mar e altos níveis. Entre as anomalias positivas e negativas de z verifica-se uma propagação de energia em 300 hPa, ao longo da latitude de 50°S, mostrando uma amplificação corrente abaixo da onda (Krishnamurti et al., 1999) vários dias antes da QAT_{min} no sul do Brasil. Provavelmente, a incursão mais intensa de ar frio e seco verificada no Composto Norte deve-se a propagação do trem de onda mais intenso em altos níveis.

O caso de QAT_{min} e geada total ocorrido em julho de 2000 apresentou diversas características semelhantes aos padrões atmosféricos de QAT observados compostos Sul e Norte, tais como:

- A presença de um escoamento de noroeste em baixos níveis dias antes da QAT_{min}, sobre a Região Sul do Brasil, onde esse escoamento de ar apresentou um JBN sobre o Paraguai e a Bolívia (NVM superior a 18 m s^{-1} em 850 hPa);
- Advecção de ar quente sobre a Região Sul do Brasil com, pelo menos, três dias de antecedência às QAT;
- Uma região de anomalias positivas de PNM localizadas sobre a AS, entre os dias D-3 e D-1;
- O deslocamento de uma "língua" de ar úmido dos trópicos para o sul Brasil em D-2, associada ao escoamento de noroeste;
- A passagem de uma frente fria sobre a Região Sul do Brasil entre os dias D-1 e D0;
- No dia D0, a mudança no escoamento do ar de norte para sul sobre a AS. Neste caso, o escoamento do ar de sul localizou-se bem próximo da Cordilheira dos Andes, mostrando a presença de JS, semelhante ao observado por Marengo e Soares (2002);

- A troca de uma massa de ar quente por uma massa de ar frio sobre a Região Sul do Brasil no dia D0. A partir desse dia, as regiões de anomalias negativas de T se deslocaram sobre a AS em direção a latitudes baixas, atingindo a linha do Equador;
- Um anticiclone (centro de 1035 hPa) localizado sobre o Oceano Pacífico Leste em D-2, o qual invadiu a AS no dia D-1 em uma trajetória continental e intensificou-se sobre a Argentina no dia D0;
- Um sistema de baixa pressão sobre o Oceano Atlântico próximo ao sul do Brasil contribuiu para um gradiente de PNM sobre o sudeste da AS, sendo responsável pela advecção de ar frio e seco no sul Brasil.
- A existência de uma onda baroclínica propagando sobre o Oceano Pacífico com vários dias antecedência a QAT_{min} e a geada total na Região Sul do Brasil, exibindo uma amplificação corrente abaixo;
- No dia D-3, um cavado em altos níveis próximo aos Andes e uma defasagem no escoamento do ar sobre o Oceano Pacífico Leste. Porém, entre os dias D-2 e D-1, ao invés do cavado cruzar os Andes e seu setor oeste ser responsável por escoamento de sudoeste sobre a AS, como observado nos padrões de QAT, verificou-se a formação de um VCAN à leste dos Andes. No dia D0, o setor oeste do VCAN esteve bem próximo aos Andes, contribuindo para um fluxo do ar de sul, e para a intensificação da corrente de jato e do anticiclone em superfície, mostrando um padrão mais intenso que o observado nos compostos de QAT_{min};

Após a QAT_{min} do Tipo B na Região Sul do Brasil ocorreu um intenso resfriamento do ar por advecção sobre a região, causando geadas parciais e precipitação de neve (Climanálise, 2000). Porém, no dia D3 o centro do anticiclone localizou-se sobre o sul do Brasil, contribuindo para uma maior perda de ROLE e um maior resfriamento em superfície. Os padrões atmosféricos do dia em que ocorreu geada total na Região Sul do Brasil (D3) se assemelham muito com os padrões atmosféricos da composição feita por Pezza (2003), para os casos extremos de onda de frio em São Paulo ($T < 0°C$). Esse episódio de incursão de ar frio sobre a AS mostrou ser um dos mais intensos já estudados na literatura.

Sugestões de pesquisas futuras:

a) Realizar um estudo dos padrões atmosféricos associados à QAT nas Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Assim, seria possível verificar se os padrões de grande escala são semelhantes, ou não, aos obtidos para a Região Sul do Brasil, ou até mesmo, mais intensos.
b) Fazer um estudo climatológico de 30 anos das QAT na Região Sul do Brasil. Com a utilização de um período maior de anos seria possível gerar compostos de geada total no Sul do Brasil e, assim, fazer uma melhor comparação com os compostos de QAT_{min}.
c) Gerar compostos de eventos extremos de QAT_{min} do Tipo A e C, com o objetivo de verificar se os padrões se assemelham ao Tipo B.
d) Verificar se os compostos de eventos extremos de QAT_{min} do Tipo B ocorridos na região litorânea apresentam padrões diferentes dos obtidos nesta dissertação.
e) Gerar compostos de QAT_{max} e QAT_{med} na Região Sul do Brasil.
f) Realizar um estudo das condições atmosféricas em situações de acentuada elevação da T na região.
g) Verificar se os dados de T em superfície da Reanálise do NCEP/NCAR e da rodada de 50 anos do modelo climático do CPTEC apresentam resultados semelhantes à análise estatística de QAT feita neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Algarve, V. R. **Características da circulação atmosférica associada à ocorrência de geadas no sul do Brasil**. 1994. 137p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

Ambrizzi, T.; Pezza, A. B. Cold waves and the propagation of extratropical cyclones and anticyclones in South America: a synoptic-climatological overview. **Revista Geofísica**, Instituto Panamericano de Geografia e História, v.51, p. 45-67, 1999.

Bischoff, S.; Coronel, A. Características estadísticas de las masas de aire en la topósfera de la región húmeda Argentina. **Geoacta**, v.16, n 2, p.207-219, 1989.

Bonner, W. Climatology of the low level jet. **Monthly Weather Review**, v.98, p.735-744, 1970.

Cavalcanti, I.; Souza, C. The low level jet east of the Andes in the NCEP/NCAP reanalysis and CPTEC/COLA AGCM simulation. In: VAMOS/CLIVAR/WCRP. Conference on South American low level jet. 2002. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. **Proceedings** ... Santa Cruz de la Sierra: SALLJ, 2002. A13.

Celemín, A. H. **Meteorología práctica**. Mar del Plata: Ed. del Autor, 1984. 320p.

Climanálise: edição comemorativa de 10 anos. São José dos Campos: INPE, v. especial, 1996. Disponível em: < http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/index1.shtml >. Acesso em: 29 mar. 2004.

Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática. São José dos Campos: INPE, v.15, n.7, jul. 2000. 40p.

Doty, B. E. et al**. Using the grid analysis and display system**. Maryland: Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions - COLA, 1992.

Escobar, G. **La circulacion en la troposfera asociada con irrupciones de aire frio en el centro de Argentina**. 2001. 136p. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas) - Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 2001.

Escobar, G.; Bischoff, S. Criterio de detección de irrupciones de aire frio emla región central de Argentina a partir de descensos interdiurnos de temperatura. **Meteorológica**, v.26, p.57-68, 2001.

Fedorova, N. **Meteorologia sinótica**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2001. v.2, 242p.

Fortune, M. A. A severidade da grande geada de 1981: uma avaliação por satélite em tempo real. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2. 1983. Pelotas. **Anais** ... Pelotas: SBMET, 1983. v.3, p.179-187.

Fortune, M. A.; Kousky, V. E. Two severe freezes in Brazil: precursors and synoptic evolution. **Monthly Weather Review**, v.111, p.181-196, 1983.

Funatsu, B. M. **Estudo sinótico-dinâmico de ciclogênese usando vorticidade potencial**. 1999. 147p. (INPE-7264-TDI/126). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

Gan, M. A. **Estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil**. 1982. 63p. (INPE-2685-TDI/126). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1982.

Gan, M. A.; Rao, V. Surface cyclogenesis over South America. **Monthly Weather Review**, v.119, n.5, p.1293-1302, 1991.

Gan, M. A.; Rao, V. The influence of the Andes cordillera on transient disturbances. **Monthly Weather Review**, v.122, n. 6, p.1141-1157, 1994.

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, n.1, p.47-66, 2004.

Garreaud, R. D. Cold air incursions over subtropical South America: mean structure and dynamics. **Monthly Weather Review**, v.128, n.7, p.2544-2559, 2000.

GLOBAL CHANGE DATA CENTER – GCDC/NOAA. **Imagem de satélite da Região Sul do Brasil**. Disponível em: < http://tsdis02.nascom.nasa.gov/gcdc/ >. Acesso em: 20 jan. 2004.

Girardi, C. **Previsão de geada baseada em dados fotográficos emitidos por satélites meteorológicos**. São José dos Campos: CTA/IAE, 1975. 41p. (ECA 02/75).

Girardi, C. **O poço dos Andes**. São José dos Campos: CTA/IAE, 1983. 25p. (ECA 01/83).

Goldsworthy, W.J.; Shulman, M. D. A statistical evaluation of near-ground frost processes. **Agriculture and Forest Meteorology**, v.31, p.59-68, 1984.

Grodzki, L. et al. Riscos de ocorrência de geada no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.4, n.1, p.93-99, 1996.

Hartmann, D. L. **Global physical climatology**. New York: Academic Press, 1994. 411p.

Hamilton, M.; Tarifa, J. Synoptic aspects of a polar outbreak leading to frost in tropical Brazil. **Monthly Weather Review**, v.106, n.11, p.1545-1556, 1978.

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

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Brasília. Disponível em: < www.ibge.gov.br >. Acesso em: 29 nov. 2003.

Iribarne, J. V.; Godson, W. L. **Atmospheric thermodynamics**. 3.ed. Hardcover: D. Reidel, 1981. 259p.

Kalnay, E. et al. The NCEP/NCAR 40 year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.77, n.3, p.437-471, 1996.

Kidder, S. Q.; Harr, T. H. V. **Satellite meteorology**. New York: Academic Press, 1995. 466p.

Kousky, V E.; Elias, M. **Meteorologia sinótica: parte I**. São José dos Campos: INPE, 1982. 107p. (INPE-2605-MD/021).

Krishnamurti, T. N.; Chakraborty, D. R.; Marengo, J.; Satyamurty, P.; Silva Dias, P. L.; Tewari, M. Downstream amplification: a possible precursor to major freeze events over southeastern Brazil. **Weather Forecasting**, v.14, p.242-270, 1999.

Lichtenstein, E. Some influences of the Andes Cordillera on the synoptic scale circulation. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 3. 1989. Buenos Aires, Argentina. **Proceedings** ... Buenos Aires, 1989. p.190-191.

Lima, L. C. E.; Satyamurty, P. Um estudo observacional da formação e trajetórias de anticiclones extratropicais na América do Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7. 1992. São Paulo. **Anais** ... São Paulo: SBMET, 1992. v.2, p.706-710.

Marengo, J. A.; Cornejo, A. G.; Oyamburo, N. C.; Cavalcanti I. F. A. Estudo de caso da primeira massa de ar frio em 1996 no sul do Brasil. Observações e resultados do modelo de circulação geral da atmosfera do CPTEC/COLA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.12, n.2, p.09-24, 1997.

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.; Soares, W. Episódio de jatos em baixos níveis durante o período de 13 a 19 de abril de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.1, n.17, p.35-52, 2002.

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.

Mattos, L. F. de. **Frontogênese na América do Sul e precursores de friagem no estado de São Paulo**. 2003. 213p. (INPE-11519-TDI/957). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2003.

Molion, L. C. B.; Ferreira, N. J.; Meira Filho, L. G. **O uso de satélites ambientais para monitoramento de geadas**. São José dos Campos: INPE, 1981. (INPE-2128-RPE/352).

Murakawa, F. E. Geada causa prejuízo de R$ 1 bilhão no Paraná. **Jornal Folha de São Paulo**. São Paulo, 08 ago. 2000.

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

Nocera, J.; Bosart, L.; Knight, D. A climatology and compositing study of cold surges in South America. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 6. 2000. Santiago. **Proceeding** ... Chile, 2000. p.378-379.

Oliveira, R. S. **Frio intenso e congelamento da paisagem em julho de 2000 no planalto da neve**. [s.l, s.n]. Disponível em: < http://planeta.terra.com.br/serviços/ vnw/ventonw/artigo08_cold02.htm >. Acesso em: 24 out. 2004.

Ometto, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425p.

Pezza, A. B.; Ambrizzi, E. 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, n.1, p.23-34, 1999.

Pezza, A. B. **Ondas de frio na América do Sul e as trajetórias dos ciclones e anticiclones extratropicais: climatologia sinótica**. 2003. 396p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

Piva, E. D. **Estudo de caso sobre o papel dos fluxos de calor latente e sensível em superfície em processos de ciclogênese de costa leste ocorrido na costa da América do Sul**. 2001. 158p. (INPE-8498-TDI/781). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

Randel, J. W.; Stanford, J. L. The observed life cycle of a baroclinic instability. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v.42, n.13, p.1364-1373, 1985.

Reinke, R. L.; Gan, M. A.; Ferreira, N. J. Um estudo preliminar de geada ocorrida no Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13. 2004. **Anais** … Fortaleza: SBMET, 2004.

Rosenberg, N. J. **Micro climate: the biological environment**. Wiley-Interscience: 1974. 315p.

Rusticucci, M.; Vargas W. Synoptic situations related to spells of extreme temperatures over Argentina. **Meteorological Applications**, v.2, p.291-300, 1995.

Satyamurty, P.; Etchichury, P. C.; Studzinski, C.; Calbete, N, O.; Lopes, R. R.; Glammelsbacher, I. A. V.; Glammelsbacher, E. A. A primeira friagem de 1990: uma descrição sinótica. **Climanálise**, v.5, n.5, p.43-51, 1990.

Satyamurty, P.; Fonseca, J. F. B.; Bottino, M. J.; Seluchi, M. E.; Louren, M. C. M.; Gonçalves, L. G. G. An early freeze in southern Brazil in April 1999 and its NWP guidance. **Meteorological Applications**, v.8, p.1-16, 2002.

Seluchi, M. E.; Nery, J. T. Condiciones meteorologicas associadas a la ocorrencia de heladas en la region de Maringá. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.7, n.1, p.523-534, 1992.

Seluchi, M E.; Bischoff, S. A.; Lichtenstein, E. Algunas características de los sistemas sinópticos migratorios de presión que afectan a la Argentina. **Meteorológica**, v.10, n.1/2, p.57-66, 1995.

Seluchi, M. E.; Serafini, Y. V.; Le Treut, H. The impact of the Andes on transient atmospheric systems: a comparison between observations and GCM results. **Monthly Weather Review**, v.126, n.4, p.895-912, 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.; Garreaud, R. D; Norte, F. A; Saulo, C. Influência da cordilheira do Andes sobre os sistemas frontais na América do Sul: estudo de caso utilizando o modelo regional ETA/CPTEC. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13. 2004. **Anais** … Fortaleza: SBMET, 2004.

Sentelhas, P. C.; Ortoloni, A. A.; Pezzopane, J. R. M. Estimativa da temperatura mínima de relva e da diferença de temperatura entre abrigo e relva em noites de geada no estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 9. **Anais** … Campos do Jordão: SBMET, 1996, v.1, p.228-231.

Sinclair, M. R. Reply to comments on "Climatology of cyclogenesis for the Southern Hemisphere". **Monthly Weather Review**, v.124, p.2615-2618, 1996.

Tarifa, J. R.; Pinto, H. S.; Alfonsi, R. R.; Pedro Jr, M. J. A gênese dos episódios meteorológicos de julho de 1975 e a cafeicultura no Estado de São Paulo. **Revista Ciência e Cultura**, v.29, n.12, p.1363-1374, 1977.

Tubelis, A.; Nascimento, F. J. L. do. **Meteorologia descritiva**. São Paulo: Nobel, 1992. p.189-197.

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

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

Vianello, R. L.; Alves, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 449 p.

Wadsworth, H. M. **Statistical methods for engineers and scientists**. New York: Mcgraw-Hill Publishing Company**,** 1990.

Yarnal, B.; Comrie, A. C.; Frakes, B.; Brown, D. P. Developments and prospects in synoptic climatology. **International Journal of Climatology**, v.21, p.1923-1950, 2001.

APÊNDICE A

ANEXOS

TABELA A.1 - Valores mensais de $\overline{QAT}_{min}$, $\overline{QAT}_{max}$ e $\overline{QAT}_{med}$, em cada estação meteorológica.

Valores Médios de QATmin						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	inverno
Est_01	-4,4	-5,6	-5,8	-5,7	-5,1	**-5,3**
Est_02	-5,3	-7,5	-7,4	-7,5	-6,5	**-6,8**
Est_03	-4,6	-5,2	-5,5	-5,5	-5,3	**-5,2**
Est_04	-5,2	-6,4	-7,0	-8,2	-7,1	**-6,8**
Est_05	-4,9	-5,6	-5,5	-6,1	-6,0	**-5,6**
Est_06	-5,3	-7,1	-7,0	-7,8	-7,3	**-6,9**
Est_07	-5,9	-7,0	-7,3	-8,2	-7,2	**-7,1**
Est_08	-5,4	-5,6	-5,9	-5,6	-4,8	**-5,5**
Est_09	-6,2	-6,6	-7,6	-8,2	-6,7	**-7,1**
Est_10	-5,8	-6,7	-7,5	-8,0	-7,3	**-7,1**
Est_11	-5,7	-7,0	-7,9	-8,0	-8,0	**-7,3**
Est_12	-5,5	-6,4	-8,9	-6,9	-6,1	**-6,8**
Est_13	-6,1	-6,4	-7,5	-7,7	-6,3	**-6,8**
Est_14	-6,1	-7,0	-7,7	-7,2	-7,8	**-7,2**
Est_15	-5,8	-6,6	-7,0	-6,5	-5,9	**-6,4**
Est_16	-5,1	-5,7	-6,4	-5,9	-5,4	**-5,7**
Est_17	-5,3	-6,1	-7,3	-5,8	-6,5	**-6,2**
Est_18	-5,2	-6,0	-6,4	-7,0	-6,0	**-6,1**
Est_19	-5,0	-5,5	-6,6	-6,6	-5,9	**-5,9**
Est_20	-6,5	-8,8	-8,5	-6,6	-6,2	**-7,3**
Est_21	-6,9	-6,9	-8,1	-7,9	-6,7	**-7,3**
Est_22	-5,6	-5,3	-5,5	-5,9	-5,4	**-5,5**
Est_23	-6,2	-7,4	-7,7	-7,4	-6,7	**-7,1**
Est_24	-6,6	-7,5	-7,5	-6,6	-6,5	**-6,9**
Est_25	-5,6	-6,2	-7,1	-6,8	-5,7	**-6,3**
Est_26	-7,0	-6,7	-8,0	-7,0	-6,4	**-7,0**
Est_27	-7,3	-7,2	-7,6	-6,1	-5,8	**-6,8**
Est_28	-6,4	-6,2	-7,7	-6,9	-6,3	**-6,7**

Valores Médios de QATmax						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	inverno
Est_01	-4,5	-5,4	-6,6	-8,5	-6,3	**-6,3**
Est_02	-5,8	-7,2	-7,6	-10,4	-7,9	**-7,8**
Est_03	-6,3	-7,7	-8,4	-9,9	-7,3	**-7,9**
Est_04	-5,5	-7,0	-7,5	-7,6	-7,2	**-7,0**
Est_05	-5,9	-7,3	-8,5	-9,4	-8,9	**-8,0**
Est_06	-6,4	-8,3	-9,3	-10,2	-9,4	**-8,7**
Est_07	-6,9	-8,8	-10,4	-9,8	-10,1	**-9,2**
Est_08	-5,3	-7,9	-7,3	-8,0	-5,7	**-6,8**
Est_09	-5,8	-6,2	-7,7	-8,2	-10,2	**-7,6**
Est_10	-5,8	-7,1	-7,8	-8,9	-8,6	**-7,6**
Est_11	-6,0	-6,9	-7,5	-8,8	-9,3	**-7,7**
Est_12	-7,3	-7,0	-7,8	-7,6	-8,6	**-7,7**
Est_13	-7,4	-7,8	-8,4	-9,2	-9,2	**-8,4**
Est_14	-5,7	-5,3	-7,7	-8,3	-8,8	**-7,2**
Est_15	-6,2	-6,0	-7,2	-7,9	-7,5	**-7,0**
Est_16	-5,4	-6,3	-5,2	-7,0	-6,5	**-6,1**
Est_17	-7,0	-7,6	-8,1	-8,3	-9,6	**-8,1**
Est_18	-6,2	-7,8	-7,9	-7,9	-8,2	**-7,6**
Est_19	-4,6	-7,2	-6,3	-7,6	-8,1	**-6,8**
Est_20	-7,9	-8,0	-7,8	-8,1	-9,9	**-8,3**
Est_21	-7,4	-6,7	-6,9	-7,6	-8,8	**-7,5**
Est_22	-7,3	-7,3	-7,4	-8,7	-9,4	**-8,0**
Est_23	-7,9	-7,2	-7,3	-8,5	-9,1	**-8,0**
Est_24	-6,7	-6,6	-7,4	-8,6	-9,0	**-7,7**
Est_25	-7,8	-8,5	-9,0	-9,7	-10,2	**-9,0**
Est_26	-7,8	-7,7	-7,6	-8,6	-9,4	**-8,2**
Est_27	-6,5	-7,7	-6,3	-9,1	-10,0	**-7,9**
Est_28	-6,9	-7,8	-8,4	-8,6	-9,3	**-8,2**

Valores Médios de QATmed						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	inverno
Est_01	-3,3	-4,4	-4,8	-6,2	-4,5	**-4,6**
Est_02	-4,8	-6,6	-6,6	-8,3	-6,8	**-6,6**
Est_03	-4,1	-5,3	-4,9	-6,6	-4,7	**-5,1**
Est_04	-4,8	-5,9	-6,2	-7,7	-6,5	**-6,2**
Est_05	-4,3	-5,3	-5,9	-6,3	-5,8	**-5,5**
Est_06	-4,1	-6,7	-6,6	-7,6	-7,1	**-6,4**
Est_07	-4,9	-5,8	-7,3	-8,3	-7,4	**-6,7**
Est_08	-3,7	-5,0	-5,4	-5,4	-4,1	**-4,7**
Est_09	-5,3	-5,3	-6,7	-6,7	-6,6	**-6,1**
Est_10	-4,7	-6,1	-6,9	-7,7	-6,6	**-6,4**
Est_11	-4,8	-6,1	-6,8	-6,6	-6,9	**-6,2**
Est_12	-4,6	-5,8	-6,8	-6,4	-5,9	**-5,9**
Est_13	-4,4	-5,6	-6,7	-5,7	-5,3	**-5,5**
Est_14	-4,8	-5,3	-6,8	-7,0	-7,1	**-6,2**
Est_15	-4,6	-4,9	-6,0	-5,3	-5,9	**-5,3**
Est_16	-3,9	-4,2	-4,6	-4,7	-4,1	**-4,3**
Est_17	-4,5	-5,8	-6,7	-5,7	-6,0	**-5,7**
Est_18	-4,7	-6,0	-6,8	-6,8	-5,8	**-6,0**
Est_19	-3,5	-4,3	-4,9	-5,4	-5,2	**-4,7**
Est_20	-6,3	-6,8	-7,3	-6,3	-7,2	**-6,8**
Est_21	-5,3	-5,7	-6,2	-6,5	-5,7	**-5,9**
Est_22	-5,1	-4,6	-4,8	-5,8	-5,7	**-5,2**
Est_23	-5,5	-6,2	-6,2	-5,7	-6,2	**-6,0**
Est_24	-4,8	-5,4	-6,4	-6,2	-5,9	**-5,7**
Est_25	-5,9	-6,9	-7,5	-7,3	-7,3	**-7,0**
Est_26	-5,6	-7,1	-6,6	-5,9	-6,4	**-6,3**
Est_27	-4,5	-4,9	-4,6	-4,7	-5,5	**-4,8**
Est_28	-5,8	-6,4	-7,1	-6,9	-6,8	**-6,6**

TABELA A.2 - Valores dos limiares ($QAT > \overline{QT} + \bar{\sigma}$) mensais de QAT_{min}, QAT_{max} e QAT_{med}, em cada estação meteorológica.

Limiar de QATmin						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	inverno
Est_01	-3,6	-4,1	-4,3	-4,5	-4,0	**-4,1**
Est_02	-4,0	-5,2	-5,6	-5,9	-5,4	**-5,2**
Est_03	-3,7	-4,3	-4,2	-4,5	-4,1	**-4,2**
Est_04	-3,7	-4,4	-5,2	-5,6	-5,0	**-4,8**
Est_05	-3,7	-4,0	-4,4	-4,4	-4,3	**-4,2**
Est_06	-3,8	-5,3	-5,4	-5,6	-5,6	**-5,1**
Est_07	-4,3	-4,9	-5,7	-5,9	-5,1	**-5,2**
Est_08	-3,7	-4,0	-4,1	-4,0	-3,6	**-3,9**
Est_09	-4,2	-4,8	-5,6	-5,5	-4,8	**-5,0**
Est_10	-4,2	-4,9	-5,6	-6,1	-5,2	**-5,2**
Est_11	-4,2	-4,8	-5,7	-5,5	-5,1	**-5,1**
Est_12	-3,8	-4,7	-5,6	-5,0	-4,7	**-4,8**
Est_13	-4,2	-4,5	-5,6	-5,5	-4,7	**-4,9**
Est_14	-4,4	-4,9	-5,7	-5,4	-5,4	**-5,2**
Est_15	-4,4	-4,9	-5,3	-4,9	-4,8	**-4,9**
Est_16	-3,5	-3,6	-4,4	-4,2	-3,6	**-3,9**
Est_17	-3,9	-4,9	-5,3	-4,4	-4,8	**-4,7**
Est_18	-3,8	-4,3	-5,1	-5,2	-4,4	**-4,6**
Est_19	-3,7	-3,8	-4,8	-4,3	-3,7	**-4,1**
Est_20	-4,4	-5,5	-5,8	-4,8	-4,4	**-5,0**
Est_21	-4,7	-4,8	-5,7	-5,1	-4,6	**-5,0**
Est_22	-3,4	-3,4	-3,9	-3,6	-3,6	**-3,6**
Est_23	-4,7	-4,9	-5,8	-5,1	-4,8	**-5,1**
Est_24	-4,3	-4,9	-5,4	-4,3	-4,2	**-4,6**
Est_25	-4,1	-4,2	-5,1	-4,5	-4,2	**-4,4**
Est_26	-4,3	-4,6	-5,7	-4,8	-4,5	**-4,8**
Est_27	-4,6	-4,4	-4,9	-4,2	-3,9	**-4,4**
Est_28	-4,3	-4,2	-5,2	-4,5	-4,7	**-4,6**

Limiar de QATmax						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	inverno
Est_01	-3,2	-3,7	-3,8	-5,5	-4,5	**-4,1**
Est_02	-4,2	-5,4	-5,7	-7,4	-6,1	**-5,8**
Est_03	-4,1	-5,4	-5,6	-6,7	-5,3	**-5,4**
Est_04	-4,2	-5,2	-5,6	-6,0	-5,8	**-5,4**
Est_05	-4,5	-5,6	-6,5	-7,0	-6,5	**-6,0**
Est_06	-4,6	-6,2	-6,7	-7,5	-7,0	**-6,4**
Est_07	-4,7	-6,6	-7,3	-7,4	-7,5	**-6,7**
Est_08	-3,6	-5,1	-4,9	-5,1	-3,8	**-4,5**
Est_09	-4,7	-4,8	-5,8	-6,1	-7,2	**-5,7**
Est_10	-4,5	-5,3	-5,8	-6,8	-6,5	**-5,8**
Est_11	-4,8	-5,5	-5,9	-6,4	-6,8	**-5,9**
Est_12	-5,6	-5,4	-6,0	-6,1	-6,6	**-5,9**
Est_13	-5,3	-5,8	-6,1	-6,9	-7,3	**-6,3**
Est_14	-4,3	-4,2	-5,3	-6,1	-6,3	**-5,2**
Est_15	-4,6	-4,7	-5,3	-5,9	-5,7	**-5,2**
Est_16	-3,6	-4,3	-3,7	-4,8	-4,3	**-4,1**
Est_17	-5,0	-5,2	-6,0	-6,2	-6,9	**-5,9**
Est_18	-4,6	-5,4	-5,8	-5,7	-6,5	**-5,6**
Est_19	-3,4	-5,1	-4,5	-5,3	-5,0	**-4,7**
Est_20	-5,6	-5,6	-5,3	-6,1	-7,5	**-6,0**
Est_21	-5,6	-4,8	-5,5	-5,6	-6,3	**-5,6**
Est_22	-5,3	-5,2	-5,3	-5,8	-7,3	**-5,8**
Est_23	-5,8	-5,6	-5,8	-6,4	-7,1	**-6,1**
Est_24	-4,9	-5,0	-5,8	-6,0	-6,9	**-5,7**
Est_25	-5,9	-5,7	-6,1	-6,3	-7,9	**-6,4**
Est_26	-5,5	-5,7	-6,0	-6,4	-7,2	**-6,2**
Est_27	-4,9	-5,0	-5,1	-5,9	-8,0	**-5,8**
Est_28	-5,4	-5,7	-5,9	-6,5	-7,0	**-6,1**

Limiar de QATmed						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	inverno
Est_01	-2,6	-3,3	-3,6	-4,1	-3,4	**-3,4**
Est_02	-3,7	-5,1	-5,4	-6,4	-5,2	**-5,2**
Est_03	-3,0	-3,8	-3,8	-4,4	-3,6	**-3,7**
Est_04	-3,7	-4,5	-5,0	-5,9	-4,9	**-4,8**
Est_05	-2,9	-3,7	-4,4	-4,5	-4,3	**-4,0**
Est_06	-3,0	-4,8	-5,2	-5,6	-5,2	**-4,8**
Est_07	-3,7	-4,4	-5,4	-5,9	-5,2	**-4,9**
Est_08	-2,7	-3,7	-3,6	-3,7	-3,0	**-3,3**
Est_09	-3,6	-3,6	-4,6	-4,9	-4,9	**-4,3**
Est_10	-3,5	-4,4	-5,4	-5,8	-5,0	**-4,8**
Est_11	-3,5	-4,0	-4,9	-4,9	-4,8	**-4,4**
Est_12	-3,6	-4,1	-5,1	-4,9	-4,7	**-4,5**
Est_13	-3,4	-3,9	-4,2	-4,5	-4,0	**-4,0**
Est_14	-3,5	-3,8	-4,9	-5,1	-4,8	**-4,4**
Est_15	-3,5	-3,5	-4,2	-3,8	-4,1	**-3,8**
Est_16	-2,5	-3,0	-3,2	-3,3	-3,2	**-3,0**
Est_17	-3,2	-4,0	-4,5	-3,9	-4,5	**-4,0**
Est_18	-3,5	-4,2	-4,9	-5,1	-4,4	**-4,4**
Est_19	-2,6	-3,2	-3,6	-3,7	-3,5	**-3,3**
Est_20	-4,4	-4,5	-4,9	-4,5	-5,3	**-4,7**
Est_21	-3,8	-3,7	-4,3	-4,1	-4,2	**-4,0**
Est_22	-3,4	-3,3	-3,7	-3,7	-4,3	**-3,7**
Est_23	-3,7	-4,0	-4,5	-4,0	-4,5	**-4,1**
Est_24	-3,6	-3,9	-4,4	-4,2	-4,6	**-4,1**
Est_25	-4,1	-4,4	-4,9	-4,8	-5,3	**-4,7**
Est_26	-3,9	-4,4	-4,8	-4,3	-4,8	**-4,4**
Est_27	-3,2	-3,4	-3,4	-3,3	-3,8	**-3,4**
Est_28	-4,2	-4,5	-5,1	-4,6	-4,9	**-4,7**

TABELA A.3 - Valores dos limiares ($QAT > \overline{QT} + 2\bar{\sigma}$) mensais de eventos extremos de QAT_{min}, QAT_{max} e QAT_{med}, em cada estação meteorológica.

Limiar de eventos extremos de QATmin						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	inverno
Est_01	-5,1	-5,9	-6,0	-6,5	-5,6	**-5,8**
Est_02	-5,7	-7,5	-8,0	-8,5	-7,6	**-7,5**
Est_03	-5,2	-6,0	-5,9	-6,3	-5,7	**-5,8**
Est_04	-5,4	-6,4	-7,4	-8,3	-7,3	**-7,0**
Est_05	-5,3	-5,7	-6,1	-6,4	-6,3	**-6,0**
Est_06	-5,6	-7,5	-7,7	-8,3	-8,1	**-7,4**
Est_07	-6,2	-7,1	-8,2	-8,6	-7,5	**-7,5**
Est_08	-5,5	-5,9	-6,0	-5,8	-5,3	**-5,7**
Est_09	-6,2	-6,9	-8,3	-8,3	-7,0	**-7,3**
Est_10	-6,0	-7,2	-8,1	-8,8	-7,5	**-7,5**
Est_11	-6,1	-7,1	-8,5	-8,1	-7,5	**-7,5**
Est_12	-5,5	-6,9	-8,2	-7,3	-6,8	**-6,9**
Est_13	-6,1	-6,5	-8,2	-8,0	-6,8	**-7,1**
Est_14	-6,4	-7,1	-8,3	-7,8	-7,9	**-7,5**
Est_15	-6,3	-7,1	-7,6	-7,1	-6,9	**-7,0**
Est_16	-5,1	-5,2	-6,4	-6,1	-5,3	**-5,7**
Est_17	-5,6	-7,0	-7,8	-6,4	-7,0	**-6,8**
Est_18	-5,5	-6,2	-7,1	-7,5	-6,4	**-6,5**
Est_19	-5,4	-5,4	-7,0	-6,4	-5,4	**-5,9**
Est_20	-6,6	-8,3	-8,8	-7,1	-6,4	**-7,4**
Est_21	-6,9	-7,1	-8,4	-7,7	-6,8	**-7,4**
Est_22	-5,1	-5,1	-5,7	-5,4	-5,3	**-5,3**
Est_23	-6,9	-7,2	-8,5	-7,7	-7,0	**-7,5**
Est_24	-6,3	-7,2	-8,0	-6,4	-6,2	**-6,8**
Est_25	-6,0	-6,3	-7,6	-6,7	-6,1	**-6,5**
Est_26	-6,4	-6,9	-8,5	-7,1	-6,5	**-7,1**
Est_27	-6,9	-6,6	-7,3	-6,3	-5,7	**-6,6**
Est_28	-6,4	-6,2	-7,8	-6,8	-6,8	**-6,8**

Limiar de eventos extremos de QATmax						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	inverno
Est_01	-4,7	-5,4	-5,6	-8,1	-6,5	**-6,1**
Est_02	-6,0	-7,8	-8,0	-10,7	-8,7	**-8,2**
Est_03	-6,1	-7,8	-8,1	-10,0	-7,7	**-7,9**
Est_04	-6,0	-7,5	-8,1	-8,8	-8,6	**-7,8**
Est_05	-6,6	-8,0	-9,2	-10,1	-9,5	**-8,7**
Est_06	-6,7	-9,2	-9,7	-10,9	-10,1	**-9,3**
Est_07	-6,9	-9,6	-10,7	-10,8	-10,8	**-9,8**
Est_08	-5,3	-7,6	-7,3	-7,7	-5,6	**-6,7**
Est_09	-6,7	-7,0	-8,4	-8,9	-10,4	**-8,3**
Est_10	-6,5	-7,7	-8,3	-9,7	-9,2	**-8,3**
Est_11	-6,9	-8,0	-8,4	-9,4	-9,7	**-8,5**
Est_12	-8,1	-7,8	-8,6	-8,8	-9,4	**-8,5**
Est_13	-7,7	-8,4	-8,7	-9,8	-10,4	**-9,0**
Est_14	-6,1	-6,0	-7,6	-8,9	-9,1	**-7,5**
Est_15	-6,7	-6,8	-7,8	-8,7	-8,3	**-7,7**
Est_16	-5,3	-6,2	-5,3	-7,2	-6,3	**-6,0**
Est_17	-7,4	-7,7	-8,7	-9,1	-10,1	**-8,6**
Est_18	-6,7	-7,8	-8,3	-8,3	-9,1	**-8,0**
Est_19	-4,9	-7,4	-6,5	-7,7	-7,4	**-6,8**
Est_20	-8,4	-8,4	-7,9	-9,1	-10,7	**-8,9**
Est_21	-8,1	-7,1	-7,9	-8,2	-9,2	**-8,1**
Est_22	-7,9	-7,7	-7,6	-8,8	-10,6	**-8,5**
Est_23	-8,5	-8,3	-8,4	-9,5	-10,3	**-9,0**
Est_24	-7,2	-7,3	-8,4	-8,9	-10,0	**-8,4**
Est_25	-8,7	-8,7	-9,1	-9,6	-11,6	**-9,5**
Est_26	-8,2	-8,5	-8,7	-9,4	-10,3	**-9,0**
Est_27	-7,1	-7,5	-7,5	-8,9	-11,5	**-8,5**
Est_28	-7,9	-8,6	-8,8	-9,7	-10,2	**-9,0**

Limiar de eventos extremos de QATmed						
	maio	junho	julho	agosto	setembro	inverno
Est_01	-3,7	-4,7	-5,1	-6,0	-4,8	**-4,9**
Est_02	-5,2	-7,2	-7,3	-9,0	-7,3	**-7,3**
Est_03	-4,5	-5,5	-5,4	-6,3	-5,1	**-5,4**
Est_04	-5,3	-6,5	-7,0	-8,3	-6,9	**-6,9**
Est_05	-4,2	-5,3	-6,3	-6,5	-6,2	**-5,8**
Est_06	-4,4	-7,1	-7,4	-8,2	-7,6	**-6,9**
Est_07	-5,3	-6,5	-7,8	-8,6	-7,6	**-7,2**
Est_08	-3,9	-5,4	-5,3	-5,5	-4,3	**-4,9**
Est_09	-5,3	-5,3	-6,9	-7,2	-7,1	**-6,4**
Est_10	-5,1	-6,4	-7,6	-8,4	-7,2	**-6,9**
Est_11	-5,1	-5,9	-7,3	-7,3	-7,0	**-6,5**
Est_12	-5,3	-6,0	-7,5	-7,1	-6,7	**-6,5**
Est_13	-4,9	-5,7	-6,1	-6,3	-5,8	**-5,8**
Est_14	-5,1	-5,5	-7,2	-7,4	-7,1	**-6,5**
Est_15	-5,0	-5,0	-6,2	-5,5	-5,9	**-5,5**
Est_16	-3,7	-4,4	-4,7	-4,8	-4,7	**-4,4**
Est_17	-4,7	-5,8	-6,6	-5,8	-6,6	**-5,9**
Est_18	-5,2	-6,1	-7,1	-7,3	-6,4	**-6,4**
Est_19	-3,8	-4,6	-5,2	-5,4	-5,2	**-4,8**
Est_20	-6,6	-6,7	-7,4	-6,7	-7,7	**-7,0**
Est_21	-5,6	-5,5	-6,4	-6,1	-6,1	**-5,9**
Est_22	-5,1	-4,9	-5,3	-5,5	-6,3	**-5,5**
Est_23	-5,5	-5,9	-6,6	-5,9	-6,5	**-6,1**
Est_24	-5,2	-5,7	-6,5	-6,2	-6,6	**-6,0**
Est_25	-6,1	-6,7	-7,3	-7,1	-7,8	**-7,0**
Est_26	-5,9	-6,6	-7,1	-6,4	-6,9	**-6,6**
Est_27	-4,7	-5,1	-5,0	-4,9	-5,5	**-5,0**
Est_28	-6,2	-6,7	-7,6	-6,8	-7,1	**-6,9**

TABELA A.4 - Porcentagem sobre o total de $\overline{QAT}_{min}$ do Tipo A, B e C.

MÊS	QATmin	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	INV	MÊS	QATmin	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	INV
ESTAÇÕES	TIPO	%	%	%	%	%	%	ESTAÇÕES	TIPO	%	%	%	%	%	%
	A	16,0	27,8	21,4	17,4	15,8	19,7		A	4,8	0,0	5,3	11,1	4,5	5,1
Est_01	**B**	**56,0**	**55,6**	**71,4**	**56,5**	**57,9**	**59,5**	Est_15	**B**	**71,4**	**65,0**	**63,2**	**61,1**	**54,5**	**63,0**
	C	28,0	16,7	7,2	26,1	26,3	20,9		C	23,8	35,0	31,6	27,8	40,9	31,8
	A	15,0	35,7	5,6	10,0	26,1	18,5		A	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7
Est_02	**B**	**60,0**	**28,6**	**66,7**	**75,0**	**52,2**	**56,5**	Est_16	**B**	**73,3**	**80,0**	**62,5**	**58,8**	**66,7**	**68,3**
	C	25,0	35,7	27,8	15,0	21,7	25,0		C	13,3	20,0	37,5	41,2	33,3	29,1
	A	21,1	22,7	15,0	15,0	33,3	21,4		A	30,0	18,2	5,0	9,5	6,3	13,8
Est_03	**B**	**36,8**	**36,4**	**75,0**	**55,0**	**44,4**	**49,5**	Est_17	**B**	**55,0**	**54,5**	**80,0**	**61,9**	**62,5**	**62,8**
	C	42,1	40,9	10,0	30,0	22,2	29,0		C	15,0	27,3	15,0	28,6	31,3	23,4
	A	22,2	18,8	11,8	6,3	13,3	14,5		A	33,3	5,6	10,0	16,7	15,0	16,1
Est_04	**B**	**61,1**	**62,5**	**64,7**	**81,3**	**73,3**	**68,6**	Est_18	**B**	**33,3**	**61,1**	**60,0**	**50,0**	**45,0**	**49,9**
	C	16,7	18,8	23,5	12,5	13,3	17,0		C	33,3	33,3	30,0	33,3	40,0	34,0
	A	5,3	20,0	16,7	18,8	5,6	13,2		A	27,8	7,1	5,9	6,7	0,0	9,5
Est_05	**B**	**68,4**	**40,0**	**55,6**	**50,0**	**88,9**	**60,6**	Est_19	**B**	**50,0**	**42,9**	**64,7**	**46,7**	**69,2**	**54,7**
	C	26,3	40,0	27,8	31,3	5,6	26,2		C	22,2	50,0	29,4	46,7	30,8	35,8
	A	14,3	28,6	23,5	10,5	22,7	19,9		A	0,0	0,0	0,0	11,8	5,9	3,5
Est_06	**B**	**66,7**	**57,1**	**58,8**	**78,9**	**68,2**	**66,0**	Est_20	**B**	**76,5**	**53,8**	**82,4**	**58,8**	**58,8**	**66,1**
	C	19,0	14,3	17,6	10,5	9,1	14,1		C	23,5	46,2	17,6	29,4	35,3	30,4
	A	25,0	25,0	10,5	11,1	22,2	18,8		A	6,3	5,9	0,0	0,0	25,0	7,4
Est_07	**B**	**60,0**	**55,0**	**57,9**	**72,2**	**55,6**	**60,1**	Est_21	**B**	**56,3**	**70,6**	**77,8**	**66,7**	**50,0**	**64,3**
	C	15,0	20,0	31,6	16,7	22,2	21,1		C	37,5	23,5	22,2	33,3	25,0	28,3
	A	5,6	0,0	23,1	6,3	15,0	10,0		A	7,1	6,7	0,0	9,1	20,0	8,6
Est_08	**B**	**72,2**	**72,2**	**69,2**	**75,0**	**55,0**	**68,7**	Est_22	**B**	**71,4**	**53,3**	**61,1**	**63,6**	**53,3**	**60,6**
	C	22,2	27,8	7,7	18,8	30,0	21,3		C	21,4	40,0	38,9	27,3	26,7	30,9
	A	6,3	6,7	20,0	6,7	17,6	11,4		A	8,3	7,1	0,0	10,5	5,6	6,3
Est_09	**B**	**75,0**	**60,0**	**65,0**	**60,0**	**64,7**	**64,9**	Est_23	**B**	**62,5**	**64,3**	**70,0**	**63,2**	**50,0**	**62,0**
	C	18,8	33,3	15,0	33,3	17,6	23,6		C	29,2	28,6	30,0	26,3	44,4	31,7
	A	27,8	10,5	16,7	5,6	18,8	15,9		A	0,0	7,1	11,1	7,1	21,4	9,4
Est_10	**B**	**61,1**	**63,2**	**55,6**	**72,2**	**62,5**	**62,9**	Est_24	**B**	**53,3**	**64,3**	**61,1**	**57,1**	**57,1**	**58,6**
	C	11,1	26,3	27,8	22,2	18,8	21,2		C	46,7	28,6	27,8	35,7	21,4	32,0
	A	5,9	5,9	5,3	0,0	15,4	6,5		A	4,8	0,0	5,6	13,3	33,3	11,4
Est_11	**B**	**70,6**	**64,7**	**84,2**	**85,7**	**69,2**	**74,9**	Est_25	**B**	**61,9**	**66,7**	**66,7**	**60,0**	**50,0**	**61,0**
	C	23,5	29,4	10,5	14,3	15,4	18,6		C	33,3	33,3	27,8	26,7	16,7	27,6
	A	6,3	5,6	0,0	5,9	10,0	5,5		A	0,0	11,1	0,0	7,1	12,5	6,2
Est_12	**B**	**68,8**	**55,6**	**86,7**	**70,6**	**45,0**	**65,3**	Est_26	**B**	**75,0**	**66,7**	**78,9**	**78,6**	**50,0**	**69,8**
	C	25,0	38,9	13,3	23,5	45,0	29,2		C	25,0	22,2	21,1	14,3	37,5	24,0
	A	17,6	6,3	11,1	0,0	5,3	8,1		A	0,0	7,1	14,3	5,9	0,0	5,5
Est_13	**B**	**52,9**	**50,0**	**77,8**	**80,0**	**63,2**	**64,8**	Est_27	**B**	**86,7**	**78,6**	**64,3**	**82,4**	**78,6**	**78,1**
	C	29,4	43,8	11,1	20,0	31,6	27,2		C	13,3	14,3	21,4	11,8	21,4	16,4
	A	11,1	6,3	6,3	11,1	7,7	8,5		A	0,0	7,1	0,0	0,0	23,5	6,1
Est_14	**B**	**66,7**	**81,3**	**68,8**	**44,4**	**69,2**	**66,1**	Est_28	**B**	**87,5**	**50,0**	**76,5**	**68,8**	**52,9**	**67,1**
	C	22,2	12,5	25,0	44,4	23,1	25,4		C	12,5	42,9	23,5	31,3	23,5	26,7

TABELA A.5 - Idem à Figura A.4, exceto $\overline{QAT}_{max}$.

MÊS	QATmax	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	MED	MÊS	QATmax	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	INV
ESTAÇÕES	TIPO	%	%	%	%	%	%	ESTAÇÕES	TIPO	%	%	%	%	%	%
	A	25,0	25,0	14,3	23,1	21,4	21,8		A	15,0	8,3	25,0	14,3	19,0	16,3
Est_01	**B**	**62,5**	**62,5**	**71,4**	**76,9**	**71,4**	**69,0**	Est_15	**B**	**75,0**	**62,5**	**60,0**	**66,7**	**66,7**	**66,2**
	C	12,5	12,5	14,3	0,0	7,1	9,3		C	10,0	29,2	15,0	19,0	14,3	17,5
	A	37,5	6,3	26,7	7,7	25,0	20,6		A	13,3	14,3	33,3	13,3	9,1	16,7
Est_02	**B**	**50,0**	**75,0**	**60,0**	**92,3**	**68,8**	**69,2**	Est_16	**B**	**80,0**	**85,7**	**44,4**	**80,0**	**90,9**	**76,2**
	C	12,5	18,8	13,3	0,0	6,3	10,2		C	6,7	0,0	22,2	6,7	0,0	7,1
	A	26,7	37,5	8,3	35,3	25,0	26,6		A	6,7	8,3	0,0	0,0	0,0	3,0
Est_03	**B**	**73,3**	**50,0**	**83,3**	**64,7**	**75,0**	**69,3**	Est_17	**B**	**80,0**	**66,7**	**76,9**	**76,9**	**84,6**	**77,0**
	C	0,0	12,5	8,3	0,0	0,0	4,2		C	13,3	25,0	23,1	23,1	15,4	20,0
	A	16,7	17,6	18,8	13,6	18,2	17,0		A	10,5	8,3	0,0	7,7	33,3	12,0
Est_04	**B**	**72,2**	**64,7**	**75,0**	**81,8**	**68,2**	**72,4**	Est_18	**B**	**63,2**	**66,7**	**66,7**	**61,5**	**66,7**	**64,9**
	C	11,1	17,6	6,3	4,5	13,6	10,6		C	26,3	25,0	33,3	30,8	0,0	23,1
	A	10,0	36,8	25,0	23,5	25,0	24,1		A	33,3	6,3	5,6	6,7	0,0	10,4
Est_05	**B**	**75,0**	**57,9**	**75,0**	**76,5**	**75,0**	**71,9**	Est_19	**B**	**61,9**	**87,5**	**77,8**	**80,0**	**100,0**	**81,4**
	C	15,0	5,3	0,0	0,0	0,0	4,1		C	4,8	6,3	16,7	13,3	0,0	8,2
	A	14,3	17,6	14,3	0,0	18,8	13,0		A	5,3	6,7	0,0	5,3	6,7	4,8
Est_06	**B**	**71,4**	**76,5**	**85,7**	**81,3**	**81,3**	**79,2**	Est_20	**B**	**84,2**	**66,7**	**93,8**	**84,2**	**93,3**	**84,4**
	C	14,3	5,9	0,0	18,8	0,0	7,8		C	10,5	26,7	6,3	10,5	0,0	10,8
	A	10,5	11,8	12,5	15,0	25,0	15,0		A	5,9	0,0	0,0	0,0	5,9	2,4
Est_07	**B**	**84,2**	**82,4**	**87,5**	**75,0**	**75,0**	**80,8**	Est_21	**B**	**88,2**	**75,0**	**89,5**	**76,5**	**88,2**	**83,5**
	C	5,3	5,9	0,0	10,0	0,0	4,2		C	5,9	25,0	10,5	23,5	5,9	14,2
	A	37,5	42,9	35,7	30,8	13,3	32,0		A	5,0	5,6	0,0	0,0	0,0	2,1
Est_08	**B**	**50,0**	**57,1**	**50,0**	**69,2**	**73,3**	**59,9**	Est_22	**B**	**80,0**	**77,8**	**92,9**	**73,3**	**94,4**	**83,7**
	C	12,5	0,0	14,3	0,0	13,3	8,0		C	15,0	16,7	7,1	26,7	5,6	14,2
	A	14,3	13,6	0,0	0,0	7,1	7,0		A	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,8
Est_09	**B**	**57,1**	**63,6**	**82,4**	**78,9**	**78,6**	**72,1**	Est_23	**B**	**82,4**	**69,6**	**76,0**	**85,7**	**89,5**	**80,6**
	C	28,6	22,7	17,6	21,1	14,3	20,9		C	17,6	30,4	20,0	14,3	10,5	18,6
	A	22,7	20,0	7,7	7,7	15,4	14,7		A	5,6	5,3	9,5	5,9	15,0	8,2
Est_10	**B**	**50,0**	**66,7**	**92,3**	**92,3**	**76,9**	**75,6**	Est_24	**B**	**83,3**	**63,2**	**81,0**	**70,6**	**80,0**	**75,6**
	C	27,3	13,3	0,0	0,0	7,7	9,7		C	11,1	31,6	9,5	23,5	5,0	16,1
	A	13,0	21,7	10,0	6,3	7,1	11,6		A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Est_11	**B**	**65,2**	**52,2**	**70,0**	**75,0**	**85,7**	**69,6**	Est_25	**B**	**85,0**	**75,0**	**86,7**	**78,6**	**94,4**	**83,9**
	C	21,7	26,1	20,0	18,8	7,1	18,7		C	15,0	25,0	13,3	21,4	5,6	16,1
	A	16,7	30,0	11,8	18,2	13,3	18,0		A	5,3	5,3	0,0	0,0	0,0	2,1
Est_12	**B**	**77,8**	**50,0**	**64,7**	**63,6**	**86,7**	**68,6**	Est_26	**B**	**84,2**	**73,7**	**78,9**	**83,3**	**100,0**	**84,0**
	C	5,6	20,0	23,5	18,2	0,0	13,5		C	10,5	21,1	21,1	16,7	0,0	13,9
	A	18,8	27,8	6,3	0,0	15,8	13,7		A	5,9	0,0	0,0	7,1	0,0	2,6
Est_13	**B**	**62,5**	**61,1**	**93,8**	**93,3**	**84,2**	**79,0**	Est_27	**B**	**64,7**	**78,6**	**79,2**	**85,7**	**93,3**	**80,3**
	C	18,8	11,1	0,0	6,7	0,0	7,3		C	29,4	21,4	20,8	7,1	6,7	17,1
	A	12,5	28,6	8,3	6,3	6,3	12,4		A	4,3	5,9	6,3	0,0	7,1	4,7
Est_14	**B**	**62,5**	**42,9**	**75,0**	**62,5**	**75,0**	**63,6**	Est_28	**B**	**82,6**	**76,5**	**75,0**	**78,9**	**92,9**	**81,2**
	C	25,0	28,6	16,7	31,3	18,8	24,0		C	13,0	17,6	18,8	21,1	0,0	14,1

TABELA A.6 - Idem à Figura A.4, exceto $\overline{QAT}_{med}$.

MÊS	QATmed	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	INV	MÊS	QATmed	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	INV
ESTAÇÕES	TIPO	%	%	%	%	%	%	ESTAÇÕES	TIPO	%	%	%	%	%	%
	A	29,2	29,4	25,0	28,6	23,5	27,1		A	15,8	23,5	20,0	23,5	28,6	22,3
Est_01	**B**	**41,7**	**58,8**	**68,8**	**64,3**	**70,6**	**60,8**	Est_15	**B**	**57,9**	**52,9**	**60,0**	**52,9**	**50,0**	**54,8**
	C	29,2	11,8	6,3	7,1	5,9	12,0		C	26,3	23,5	20,0	23,5	21,4	23,0
	A	38,5	15,4	14,3	7,7	33,3	21,8		A	33,3	22,2	13,3	12,5	22,2	20,7
Est_02	**B**	**46,2**	**61,5**	**64,3**	**76,9**	**60,0**	**61,8**	Est_16	**B**	**55,6**	**66,7**	**80,0**	**75,0**	**66,7**	**68,8**
	C	15,4	23,1	21,4	15,4	6,7	16,4		C	11,1	11,1	6,7	12,5	11,1	10,5
	A	33,3	38,9	20,0	16,7	31,6	28,1		A	21,1	14,3	0,0	5,0	23,5	12,8
Est_03	**B**	**46,7**	**44,4**	**65,0**	**83,3**	**68,4**	**61,6**	Est_17	**B**	**57,9**	**57,1**	**78,6**	**70,0**	**58,8**	**64,5**
	C	20,0	16,7	15,0	0,0	0,0	10,3		C	21,1	28,6	21,4	25,0	17,6	22,7
	A	0,0	11,8	20,0	0,0	16,7	9,7		A	23,8	6,3	11,8	13,3	28,6	16,7
Est_04	**B**	**71,4**	**52,9**	**66,7**	**75,0**	**75,0**	**68,2**	Est_18	**B**	**47,6**	**68,8**	**58,8**	**53,3**	**42,9**	**54,3**
	C	28,6	35,3	13,3	25,0	8,3	22,1		C	28,6	25,0	29,4	33,3	28,6	29,0
	A	22,2	24,0	23,5	21,4	21,4	22,5		A	27,3	13,6	5,6	12,5	13,3	14,5
Est_05	**B**	**66,7**	**64,0**	**64,7**	**78,6**	**64,3**	**67,6**	Est_19	**B**	**45,5**	**68,2**	**77,8**	**62,5**	**86,7**	**68,1**
	C	11,1	12,0	11,8	0,0	14,3	9,8		C	27,3	18,2	16,7	25,0	0,0	17,4
	A	31,6	37,5	37,5	11,1	31,3	29,8		A	17,6	0,0	6,3	12,5	20,0	11,3
Est_06	**B**	**52,6**	**50,0**	**56,3**	**88,9**	**56,3**	**60,8**	Est_20	**B**	**58,8**	**57,1**	**75,0**	**68,8**	**73,3**	**66,6**
	C	15,8	12,5	6,3	0,0	12,5	9,4		C	23,5	42,9	18,8	18,8	6,7	22,1
	A	40,0	32,0	5,6	29,4	41,2	29,6		A	5,0	8,3	0,0	0,0	12,5	5,2
Est_07	**B**	**45,0**	**48,0**	**83,3**	**70,6**	**41,2**	**57,6**	Est_21	**B**	**75,0**	**50,0**	**73,7**	**66,7**	**68,8**	**66,8**
	C	15,0	20,0	11,1	0,0	17,6	12,8		C	20,0	41,7	26,3	33,3	18,8	28,0
	A	30,0	33,3	0,0	15,4	13,3	18,4		A	17,6	17,6	17,6	14,3	5,6	14,6
Est_08	**B**	**45,0**	**55,6**	**92,9**	**53,8**	**60,0**	**61,5**	Est_22	**B**	**82,4**	**41,2**	**64,7**	**64,3**	**72,2**	**64,9**
	C	25,0	11,1	7,1	30,8	26,7	20,1		C	0,0	41,2	17,6	21,4	22,2	20,5
	A	7,1	6,7	10,5	0,0	20,0	8,9		A	0,0	0,0	11,1	20,0	18,8	10,0
Est_09	**B**	**71,4**	**66,7**	**63,2**	**76,5**	**60,0**	**67,5**	Est_23	**B**	**83,3**	**84,6**	**61,1**	**46,7**	**62,5**	**67,6**
	C	21,4	26,7	26,3	23,5	20,0	23,6		C	16,7	15,4	27,8	33,3	18,8	22,4
	A	38,1	27,8	14,3	18,8	23,5	24,5		A	29,4	5,9	6,7	7,7	31,3	16,2
Est_10	**B**	**38,1**	**50,0**	**64,3**	**68,8**	**52,9**	**54,8**	Est_24	**B**	**47,1**	**58,8**	**80,0**	**84,6**	**56,3**	**65,3**
	C	23,8	22,2	21,4	12,5	23,5	20,7		C	23,5	35,3	13,3	7,7	12,5	18,5
	A	16,7	7,1	5,0	5,3	7,7	8,4		A	18,8	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8
Est_11	**B**	**66,7**	**50,0**	**70,0**	**73,7**	**53,8**	**62,8**	Est_25	**B**	**62,5**	**92,3**	**100,0**	**75,0**	**80,0**	**82,0**
	C	16,7	42,9	25,0	21,1	38,5	28,8		C	18,8	7,7	0,0	25,0	20,0	14,3
	A	30,8	11,8	5,0	5,9	23,5	15,4		A	14,3	8,3	5,9	31,6	17,6	15,5
Est_12	**B**	**50,0**	**64,7**	**65,0**	**70,6**	**47,1**	**59,5**	Est_26	**B**	**76,2**	**75,0**	**70,6**	**47,4**	**58,8**	**65,6**
	C	19,2	23,5	30,0	23,5	29,4	25,1		C	9,5	16,7	23,5	21,1	23,5	18,9
	A	25,0	20,0	26,7	12,5	33,3	23,5		A	27,8	5,9	10,0	0,0	9,1	10,6
Est_13	**B**	**60,0**	**66,7**	**66,7**	**68,8**	**38,1**	**60,0**	Est_27	**B**	**61,1**	**52,9**	**60,0**	**87,5**	**63,6**	**65,0**
	C	15,0	13,3	6,7	18,8	28,6	16,5		C	11,1	41,2	30,0	12,5	27,3	24,4
	A	15,8	11,1	11,8	12,5	0,0	10,2		A	17,6	14,3	6,7	7,7	5,9	10,4
Est_14	**B**	**52,6**	**61,1**	**70,6**	**50,0**	**64,3**	**59,7**	Est_28	**B**	**76,5**	**64,3**	**80,0**	**76,9**	**82,4**	**76,0**
	C	31,6	27,8	17,6	37,5	35,7	30,0		C	5,9	21,4	13,3	15,4	11,8	13,6

FIGURA A.1 - Neve em São José dos Ausentes (RS) em 12 de julho de 2000.
FONTE: Oliveira (2004).

FIGURA A.2 - Rio e vegetação congelados em São Joaquim (SC) em 14 de julho de 2000.
FONTE: Oliveira (2004).

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

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

Notas Técnico-Científicas (NTC)

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

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

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

Publicações Seriadas

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

Pré-publicações (PRE)

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

Manuais Técnicos (MAN)

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

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

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

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Programas de Computador (PDC)

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

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