



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-9946-TDI/879

**ANÁLISE DOS BALANÇOS DE VORTICIDADE, CALOR E
UMIDADE NO MODELO GLOBAL DO CPTEC/COLA PARA
PREVISÃO DE TEMPO**

Renata Weissmann Borges Mendonça

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo
Dr. José Paulo Bonatti, aprovada em 28 de fevereiro de 2000.

551.555

MENDONÇA, R. W. B.

Análises dos balanços de vorticidade, calor e umidade no modelo global do CPTEC/COLA para previsão de tempo/
R. W. B. Mendonça. – São José dos Campos: INPE, 2000.
178p. – (INPE-9946-TDI/879).

1.Vorticidade. 2.Umidade atmosférica. 3.Balanço do calor atmosférico. 4.Fontes de calor. 5.Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA). I.Título

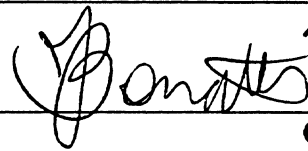
Aprovada pela Banca Examinadora em
cumprimento a requisito exigido para a
obtenção do Título de Mestre em
Meteorologia.

Dr. Prakki Satyamurty



Presidente

Dr. José Paulo Bonatti



Orientador

Dr. Sérgio Henrique Franchito



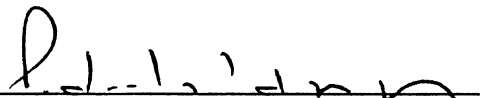
Membro da Banca

Dr. Vadlamudi Brahmananda Rao



Membro da Banca

Dr. Pedro Leite da Silva Dias



Membro da Banca
Convidado

Candidata: Renata Weissmann Borges Mendonça

São José dos Campos, 28 de fevereiro de 2000.

*“Sempre é difícil nascer. A ave tem que sofrer para sair do ovo, isso você sabe.
Mas volte o olhar para trás e pergunte a si mesmo se foi de fato tão penoso o caminho.
Difícil apenas? Não terá sido belo também?”*

Hermann Hesse

*A Meu Querido Esposo
Antônio Marcos Mendonça,
por todo amor e dedicação.*

*A Meus Pais
Wilson Borges e
Carmem Sílvia Weissmann Borges,
pelos exemplos de vida.*

AGRADECIMENTOS

Ao **Dr. José Paulo Bonatti** pela orientação segura, motivação e conhecimentos, essenciais na realização desta dissertação.

Aos membros da banca examinadora, **Dr. Prakki Satyamurty**, **Dr. Sérgio Henrique Franchito**, **Dr Vadlamudi B. Rao** e **Dr. Pedro Leite da Silva Dias**, pelas críticas e sugestões apresentadas.

Aos colegas da **turma de mestrado** pela amizade e companheirismo durante a realização dos créditos e incentivo para a conclusão desta dissertação, e aos demais colegas do INPE que ainda que indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos **amigos do CPTEC**, em especial à **Mariane Mendes Coutinho** pelo incentivo e valiosas informações e à **Simone Silva Guedes Siqueira** pelo apoio técnico e amizade.

Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)** pela concessão de Bolsa de Estudos.

Às **Dras. Rosa Lúcia Sverzut Baroni e Nativi Viana Bertolo** e aos **amigos do Curso de Matemática** em Rio Claro pela sincera amizade e inestimável apoio.

A meus pais, **Vilson e Carmem**, pela coragem, dignidade, respeito e confiança sempre presentes em suas vidas, e pelo apoio e incentivo constantes.

A meu irmão **Rodrigo**, pelo carinho, entusiasmo e amizade sincera com que sempre me incentivou.

A **meus avós, tios e primos** pela perseverança e união com que superam as dificuldades e por todo apoio recebido durante este trabalho.

A meus sogros, **João e Maria**, e aos **meus cunhados e cunhadas** pela amizade sincera e incentivo na realização desta dissertação.

A meu esposo **Antônio Marcos** pelos primeiros e firmes incentivos para a realização do mestrado, pelo imenso amor e inigualável dedicação e paciência durante toda a elaboração desta dissertação. Enfim, por tudo o que vivemos juntos.

A DEUS, pelo dom da vida e sabedoria, essenciais em todas as nossas realizações.

RESUMO

Balances de vortacidade, calor e umidade em grande escala, para fenômenos meteorológicos, tais como: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Alta da Bolívia (AB), Ciclogêneses e Sistemas Frontais, El Niño e La Niña são obtidos a partir das análises do National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Os termos das equações são analisados individualmente, visando a identificação dos termos predominantes e suas respectivas evoluções temporal e espacial em cada uma das situações. As "fontes" ou "sumidouros" de vortacidade, calor e umidade são interpretados com base no resíduo. Numa outra etapa do trabalho, avalia-se o desempenho do Modelo Global CPTEC/COLA, comparando-se os resultados obtidos para as previsões com aqueles das análises. Nota-se que, em muitos casos, os termos relativos à advecção vertical nas equações apresentam uma maior contribuição para os resíduos, principalmente nas regiões convectivamente ativas. Isto indica que o resíduo pode ser atribuído a mecanismos de subgrade, tais como a convecção, que não podem ser representados pelas variáveis de grande escala. De uma forma geral, a avaliação do desempenho do Modelo Global mostra que as previsões concordam satisfatoriamente com as análises apenas em 24, 48 e 72 horas para os episódios 1 e 2 que correspondem aos casos de ZCAS e Alta da Bolívia, e Ciclogêneses e Sistemas Frontais, respectivamente. Os episódios de El Niño e La Niña não são bem previstos; apresentando diferenças significativas entre as previsões e as análises já em 24 horas.

ANALYSES OF THE VORTICITY, HEAT AND MOISTURE BUDGETS IN THE CPTEC/COLA GLOBAL MODEL FOR WEATHER FORECASTS

ABSTRACT

The large scale vorticity, heat and moisture budgets for meteorological phenomena such as South Atlantic Convergence Zone (SACZ) and Bolivian High, Cyclogenesis and Frontal Systems, El Niño and La Niña are obtained using the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) analyses. The terms of equations are calculated and analyzed individually with the objective of identifying the dominant components and their temporal and spacial evolutions in the budgets. The vorticity, heat and moisture sources and sinks are interpreted based on residuals. In another step, the performance of the CPTEC/COLA Global Model is evaluated comparing the forecasts with the analyses. It is noticed that the vertical advection terms play an important contribution to the residuals especially in the regions with intense convective activity. This indicates that the residual can be attributed to subgrid-scale mechanisms, such as convection, which the large scale data cannot depict. In general, the evaluation of the performance of the Global Model shows that the 24, 48 and 72 hours forecasts agree satisfactorily with analyses of the SACZ - Bolivian High system and Ciclogenesis - Frontal Trough System. The Global Model shows some deficiency in capturing the position and intensity during El Niño and La Niña episodes.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE SÍMBOLOS	
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	33
CAPÍTULO 2 - DESCRIÇÃO DO MODELO ESPECTRAL GLOBAL DO CPTEC/COLA.....	39
2.1 Modelo Global CPTEC/COLA.....	39
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA.....	41
3.1 Descrição dos Episódios Estudados.....	41
3.1.1 Episódio 1: Zona de Convergência do Atlântico Sul e Alta da Bolívia.....	41
3.1.2 Episódio 2: Sistemas Frontais e Ciclogêneses.....	47
3.1.3 Episódio 3: El Niño.....	53
3.1.4 Episódio 3: La Niña.....	57
3.2 Metodologia.....	61
3.3 Equações de Balanço.....	63
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	67
4.1 Episódio 1: ZCAS e Alta da Bolívia.....	67
4.2 Episódio 2: Sistemas Frontais e Ciclogêneses	79

4.3 Episódio 3: El Niño.....	91
4.4 Episódio 4: La Niña.....	103
4.5 Comparação entre Análise e Previsão.....	115
4.5.1 Episódio 1: ZCAS e Alta da Bolívia	115
4.5.2 Episódio 2: Sistemas Frontais e Ciclogêneses	127
4.5.3 Episódio 3: El Niño.....	137
4.5.4 Episódio 4: La Niña.....	146
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	155
5.1 Conclusões.....	155
5.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	161
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	163
APÊNDICE A – SCRIPTS PARA O CÁLCULO DOS BALANÇOS DE VORTICIDADE, CALOR E UMIDADE.....	169

LISTA DE FIGURAS

		Pag.
3.1	- Campo de pressão ao nível médio do mar (em hPa) para o Episódio ZCAS e Alta da Bolívia (16 a 23 de março de 1997).....	44
3.2	- Campo de vento (linhas de corrente) em 850 hPa para o Episódio ZCAS e Alta da Bolívia (16 a 23 de março de 1997).....	45
3.3	- Campo de vento em (linhas de corrente) 200 hPa para o Episódio ZCAS e Alta da Bolívia (16 a 23 de março de 1997).....	46
3.4	- Campo de pressão ao nível médio do mar (em hPa) para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses (27 de maio a 03 de junho de 1999).....	50
3.5	- Campo de vento (linhas de corrente) em 925 hPa para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses (27 de maio a 03 de junho de 1999).....	51
3.6	- Campo de vento (linhas de corrente) em 200 hPa para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses ((27 de maio a 03 de junho de 1999).....	52
3.7	- Campo de vento (linhas de corrente) em 925 hPa para o Episódio El Niño (24 a 31 de dezembro de 1997).....	55
3.8	- Campo de vento (linhas de corrente) em 200 hPa para o Episódio El Niño (24 a 31 de dezembro 1997).....	56
3.9	- Campo de vento (linhas de corrente) em 925 hPa para o Episódio La Niña (15 a 22 de janeiro de 1999).....	59
3.10	- Campo de vento (linhas de corrente) em 200 hPa para o Episódio La Niña (15 a 22 de janeiro 1997).....	60
3.11	- Regiões utilizadas para o estudo dos balanços: (a) Área 1 para os episódios 1 e 2; (b) Área 2 para os episódios 3 e 4.....	62
4.1	- Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 850 hPa. Análise - 17/03/97: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz	

- dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi / \partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 69
- 4.2 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 200 hPa. Análise - 17/03/97: (a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial \xi / \partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi / \partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 70
- 4.3 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 850 hPa. Análise - 20/03/97: (a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial \xi / \partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi / \partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 71
- 4.4 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 200 hPa. Análise - 20/03/97: (a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial \xi / \partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi / \partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 72
- 4.5 - Balanço de Calor para o Episódio ZCAS e AB. Análise – 17/03/97: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T / \partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T / \partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega / c_p \cdot \partial \phi / \partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T / \partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T / \partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega / c_p \cdot \partial \phi / \partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]..... 74
- 4.6 - Balanço de Calor para o Episódio ZCAS e AB. Análise – 20/03/97: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T / \partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T / \partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega / c_p \cdot \partial \phi / \partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T / \partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T / \partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega / c_p \cdot \partial \phi / \partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]..... 75
- 4.7 - Balanço de Umidade para o Episódio ZCAS e AB. Análise – 17/03/97: (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q / \partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial q / \partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]. Nível 850 hPa:

	(h) $\partial q/\partial t$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹].	77
4.8	- Balanço de Umidade para o Episódio ZCAS e AB. Análise – 20/03/97: (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg ⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg ⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m ⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹].	78
4.9	- Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 925 hPa. Análise – 29/05/99: (a) Vorticidade Relativa [dia ⁻¹]; (b) Divergência [dia ⁻¹]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia ⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia ⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia ⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia ⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia ⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia ⁻¹].	81
4.10	- Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 200 hPa. Análise – 29/05/99: (a) Vorticidade Relativa [dia ⁻¹]; (b) Divergência [dia ⁻¹]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia ⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia ⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia ⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia ⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia ⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia ⁻¹].	82
4.11	- Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 925 hPa. Análise - 30/05/99: (a) Vorticidade Relativa [dia ⁻¹]; (b) Divergência [dia ⁻¹]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia ⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia ⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia ⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia ⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia ⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia ⁻¹].	83
4.12	- Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 200 hPa. Análise – 30/05/99: (a) Vorticidade Relativa [dia ⁻¹]; (b) Divergência [dia ⁻¹]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia ⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia ⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia ⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia ⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia ⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia ⁻¹].	84

- 4.13 - Balanço de Calor para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Análise - 29/05/99: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 500 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]..... 86
- 4.14 - Balanço de Calor para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Análise - 30/05/99: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 500 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]..... 87
- 4.15 - Balanço de Umidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Análise - 29/05/99: (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹].... 89
- 4.16 - Balanço de Umidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Análise- 30/05/99: (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹].... 90
- 4.17 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 850 hPa. Análise - 25/12/97: (a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 93

- 4.18 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 200 hPa. Análise – 25/12/97:(a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega\partial\xi/\partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi\nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f\nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla\omega \times \partial\vec{V}/\partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 94
- 4.19 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 850 hPa. Análise – 26/12/97:(a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega\partial\xi/\partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi\nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f\nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla\omega \times \partial\vec{V}/\partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 95
- 4.20 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 200 hPa. Análise – 26/12/97: (a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega\partial\xi/\partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi\nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f\nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla\omega \times \partial\vec{V}/\partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 96
- 4.21 - Balanço de Calor para o Episódio El Niño. Análise- 25/12/97: Nível 850 hPa:(a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega\partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial\phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa:(g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega\partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial\phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]..... 98
- 4.22 - Balanço de Calor para o Episódio El Niño. Análise – 26/12/97: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega\partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial\phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega\partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial\phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]..... 99
- 4.23 - Balanço de Umidade para o Episódio El Niño. Análise – 25/12/97: (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega\partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (j) $-\omega\partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹];

	(k) Resíduo [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹].	101
4.24	- Balanço de Umidade para o Episódio El Niño. Análise – 26/12/97: (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg ⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg ⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m ⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg ⁻¹ dia ⁻¹].	102
4.25	- Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 850 hPa. Análise – 16/01/99: (a) Vorticidade Relativa [dia ⁻¹]; (b) Divergência [dia ⁻¹]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia ⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia ⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia ⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia ⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia ⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia ⁻¹].	105
4.26	- Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 200 hPa. Análise – 16/01/99: (a) Vorticidade Relativa [dia ⁻¹]; (b) Divergência [dia ⁻¹]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia ⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia ⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia ⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia ⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia ⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia ⁻¹].	106
4.27	- Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 850 hPa. Análise – 17/01/99: (a) Vorticidade Relativa [dia ⁻¹]; (b) Divergência [dia ⁻¹]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia ⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia ⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia ⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia ⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia ⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia ⁻¹].	107
4.28	- Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 200 hPa. Análise - 17/01/99: (a) Vorticidade Relativa [dia ⁻¹]; (b) Divergência [dia ⁻¹]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia ⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia ⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia ⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia ⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia ⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia ⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia ⁻¹].	108
4.29	- Balanço de Calor para o Episódio La Niña. Análise – 16/01/99: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia ⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia ⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia ⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia ⁻¹]; (f) Resíduo [K dia ⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia ⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia ⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia ⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia ⁻¹]; (l) Resíduo [K dia ⁻¹].	110

- 4.30 - Balanço de Calor para o Episódio La Niña. Análise – 17/01/99: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]..... 111
- 4.31 - Balanço de Umidade para o Episódio La Niña. Análise – 16/01/99: (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]..... 113
- 4.32 - Balanço de Umidade para o Episódio La Niña. Análise – 17/01/99: (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]..... 114
- 4.33 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 850 hPa. Previsão de 24 horas (97031612 para 97031712): (a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 117
- 4.34 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 200 hPa. Previsão de 24 horas (97031612 para 97031712): (a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 118
- 4.35 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 850 hPa. Previsão de 96 horas (97031612 para 97032012): (a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d)

- $\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi / \partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 119
- 4.36 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 200 hPa. Previsão de 96 horas (97031612 para 97032012): (a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial \xi / \partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi / \partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 120
- 4.37 - Balanço de Calor para o Episódio ZCAS e AB. Previsão de 24 horas (97031612 para 97031712). Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T / \partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T / \partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega / c_p \cdot \partial \phi / \partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T / \partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T / \partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega / c_p \cdot \partial \phi / \partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]..... 122
- 4.38 - Balanço de Calor para o Episódio ZCAS e AB. Previsão de 96 horas (97031612 para 97032012). Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T / \partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T / \partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega / c_p \cdot \partial \phi / \partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T / \partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T / \partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega / c_p \cdot \partial \phi / \partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]..... 123
- 4.39 - Balanço de Umidade para o Episódio ZCAS e AB. Previsão de 24 horas (97031612 para 97031712) (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q / \partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial q / \partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q / \partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial q / \partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]..... 125
- 4.40 - Balanço de Umidade para o Episódio ZCAS e AB. Previsão de 96 horas (97031612 para 97032012): (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q / \partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial q / \partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g

- $\text{Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$].... 126
- 4.41 - Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 925 hPa. Previsão de 48 horas (99052712 para 99052912): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]..... 128
- 4.42 - Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 200 hPa. Previsão de 48 horas (99052712 para 99052912): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]..... 129
- 4.43 - Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 925 hPa. Previsão de 72 horas (99052712 para 99053012): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]..... 130
- 4.44 - Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 200 hPa. Previsão de 72 horas (99052712 para 99053012): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]..... 131
- 4.45 - Balanço de Calor para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Previsão de 48 horas (99052712 para 99052912): Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia^{-1}]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia^{-1}]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia^{-1}]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia^{-1}]; (f) Resíduo [K dia^{-1}]. Nível 500 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia^{-1}]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia^{-1}]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia^{-1}]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia^{-1}]; (l) Resíduo [K dia^{-1}]..... 133

- 4.46 - Balanço de Calor para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Previsão de 72 horas (99052712 para 99053012): Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 500 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]..... 134
- 4.47 - Balanço de Umidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Previsão de 48 horas (99052712 para 99053012): (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]..... 135
- 4.48 - Balanço de Umidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Previsão de 72 horas (99052712 para 99053012): (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]..... 136
- 4.49 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 850 hPa. Previsão de 24 horas (97122412 para 97122512): (a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 138
- 4.50 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 200 hPa. Previsão de 24 horas (97122412 para 97122512): (a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 139

- 4.51 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 850 hPa. Previsão de 48 horas (97122412 para 97122612): (a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d) $-\bar{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega\partial\xi/\partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi\nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f\nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla\omega \times \partial\bar{V}/\partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 140
- 4.52 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 200 hPa. Previsão de 48 horas (97122412 para 97122612): (a) Vorticidade Relativa [dia⁻¹]; (b) Divergência [dia⁻¹]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia⁻¹]; (d) $-\bar{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia⁻¹]; (e) $-\beta v$ [Hz dia⁻¹]; (f) $-\omega\partial\xi/\partial p$ [Hz dia⁻¹]; (g) $\xi\nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia⁻¹]; (h) $f\nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia⁻¹]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla\omega \times \partial\bar{V}/\partial p)$ [Hz dia⁻¹]; (j) Resíduo [Hz dia⁻¹]..... 141
- 4.53 - Balanço de Calor para o Episódio El Niño. Previsão de 24 horas (97122412 para 97122512): Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\bar{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega\partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial\phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\bar{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega\partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial\phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]..... 142
- 4.54 - Balanço de Calor para o Episódio El Niño. Previsão de 48 horas (97122412 para 97122612): Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\bar{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega\partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial\phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\bar{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega\partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial\phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]..... 143
- 4.55 - Balanço de Umidade para o Episódio El Niño. Previsão de 24 horas (97122412 para 97122512): (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\bar{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega\partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (i) $-\bar{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (j) $-\omega\partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]..... 144
- 4.56 - Balanço de Umidade para o Episódio El Niño. Previsão de 48 horas (97122412 para 97122612): (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água

- Precipitável [Kg m^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (g) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$].... 145
- 4.57 - Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 850 hPa. Previsão de 24 horas (99011512 para 99011612): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]..... 147
- 4.58 - Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 200 hPa. Previsão de 24 horas (99011512 para 99011612): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]..... 148
- 4.59 - Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 850 hPa. Previsão de 48 horas (99011512 para 99011712): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]..... 149
- 4.60 - Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 200 hPa. Previsão de 48 horas (99011512 para 99011712): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial \xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial \xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]..... 150
- 4.61 - Balanço de Calor para o Episódio La Niña. Previsão de 24 horas (99011512 para 99011612): Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia^{-1}]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia^{-1}]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia^{-1}]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia^{-1}]; (f) Resíduo [K dia^{-1}]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia^{-1}]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia^{-1}]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia^{-1}]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia^{-1}]; (l) Resíduo [K dia^{-1}]..... 151

- 4.62 - Balanço de Calor para o Episódio La Niña. Previsão de 48 horas (99011512 para 99011712): Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]..... 152
- 4.63 - Balanço de Umidade para o Episódio El Niño. Previsão de 24 horas (99011512 para 99011612): (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹].... 153
- 4.64 - Balanço de Umidade para o Episódio La Niña. Previsão de 48 horas (99011512 para 99011712): (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹].... 154

LISTA DE TABELAS

	Pag.
3.1 - Data da rodada do modelo e período avaliado.....	61
5.1 - Síntese das conclusões da análise dos termos individuais dos balanços...	160

LISTA DE SÍMBOLOS

c_p	- Calor específico à pressão constante
f	- Vorticidade planetária
F_ξ	- Processos dissipativos de vorticidade
F_q	- Fonte/sumidouro de umidade específica
g	- Aceleração da gravidade
J	- Taxa de aquecimento/resfriamento diabático
L	- Calor latente de condensação
p	- Coordenada vertical (pressão)
p_s	- Pressão à superfície
q	- Umidade específica
Q_1	- Fonte aparente de calor
Q_2	- Sumidouro aparente de umidade
s	- Energia estática seca
T	- Temperatura
t	- Tempo
v	- Componente meridional do vento
z	- Coordenada vertical (altura)
σ	- Coordenada vertical utilizada pelo modelo
ϕ	- Geopotencial
β	- Variação meridional do parâmetro de Coriolis
ω	- Velocidade vertical em coordenada P
ζ	- Vorticidade absoluta
ξ	- Vorticidade relativa
$\nabla \cdot$	- Divergente
$\nabla \times$	- Rotacional
\vec{k}	- Vetor unitário na direção vertical
\vec{V}	- Vetor vento

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB	- Alta da Bolívia
COLA	- Center for Ocean, Land and Atmosphere Studies
CPTEC	- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
ECMWF	- European Centre for Medium Range Weather Forecasts
ENOS	- El Niño - Oscilação Sul
FGCE	- Global Weather Forecast
GFDL	- Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
GRADS	- The Grid Analysis and Display System
MCGA	- Modelo de Circulação Geral Atmosférico
MRF	- Medium Range Forecasting Model
NCAR	- National Center for Atmospheric Research
NCEP	- National Centers for Environmental Prediction
NMC	- National Meteorological Center
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
PNMM	- Pressão ao Nível Médio do Mar
TOGA	- Tropical Oceans Global Atmosphere
TSM	- Temperatura à Superfície do Mar
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical
ZCPS	- Zona de Convergência do Pacífico Sul
ZFS	- Zonas Frontais Subtropicais

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Previsões de tempo com índices de precisão cada vez mais altos têm sido um constante desafio para os diversos centros meteorológicos. Neste sentido, muitos esforços vêm sendo empregados a fim de desenvolver e aprimorar técnicas de modelagem numérica que possibilitem prognósticos mais realísticos da formação e evolução de fenômenos meteorológicos.

A avaliação do desempenho de modelos numéricos em simular o estado futuro da atmosfera pode ser feita através do monitoramento diário das previsões, onde verifica-se a eficiência do modelo na determinação das características de um determinado fenômeno. Características tais como extensão vertical (profundidade), extensão horizontal, intensidade e propagação de um fenômeno meteorológico podem ser determinadas a partir de métodos de análises meteorológicas, que baseiam-se nos parâmetros derivados de variáveis meteorológicas disponíveis, denominados “diagnósticos meteorológicos”, indispensáveis no monitoramento e previsão de tempo. Desta forma, os termos predominantes na formação e intensificação de fenômenos meteorológicos podem ser identificados através de análises diagnósticas de tais parâmetros.

Uma forma de análise diagnóstica consiste, basicamente, no cálculo de diversos termos das equações que governam um determinado fenômeno, identificação da variação temporal e espacial dos diversos termos individuais e interpretação do resíduo da equação em função dos fenômenos não mensuráveis pela rede de informações, ou seja, é uma análise com o intuito de diagnosticar o estado geral da atmosfera e interpretar os campos fornecidos por Modelos de Previsão Numérica de Tempo.

O cálculo dos balanços de vorticidade, umidade e energia termodinâmica são comumente utilizados no estudo do comportamento atmosférico na presença de forçantes térmicas e dinâmicas, utilizando-se modelos numéricos de previsão de tempo. Yanai et al (1973) introduziram um método para o cálculo do que chamaram de fonte aparente de calor (Q_1) e sumidouro aparente de umidade (Q_2), obtidos como resíduos dos balanços de calor e umidade em grande escala. Fisicamente, Q_1 inclui a contribuição do calor latente, da convergência vertical do fluxo turbulento vertical de calor sensível e do aquecimento radiativo, enquanto que Q_2 inclui os efeitos de condensação menos a evaporação e da convergência vertical do fluxo turbulento vertical de vapor d'água. A partir de uma combinação de um modelo unidimensional simples para um aglomerado de cumulus com os balanços de calor e umidade em grande escala aplicados a uma rede de radiossondas, eles demonstraram que os fluxos de massa nas nuvens são muito superiores ao fluxo vertical de massa médio, de modo que o aquecimento do ambiente em grande escala é devido principalmente à compressão adiabática resultante do movimento descendente de compensação. Desta forma, as grandes quantidades de vapor e água líquida desentranhadas das nuvens tendem a balancear o ressecamento do ambiente causado por esse movimento descendente. Além disso, os efeitos de resfriamento devido à reevaporação de água líquida desentranhada das nuvens são importantes no balanço de calor.

Seguindo a mesma nomenclatura de Yanai et al, Reed e Johnson (1974) definiram um método para o cálculo do resíduo da equação da vorticidade denominado “fonte aparente de vorticidade”. O balanço de vorticidade foi determinado a partir de um conjunto de dados observacionais de três meses, para distúrbios ondulatórios de leste no Oceano Pacífico Oeste Tropical. Os resultados indicam um desequilíbrio substancial nas regiões afetadas pelas ondas ou convectivamente ativas. Nestas regiões convectivamente ativas, observa-se a existência de sumidouros aparente de vorticidade na baixa troposfera e fontes aparente de vorticidade numa estreita camada da alta troposfera, que atuam no sentido de reduzir as variações de vorticidade produzidas pelos movimentos de grande escala.

Fein (1977) calculou os termos da equação de vorticidade em grande escala sobre os trópicos e subtropicais em 200 mb, durante o verão do Hemisfério Norte. Seus resultados mostram que a produção de vorticidade pelo campo de vento divergente não é balanceada sobre a faixa tropical e subtropical, e que é necessário mecanismos de escala subgrade que removam vorticidade negativa das regiões de forte divergência (Altas do Tibet e do México) e vorticidade positiva das regiões de forte convergência (cavados oceanicos médios) em 200 mb durante o verão do Hemisfério Norte à uma taxa de $4 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$.

Hodur e Fein (1977) estimaram o balanço de vorticidade sobre as Ilhas Marshall durante os meses de primavera e verão. Eles obtiveram que os resíduos e a intensa convecção associada com a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) estão bem correlacionados e sugeriram que os processos de convecção cumulus de escala subgrade desempenham um importante papel no transporte vertical de vorticidade nas regiões oceânicas tropicais durante a primavera e o verão.

Cho et al. (1979, citado por Virji, 1982) mostrou que no Atlântico Norte tropical, nuvens cumulus modificam o campo de vorticidade de grande escala através da advecção vertical de vorticidade média pelo fluxo de massa vertical e do “twisting” da vorticidade horizontal na direção vertical devido a distribuição não homogênea da população de nuvens.

Utilizando campos de ventos objetivamente analisados, Virji (1982) estimou valores médios do balanço de vorticidade de grande escala na alta troposfera sobre a América do Sul tropical e extratropical, durante o verão. Seus resultados mostram que a componente dominante no balanço de vorticidade, termo de divergência, não é balanceada pelas outras componentes de grande escala, o que indica que a advecção vertical de vorticidade pela convecção cumulus de escala subgrade contribui significativamente na manutenção do balanço sobre esta região.

Wei et al (1983), Johnson et al (1987) e Schaack et al (1990) estimaram as distribuições globais sazonais da taxa de aquecimento troposférico médio através da integração vertical da equação da continuidade de massa isentrópica, usando as análises do NMC - FGCE IIIa e do ECMWF FGGE IIIb. Eles mostraram que as maiores fontes de calor estão localizadas sobre a América do Sul, África Equatorial, a Zona de Convergência Intertropical, região de monção da Ásia e as tempestades ciclônicas oceânicas do Hemisfério Norte e que os principais centros de aquecimento migram meridional e zonalmente com as variações anuais da latitude de máxima incidência de radiação solar e o contraste térmico continente-oceano de escala planetária.

Sardeshmukh e Held (1984) analisaram o balanço de vorticidade na alta troposfera tropical de um modelo de circulação geral construído no Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), enfatizando a região do anticiclone Tibetano. Constatou-se que o modelo produz uma simulação razoável dos padrões de grande escala do fluxo de vento em 200 mb nos trópicos, durante o verão do Hemisfério Norte, sem a inclusão de processos de escala subgrade que amortecem a vorticidade na alta troposférica. Há um considerável cancelamento entre os termos de estiramento ("stretching") e a advecção horizontal de vorticidade na região do Platô Tibetano, com o restante sendo balanceado pela advecção vertical e o "twisting".

Sardeshmukh e Hoskins (1985) examinaram o balanço de vorticidade média-temporal tropical durante o El Niño - Oscilação Sul (ENOS) de 1982-83 para diagnosticar a influência de aquecimentos anômalos na circulação atmosférica. Um resultado interessante deste estudo foi que apesar da convecção tropical anormalmente intensa, fontes divergentes locais nos trópicos foram pequenas.

Silva Dias (1987) discutiu o balanço de vorticidade em mesoescala, nas proximidades da superfície, visando a identificação dos termos predominantes e suas respectivas evoluções temporais em situações sinóticas convectivas de verão. Obteve-se que a convecção produz um efeito nos termos relativos à inclinação dos vórtices e advecção

vertical de vorticidade. A convecção mostra-se aparente no campo de divergência e movimento vertical, mas é especialmente notável no resíduo do balanço de vorticidade.

Hoerling e Johnson (1991) analisaram o balanço de vorticidade no inverno do Hemisfério Norte, e mostraram que a conservação da circulação na baixa troposfera é uma resposta direta para o aquecimento diferencial de continentes e oceanos.

Gandu (1993), analisou a resposta troposférica na América do Sul à forçantes térmicas localizadas a partir de simulações com um modelo dinâmico tridimensional não linear de equações primitivas e em coordenadas “sigma”. Seus resultados de simulações com fonte estacionária mostram que a não linearidade diminui a intensidade da Alta da Bolívia e aumenta a do Ciclone associado em baixos níveis. Por outro lado, a defasagem nas respostas dos campos rotacional e divergente, induzidas pela fonte transiente, faz com que os campos médios dessa simulação sejam mais semelhantes aos simulados com fonte estacionária linear que aos da não linear.

Li e Yanai (1996) examinaram a distribuição global de fontes de calor e sumidouros de umidade da troposfera usando as análises do ECMWF TOGA de 1985 a 1992. Eles obtiveram que as fortes monções de verão da Ásia, como definida por Webster e Yang (1992, citado por Yanai et. al., 1998), estão associadas com o aumento do aquecimento sobre o Mar Arábico, a Baía de Bengala e o Oceano Pacífico Ocidental, e redução do aquecimento sobre o Oceano Índico Equatorial e o Pacífico Oriental e Central. No ano de fraca monção de verão na Ásia, o aquecimento sobre o sul da Ásia é significativamente enfraquecido, enquanto que sobre o Pacífico Equatorial Central até a costa da América do Sul, aumenta acentuadamente.

Yanai et al (1998), usando as reanálises do NCEP-NCAR, determinaram as distribuições de fontes de calor Q_1 e sumidouro de umidade Q_2 , entre 50° N e 50° S para um período de 15 anos, de 1980 à 1994. Eles examinaram a variabilidade sazonal e

interanual de fontes de calor e sumidouros de umidade e os mecanismos de aquecimento sobre várias regiões.

Assim, os objetivos propostos deste trabalho são: estudar os balanços das equações de vortacidade, energia termodinâmica e conservação de umidade específica, a fim de identificar os termos predominantes e suas evoluções temporal e espacial durante episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Alta da Bolívia (AB), Sistemas Frontais e Ciclogêneses, El Niño e La Niña; interpretar as fontes/sumidouros de vortacidade, calor e umidade através do cálculo e análise dos resíduos dos balanços; e avaliar o desempenho do Modelo Global do CPTEC/COLA em simular os balanços de vortacidade, calor e umidade.

CAPÍTULO 2

DESCRIÇÃO DO MODELO ESPECTRAL GLOBAL DO CPTEC/COLA

Neste Capítulo, apresenta-se sucintamente a estrutura do Modelo Global do CPTEC/COLA utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

2.1- MODELO GLOBAL CPTEC/COLA

O modelo de circulação geral atmosférico (MCGA) CPTEC/COLA teve sua origem no modelo global americano conhecido como Medium Range Forecasting Model (MRF), usado para previsão de tempo de médio prazo pelo National Centers for Environmental Prediction (NCEP, então NMC) em 1985. O MRF possui uma dinâmica espectral desenvolvida pelo NCEP e parametrizações físicas na escala subgrade, desenvolvidas no Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) na Universidade de Princeton, EUA. Esse modelo foi transferido para Center for Ocean, Land and Atmosphere Studies (COLA), onde sofreu, desde sua implantação, modificações nos processos de superfície (tratamento da radiação de onda longa, parametrização de cumulus, física da superfície e propagação de ondas de gravidade).

O modelo adotado pelo CPTEC foi a versão 1.7 do COLA, que continha truncamento romboidal. Essa versão foi generalizada para truncamento triangular, foram introduzidas resoluções horizontal e vertical versáteis, adaptações na geração de arquivos de entrada e saída para as necessidades operacionais do CPTEC e utilização de temperatura da superfície do mar média observada da última semana (Bonatti, 1996).

O modelo global para previsão de tempo operacional do CPTEC/COLA possui resolução T62L28, ou seja, truncamento triangular na onda zonal de número 62 e

estrutura vertical de 28 níveis, o que equivale a uma grade de aproximadamente 200x200 km próximo ao equador.

As leis físicas básicas que governam os movimentos atmosféricos utilizadas pelo MCGA são: conservação de massa e umidade (ar seco e úmido tratados separadamente), de energia e de momentum angular. As equações principais são: equação do movimento, equação da continuidade para o ar seco e vapor d'água e a primeira lei da termodinâmica. A equação para a componente vertical da velocidade é substituída por uma relação diagnóstica que supõe, para as escalas espacial e temporal de interesse, movimentos em aproximado equilíbrio hidrostático.

O modelo é formulado com uma discretização espectral na horizontal e um esquema de diferenças finitas na vertical e no tempo. As equações do movimento horizontal são transformadas nas equações da vorticidade e da divergência, facilitando o tratamento espectral e a implantação do método semi-implícito de integração no tempo. Há também um esquema de inicialização utilizando-se os modos normais do modelo linearizado sobre um estado básico em repouso e com temperatura em função apenas da vertical, que inclui os termos referentes aos processos diabáticos. A coordenada vertical é a “sigma” ($\sigma = p/p_s$), que permite a simples introdução da topografia, pois sigma tem valor constante igual a 1 acompanhando a superfície da Terra.

As principais variáveis prognósticas do modelo são: o logaritmo de pressão, a vorticidade, divergência, temperatura virtual e umidade específica.

A descrição detalhada do Modelo Global CPTEC/COLA, bem como as equações empregadas estão documentadas em Kinter et al. (1997).

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3.1. DESCRIÇÃO DOS EPISÓDIOS ESTUDADOS

A seguir é apresentada uma breve descrição dos episódios analisados neste trabalho, bem como os períodos correspondentes às simulações, de acordo com as classificações da Revista Climanálise.

3.1.1. Episódio 1: Zona de Convergência do Atlântico Sul e Alta da Bolívia

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é considerada um dos fenômenos mais importantes na escala intrasazonal que ocorre durante os meses mais quentes do verão do Hemisfério Sul. Devido a grande variabilidade de sua posição e intensidade, exerce influência determinante sobre o regime de precipitação em grande parte da América do Sul e especialmente no Brasil (Satyamurty e Rao, 1988).

A ZCAS é convencionalmente definida como sendo uma faixa persistente de nebulosidade e precipitação orientada no sentido noroeste-sudeste, associada a uma zona de convergência na baixa troposfera, que se estende desde o sul da região Amazônica até o Atlântico Sul Central.

Em baixos níveis, observa-se o escoamento de norte-noroeste que começa ao longo da encosta leste dos Andes e se estende para a região sudeste do Brasil na forma de um jato, contribuindo substancialmente para a convergência de umidade (necessária para a manutenção da ZCAS) da Amazônia para o Brasil Central e Regiões Sudeste e Sul do Brasil.

Outros fatores que contribuem para a formação e permanência da ZCAS são: o aquecimento continental, que é responsável pela formação de regiões de baixa pressão e convecção; o encontro do ar frio, que flui na direção norte, próximo ao litoral, com as águas quentes, tornando a atmosfera instável nos baixos níveis.

Kodama (1992) comparou a estrutura de grande escala da ZCAS, ZCPS e da Zona Frontal de Baiu e concluiu que as regiões de precipitação, denominadas por ele de Zonas Frontais Subtropicais (ZFS), embora ocorram em regiões topograficamente distintas, possuem características em comum, tal como o de ocorrerem associadas às convecções tropicais de monção e aos anticiclones subtropicais.

No Brasil, a ZCAS atua principalmente nas Regiões Sudeste e Centro Oeste. Porém, algumas vezes nota-se a atuação desta zona de convergência no sul da Bahia ou no Estado do Paraná. Nas Regiões Sul/Sudeste, a ZCAS é uma das principais causas da estação chuvosa, desempenhando um papel substancial na ocorrência de veranicos e enchentes severas, pois devido às suas características físicas, mantém-se atuante durante vários dias (Casarin e Kousky, 1986 e Silva Dias et al, 1988).

Na alta troposfera, os padrões de circulação na região da América do Sul foram estudados por Virji (1981) a partir de dados derivados do movimento de nuvens observadas pelo satélite SMS-I, durante os meses de janeiro e fevereiro de 1975 a 1977. As principais características observadas foram um anticiclone quase-estacionário, bem desenvolvido sobre o Platô Boliviano, comumente denominado Alta da Bolívia, associado a um cavado mais a leste, sobre a Região Nordeste do Brasil; uma faixa de ventos de leste sobre o noroeste da América do Sul e um forte escoamento de sul cruzando o equador entre 60° W e 80° W.

A Alta da Bolívia surge na primavera, quando começa a aquecer o platô boliviano e a convecção sobre a região Amazônica é intensificada e, atinge sua intensidade máxima durante o verão, enfraquecendo nos meses de outono (Dean, 1971). Segundo Kousky e

Kayano (1981), o anticiclone inicia-se em outubro sobre o oeste da Amazônia, situa-se sobre a Bolívia no verão e em abril desloca-se para a Amazônia Central. Possui seu centro em torno de $15^{\circ}\text{S}/65^{\circ}\text{W}$, quando sua intensidade é máxima.

O desenvolvimento da Alta da Bolívia está associado inicialmente ao aquecimento do continente, que favorece a queda de pressão na superfície e transfere calor sensível do continente para a atmosfera, contribuindo para a formação de nuvens convectivas, nas quais há liberação de calor latente e consequente expansão da atmosfera, formando a Alta da Bolívia.

Observa-se no verão, divergência nos altos níveis e convergência nos baixos níveis, o que implica em movimentos ascendentes principalmente sobre a Bacia Amazônica, os Andes Central, Bolívia, e a Bacia do Rio Paraná no Brasil e Paraguai (Virji, 1981).

Para o Episódio 1: ZCAS e Alta da Bolívia, considerou-se o período de 17 a 23 de março de 1997. A partir do dia 17, a banda de nebulosidade esteve atuante sobre o norte da Região Centro-Oeste, e em grande parte da Região Nordeste, estendendo-se para o Oceano Atlântico, pelo litoral da Bahia (Climanálise, 1997a). Associada a uma região de pressões relativamente mais baixas (Fig. 3.1), observa-se, através da Fig. 3.2, uma região de convergência dos ventos (850 hPa) entre os dias 16 (dia da rodada do modelo) e 21, que se estende pela Região Nordeste até o Oceano Atlântico, típico de episódios de ZCAS. No dia 22, verifica-se um vórtice ciclônico próximo ao litoral da Região Sudeste, associado a um centro de baixa pressão que se formou nesta região. No dia 23, com a penetração da alta da retaguarda na região de convergência, permaneceu apenas um cavado nesta região, caracterizando o enfraquecimento da ZCAS e seu desaparecimento. Em 200 hPa (Fig.3.3), observa-se entre os dias 16 e 19, a presença de uma crista na região da Alta da Bolívia e o vórtice ciclônico do Nordeste sobre o Oceano Atlântico. A partir do dia 20, a Alta da Bolívia apresenta-se configurada, com o centro sobre o Estado do Mato Grosso, em torno de $10^{\circ} - 15^{\circ} \text{ S}$ e $50^{\circ} - 60^{\circ} \text{ W}$.

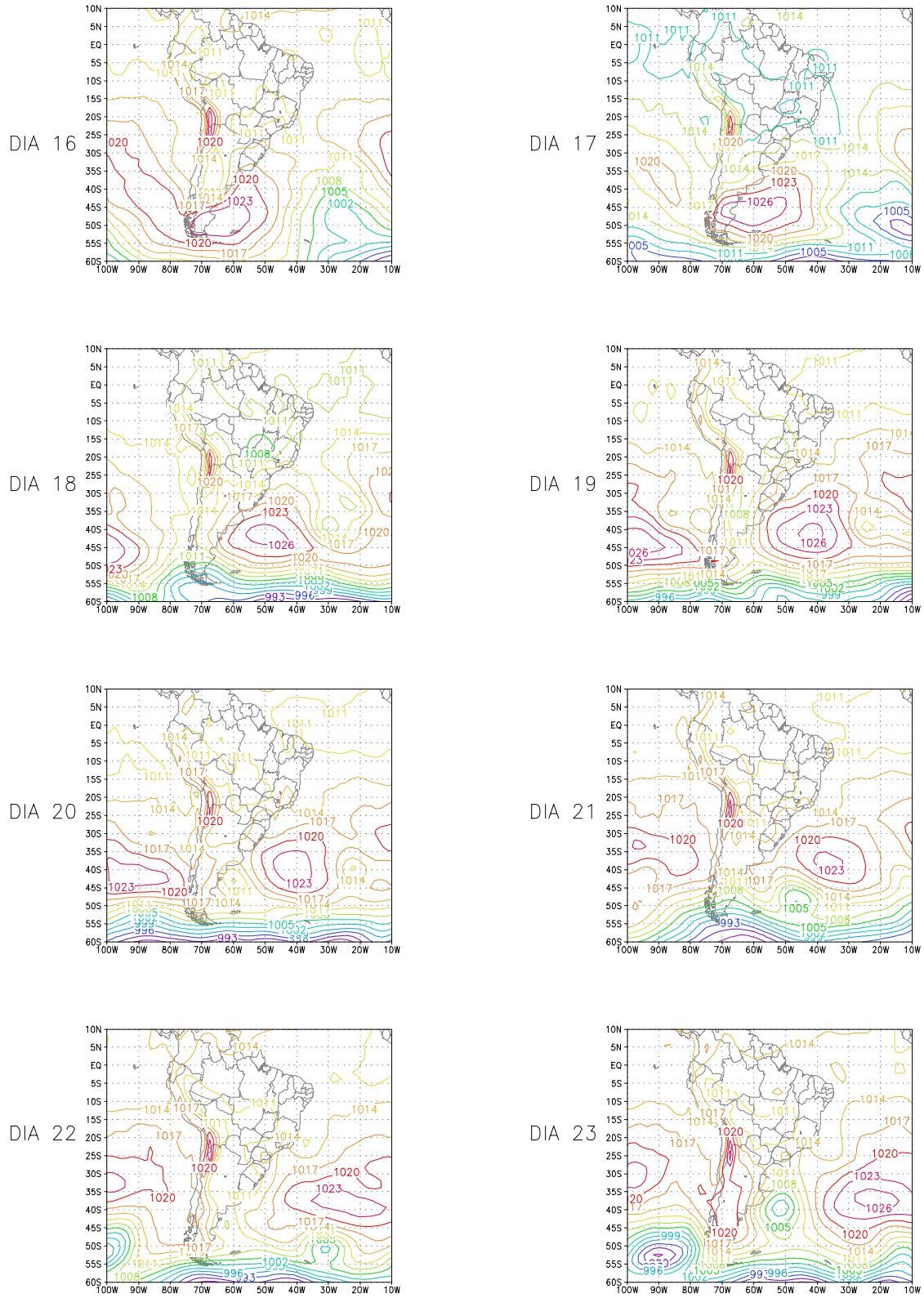


Fig. 3.1 – Campo de pressão ao nível médio do mar (em hPa) para o Episódio ZCAS e Alta da Bolívia (16 a 23 de março de 1997).

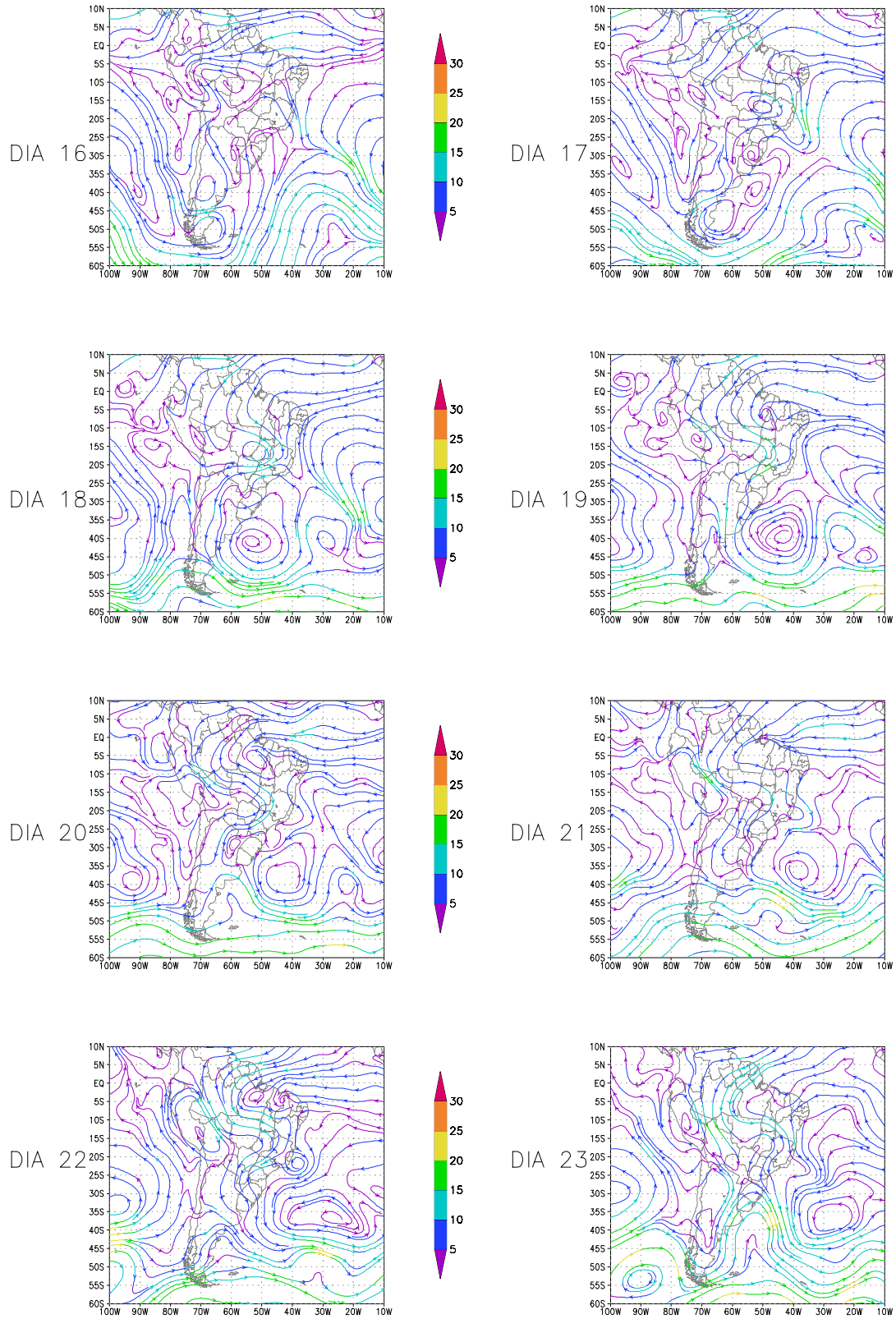


Fig. 3.2 – Campo de vento (linhas de corrente) em 850 hPa para o Episódio ZCAS e Alta da Bolívia (16 a 23 de março de 1997).

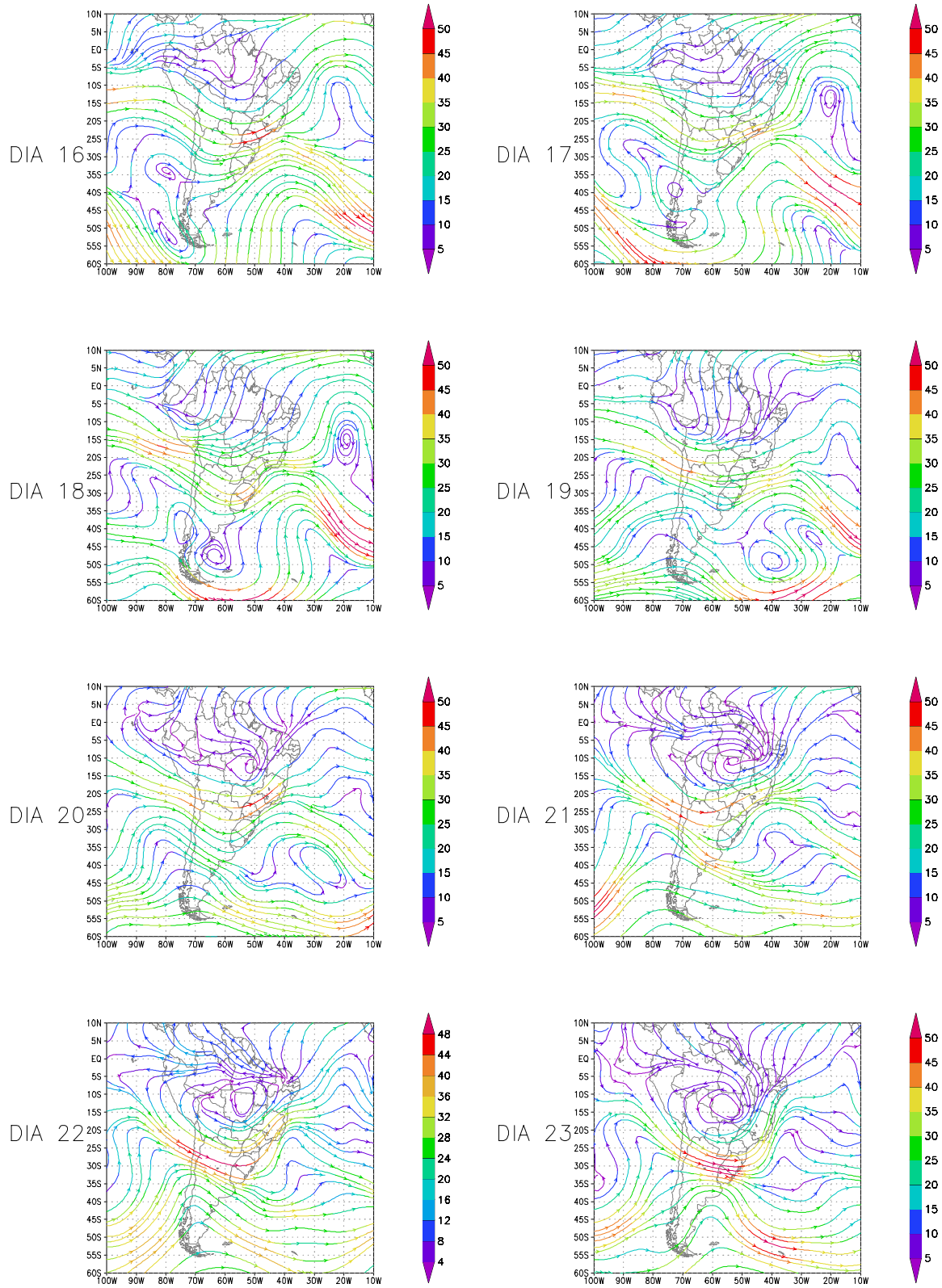


Fig. 3.3 – Campo de vento (linhas de corrente) em 850 hPa para o Episódio ZCAS e Alta da Bolívia (16 a 23 de março de 1997).

3.1.2. Episódio 2: Sistemas Frontais e Ciclogêneses

Os sistemas frontais que se deslocam sobre o Brasil estão entre as perturbações atmosféricas mais importantes, responsáveis pelos regimes de precipitação e mudanças de temperatura em quase todo o país, mesmo nas regiões tropicais.

A formação ou intensificação de sistemas frontais (frontogênese meteorológica) é um processo pelo qual o gradiente horizontal de temperatura é intensificado. A frontogênese, na maioria dos casos, acompanha o desenvolvimento das perturbações sinóticas em uma atmosfera baroclínica. Entre dois anticiclones fortes há uma região preferencial para frontogênese ou frontólise (dissipação da frente). A frontogênese ocorre muitas vezes no sul da Região Central e na Região Sul do Brasil, assim como no Paraguai e norte da Argentina.

Na maioria das vezes, os sistemas frontais originam-se a partir de ondas baroclínicas das latitudes médias, de escala espacial da ordem de 3000 km, e que estão imersas nos ventos de oeste daquelas latitudes. Tais ondas provenientes do Oceano Pacífico modificam-se ao atravessar os Andes e interagem com a circulação atmosférica sobre a América do Sul, o que faz com que as frentes adquiram uma componente de deslocamento em direção ao equador após cruzarem os Andes e, com propagação típica de sudoeste para nordeste ao longo da costa leste da América do Sul, chegam a atingir latitudes tropicais.

Estudos indicam que, durante a maior parte do ano (com exceção do inverno), os sistemas frontais deslocam-se sobre a América do Sul até as latitudes tropicais e interagem com a convecção tropical, organizando e acentuando os sistemas convectivos (aglomerados de cumulonimbus de meso e grande escalas) na Amazônia (Região Norte).

A penetração de sistemas frontais até as latitudes tropicais é um importante mecanismo causador de chuvas no Nordeste. Estes sistemas frontais penetram no Nordeste durante todo o ano e desempenham importante papel no máximo de precipitação de novembro a janeiro, do sul-sudeste do Nordeste, organizando e incrementando também a precipitação convectiva continente adentro, nas partes oeste e sudoeste do Nordeste.

As frentes que chegam a atingir o Nordeste brasileiro não apresentam um intenso gradiente térmico, no entanto, possuem um grande contraste de umidade, o que mantém o sistema ativo sobre a região. Estes eventos são bastante frequentes de novembro a fevereiro e apresentam grande variabilidade interanual (Virji e Kousky, 1983; Oliveira, 1986).

Ciclogênese é a formação ou intensificação de um sistema de baixa pressão em superfície. Geralmente, a ciclogênese é provocada por perturbações em médios e altos níveis.

O desenvolvimento de um ciclone inicia-se quando um distúrbio ondulatório leva ar quente para as altas latitudes e ar frio para as baixas latitudes, ou seja, há uma troca de calor entre regiões quentes e frias. Os ventos associados contribuem para a formação de duas zonas frontais, uma frente fria e outra quente. Nos altos níveis ocorre divergência e nos baixos níveis convergência.

Os principais fatores que favorecem o desenvolvimento e a intensificação dos ciclones extratropicais são: o aquecimento nos níveis baixos da atmosfera, os movimentos verticais adiabáticos, a advecção de vorticidade e a advecção térmica. A presença de uma montanha provoca uma intensificação do ciclone quando ele desce a montanha e uma desintensificação quando ele sobe. Assim, a presença da Cordilheira dos Andes na América do Sul fornece as condições para que a leste desta haja uma região ciclogênética. Na costa leste da América do Sul, a maior frequência das ciclogêneses ocorre nos meses de inverno (Gan, 1992).

Baseado na Revista Climanalise (1999b), foi selecionado o período de 28 de maio a 03 de junho de 1999 para simulação deste episódio. Pelas figuras 3.4 e 3.5, observa-se que no período de 27/05 (data da rodada do modelo) a 03/06, a atuação de três sistemas frontais sobre a América do Sul (925hPa). O primeiro encontrava-se atuando no dia 27/05 sobre a Região Sul do Brasil e deslocou-se rapidamente para o Oceano Atlântico, como pode ser visto pelo painel do dia 28. Entre os dias 28 e 29/05, uma ciclogênese e uma frontogênese deram origem ao segundo sistema frontal sobre a Região Sul do Brasil, associado a um centro de baixa pressão em 35° S 52° W. No dia 30/05 este sistema deslocou-se para a Região Sudeste, no dia 31/05 para o Estado da Bahia, e no dia 01/06 encontrava-se sobre o Oceano Atlântico. Ainda no dia 01/06, verifica-se a presença do terceiro sistema frontal sobre o norte da Argentina; no dia 02/06, este sistema deslocou-se para o litoral das Regiões Sul e Sudeste e, no dia 03/06, para o Oceano Atlântico. Em 200 hPa (Fig. 3.6), observa-se no dia 29/05, um cavado que se estende desde o Oceano, passando pelo Uruguai, Rio Grande do Sul até o Paraguai. Este cavado desloca-se para leste e intensifica-se, atingindo a Região Sudeste no dia 30/05 e o Estado de Tocantins, no dia 31/05. A partir do dia 01/06, o escoamento de altos níveis entre 15° S e 35° S, tende a ser zonal.

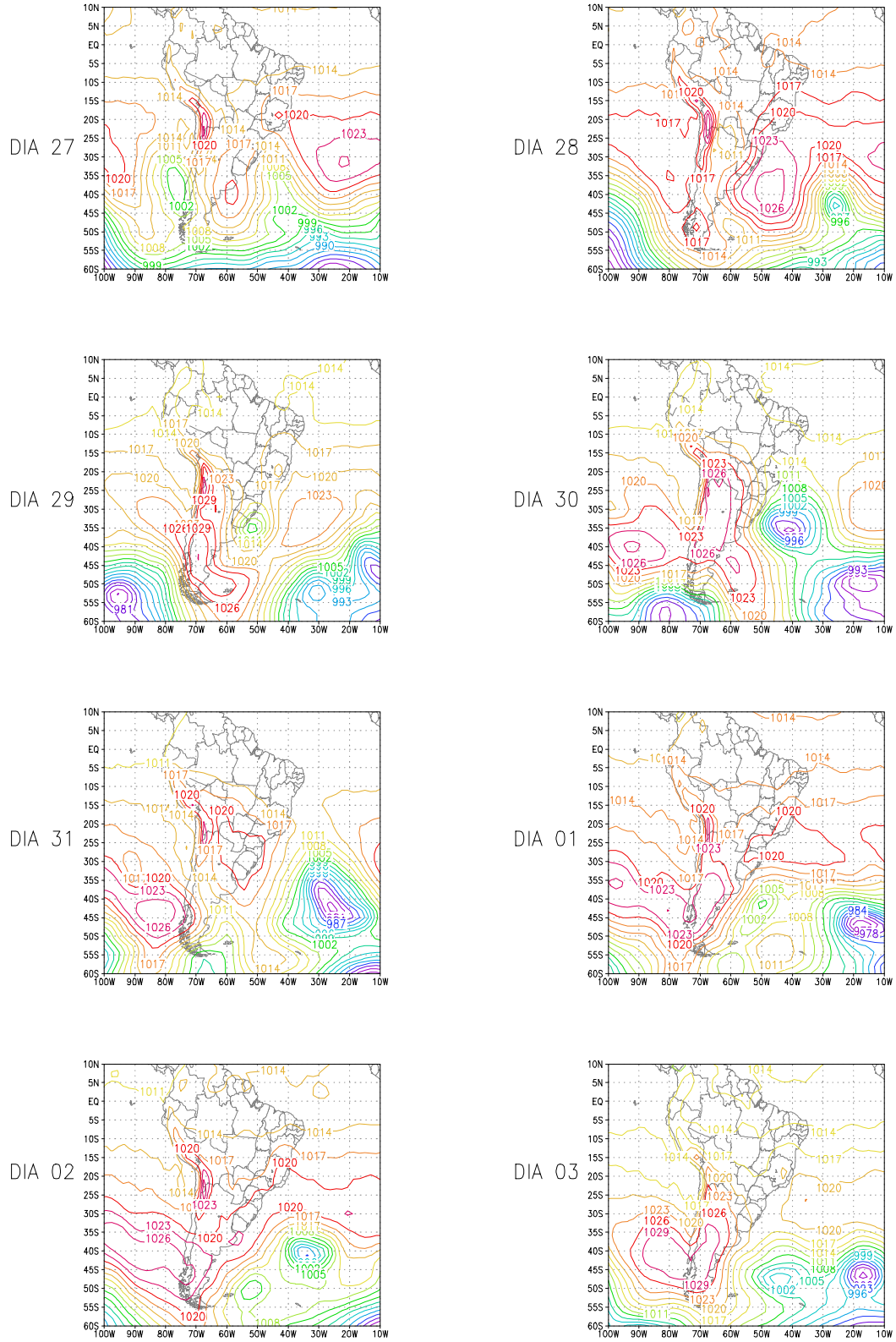


Fig. 3.4 – Campo de pressão ao nível médio do mar (em hPa) para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses (27 de maio a 03 de junho de 1999).

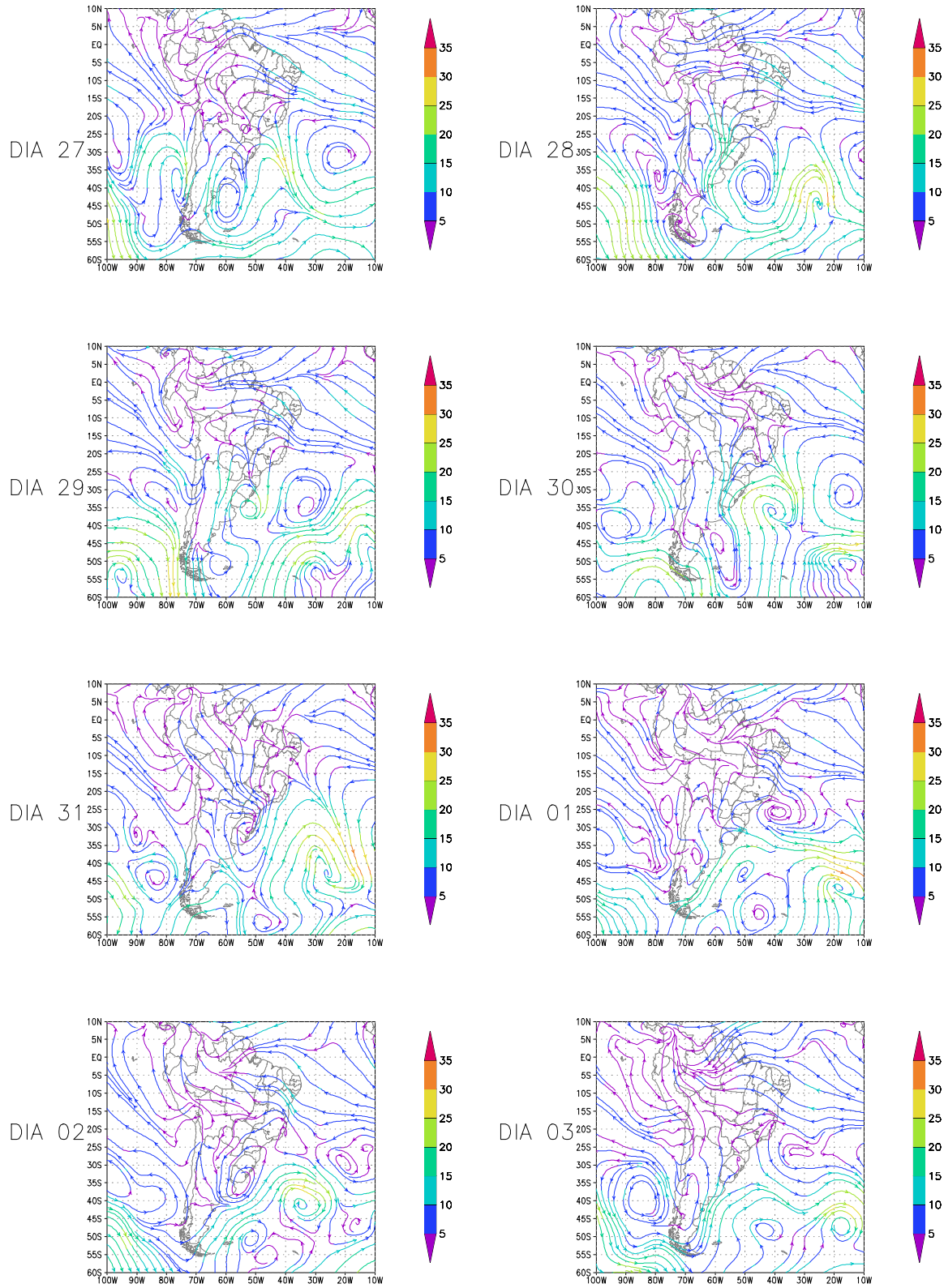


Fig. 3.5 – Campo de vento (linhas de corrente) em 925 hPa para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses (27 de maio a 03 de junho de 1999).

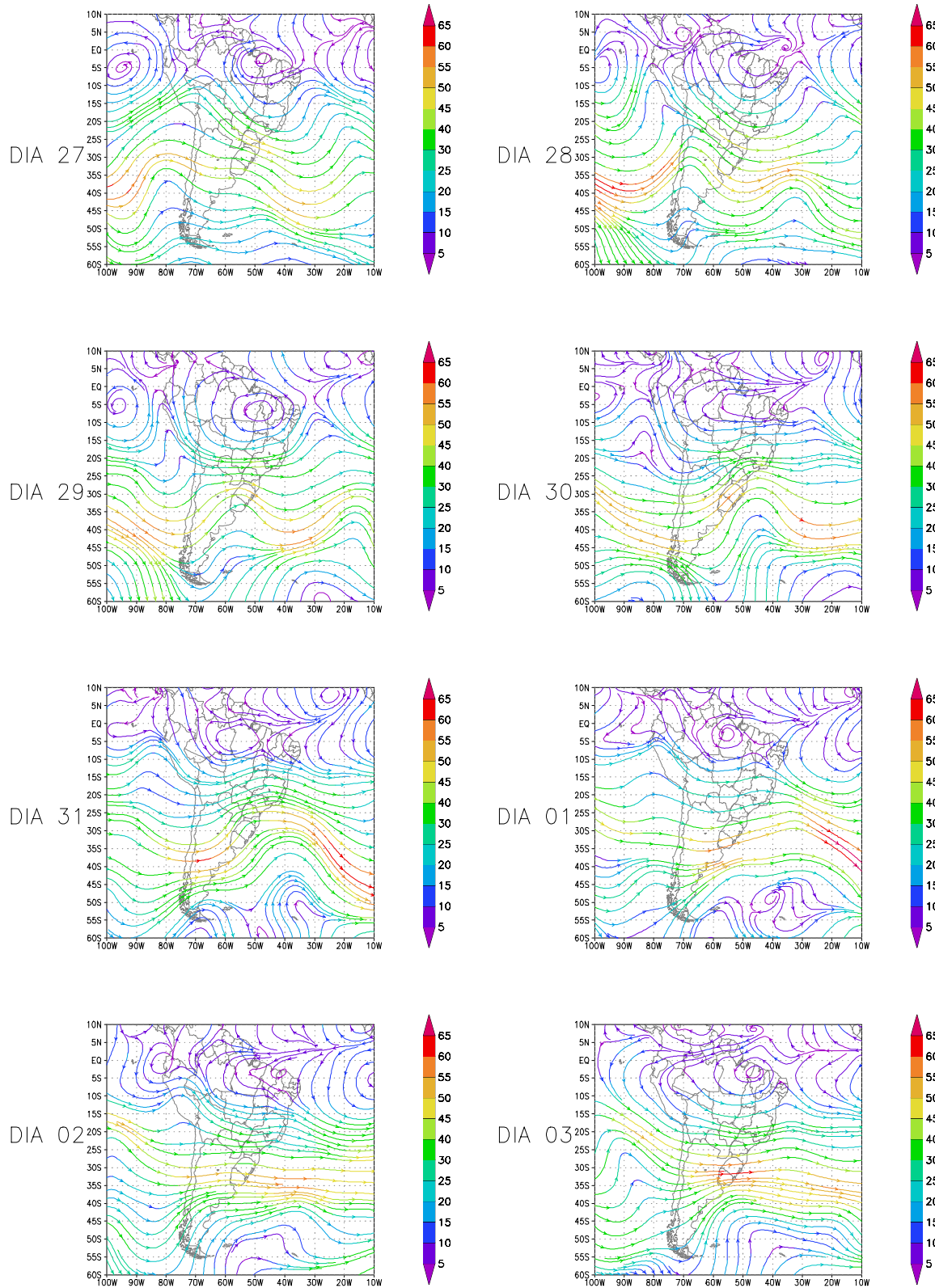


Fig. 3.6 – Campo de vento (linhas de corrente) em 200 hPa para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses (27 de maio a 03 de junho de 1999).

3.1.3. Episódio 3: El Niño

O fenômeno El Niño é caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas superficiais do Pacífico Equatorial Oriental. O aquecimento e o subsequente resfriamento num episódio típico de El Niño duram de 12 a 18 meses, inicia-se no começo do ano, atingindo sua máxima intensidade durante dezembro daquele ano e janeiro do próximo ano e enfraquecendo-se na metade do segundo ano.

Bjerknes (1969, citado por Philander, 1990) mostrou as possíveis conexões entre o El Niño e o fenômeno Oscilação Sul (OS), documentado por Walker (1924, citado em Philander, 1990), o qual está relacionado ao efeito "seesaw" da pressão ao nível do mar nos Oceanos Índico e Pacífico Tropical, ou seja, com os deslocamentos de grande escala leste-oeste de massa na atmosfera tropical.

O aumento dos fluxos de calor sensível e de vapor d'água da superfície do Oceano Pacífico Equatorial para a atmosfera, sobre as águas quentes, provoca mudanças significativas na circulação atmosférica e na precipitação em escala regional e global que, por sua vez, provocam mudanças nas condições meteorológicas e climáticas em várias partes do mundo.

Na escala interanual, por exemplo, o regime de precipitação em diversas regiões da América do Sul sofre influências do fenômeno ENOS (Rasmusson e Wallace, 1983; Kousky et al., 1984; Ropelewski e Halpert, 1987; Kayano et al., 1988; Rao e Hada, 1990). Nicholls (1988) obteve que a variação interanual da precipitação média anual na região central do ENOS é maior do que nas áreas menos afetadas pelo fenômeno.

Vários estudos indicam que, no Brasil, principalmente as regiões semi-árida do Nordeste, norte e leste da Amazônia, Região Sul e vizinhanças são afetadas de forma pronunciada pelas mudanças na circulação atmosférica durante episódios de El Niño.

Na região sul do Brasil ocorre aumento de precipitação, particularmente durante a primavera no primeiro ano e posteriormente, o fim do outono e início do inverno no segundo ano. Já o norte e o leste da Amazônia e o Nordeste brasileiro são afetados pela diminuição de precipitação, principalmente, entre fevereiro e maio, quando ocorre a estação chuvosa do semi-árido. O Sudeste do Brasil apresenta temperaturas mais elevadas, tornando o inverno mais ameno. Nas demais regiões do país, os efeitos são menos pronunciados e variam de um episódio para o outro.

Para efeito de simulação, foi considerado neste caso, o período de 25 a 31 de dezembro de 1997. De acordo com a Revista Climanálise (1997b), em dezembro de 1997, o fenômeno El Niño manteve-se intenso no Oceano Pacífico Equatorial e as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico Equatorial Leste apresentaram-se altas, em torno de +5,5 °C. As figuras 3.7 e 3.8 apresentam a situação sinótica para o Episódio El Niño, para os campos de vento em 925 e 200 hPa, respectivamente. Durante todo o período estudado, nota-se que os ventos alísios (925 hPa) apresentam-se mais fracos no Pacífico Equatorial Central e Leste e uma região de convergência do escoamento, aproximadamente entre 5° N e o equador, a qual está associada à ZCIT. Em 200 hPa, entre os dias 27 e 30, observa-se a presença de dois centros de circulação anticiclônica sobre o Pacífico Tropical Leste e o vórtice ciclônico do Nordeste.

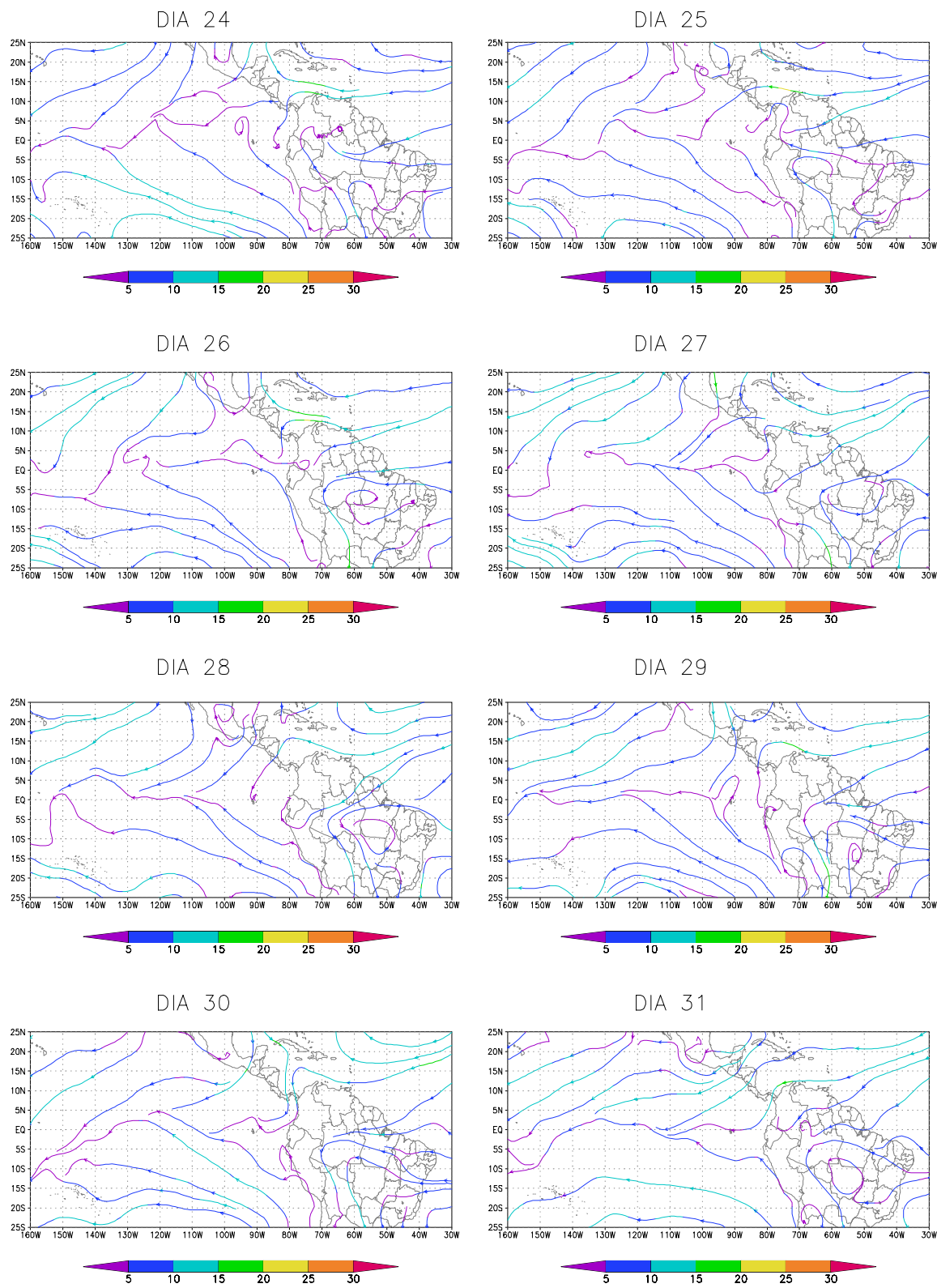


Fig. 3.7 – Campo de vento (linhas de corrente) em 925 hPa para o Episódio El Niño (24 a 31 de dezembro de 1997).

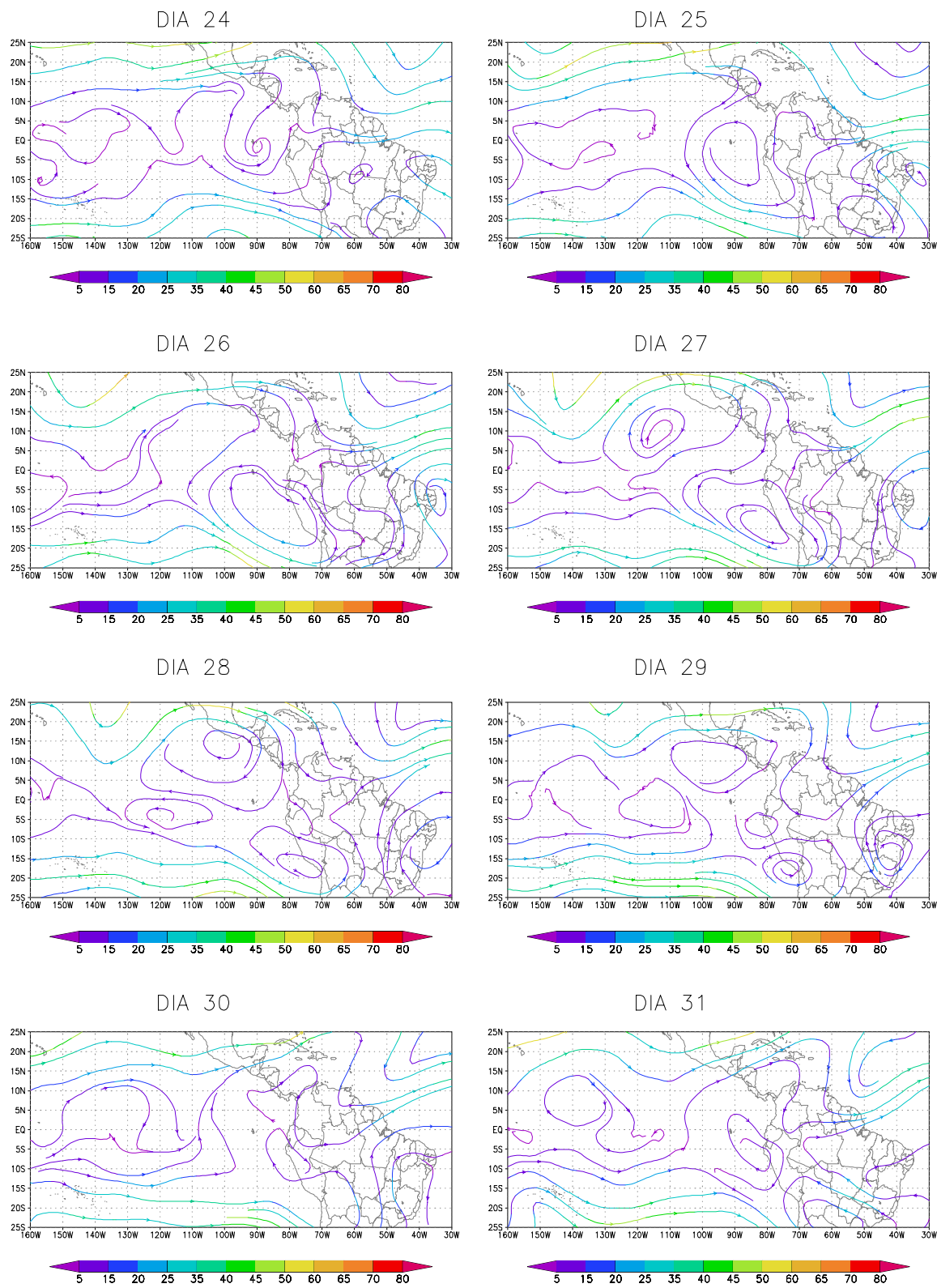


Fig. 3.8 – Campo de vento (linhas de corrente) em 200 hPa para o Episódio El Niño (24 a 31 de dezembro de 1997).

3.1.4. Episódio 4: La Niña

La Niña, ou episódio frio do Oceano Pacífico, é o resfriamento anômalo das águas superficiais no Oceano Pacífico Equatorial Central e Oriental. As águas mais frias estendem-se por uma faixa estreita, com largura de cerca de 10 graus de latitude ao longo do equador, desde a costa peruana até aproximadamente 180° W no Oceano Pacífico Central.

Durante os episódios de La Niña, os ventos alísios são mais intensos que a média climatológica no Oceano Pacífico Equatorial e o Índice de Oscilação Sul (indicador atmosférico que mede a diferença de pressão atmosférica à superfície, entre o Pacífico Ocidental e o Pacífico Oriental) apresenta valores positivos, que indicam a intensificação da pressão do Pacífico Central e Oriental, em relação ao Pacífico Ocidental. Em geral, o episódio começa a se desenvolver em meados de um ano, atinge sua intensidade máxima no final deste ano, dissipando-se em meados do ano seguinte. Observa-se que os episódios de La Niña apresentam maior variabilidade, enquanto que os eventos de El Niño apresentam um padrão mais consistente.

No Brasil, os principais efeitos observados de episódios de La Niña são:

- passagens rápidas de frentes frias sobre a Região Sul, com tendência de diminuição da precipitação nos meses de setembro a fevereiro, principalmente no Rio Grande do Sul, além do centro-nordeste da Argentina e Uruguai;
- durante o inverno, as temperaturas sobre a Região Sudeste encontram-se próximas ou ligeiramente abaixo da média climatológica;
- tendência de chuvas abundantes no norte e leste da Amazônia;

- possibilidade de chuvas acima da média na região semi-árida do Nordeste brasileiro. Essas chuvas apenas ocorrem, se simultaneamente ao La Niña, as condições atmosféricas e oceânicas sobre o Oceano Atlântico mostrarem-se favoráveis, isto é, temperatura da superfície do mar (TSM) acima da média no Atlântico Tropical Sul e abaixo da média no Atlântico Norte.

Para este episódio, foi selecionado o período de 16 a 22 de janeiro de 1999. Conforme as classificações da Revista Climanálise (1999a), em janeiro, o fenômeno La Niña encontrava-se em sua fase madura. As TSMs no Pacífico Equatorial Central e Oriental registraram desvios negativos de temperatura entre -1.5 e -3.0° C. O campo de anomalias de pressão ao nível médio do mar (PNMM) apresentou anomalias positivas no setor tropical oriental e central do Pacífico, e anomalias negativas no setor ocidental, contribuindo para a manutenção do La Niña. A situação sinótica deste episódio é mostrada nas figuras 3.9 e 3.10, para os campos de vento em 925 e 200 hPa, respectivamente. No nível de 925 hPa, observa-se que os ventos alísios apresentam-se mais intensos na Região do Pacífico Equatorial Central do que no Episódio de El Niño; nota-se também, a presença da ZCIT em torno de 5° N. Em 200 hPa, verifica-se uma circulação anticiclônica próximo à costa do Peru e Chile e, uma região de ventos de oeste, relativamente mais fortes, próximo ao equador, entre 100° W e 150° W.

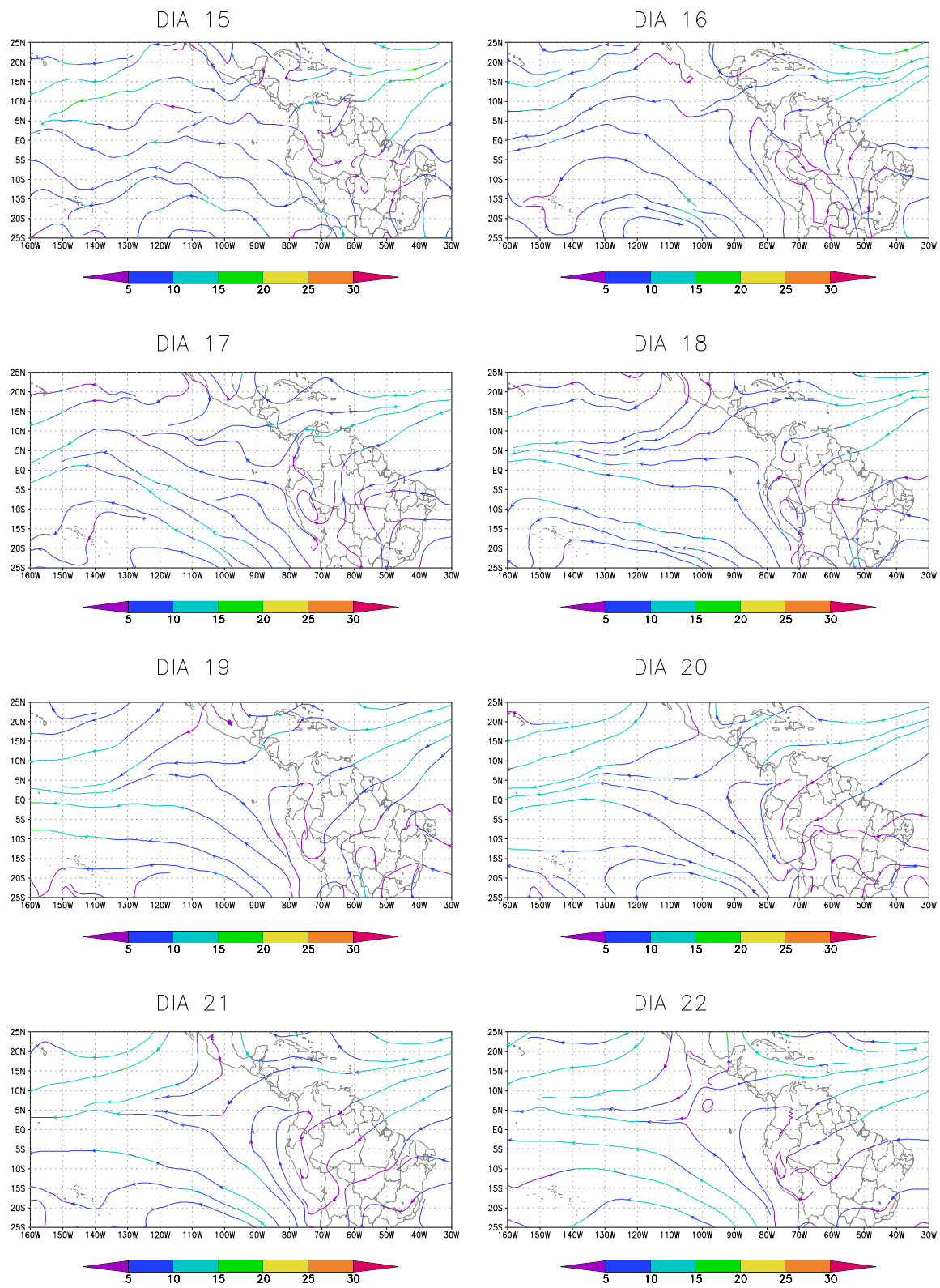


Fig. 3.9 – Campo de vento (linhas de corrente) em 925 hPa para o Episódio de La Niña (15 a 22 de janeiro de 1999).

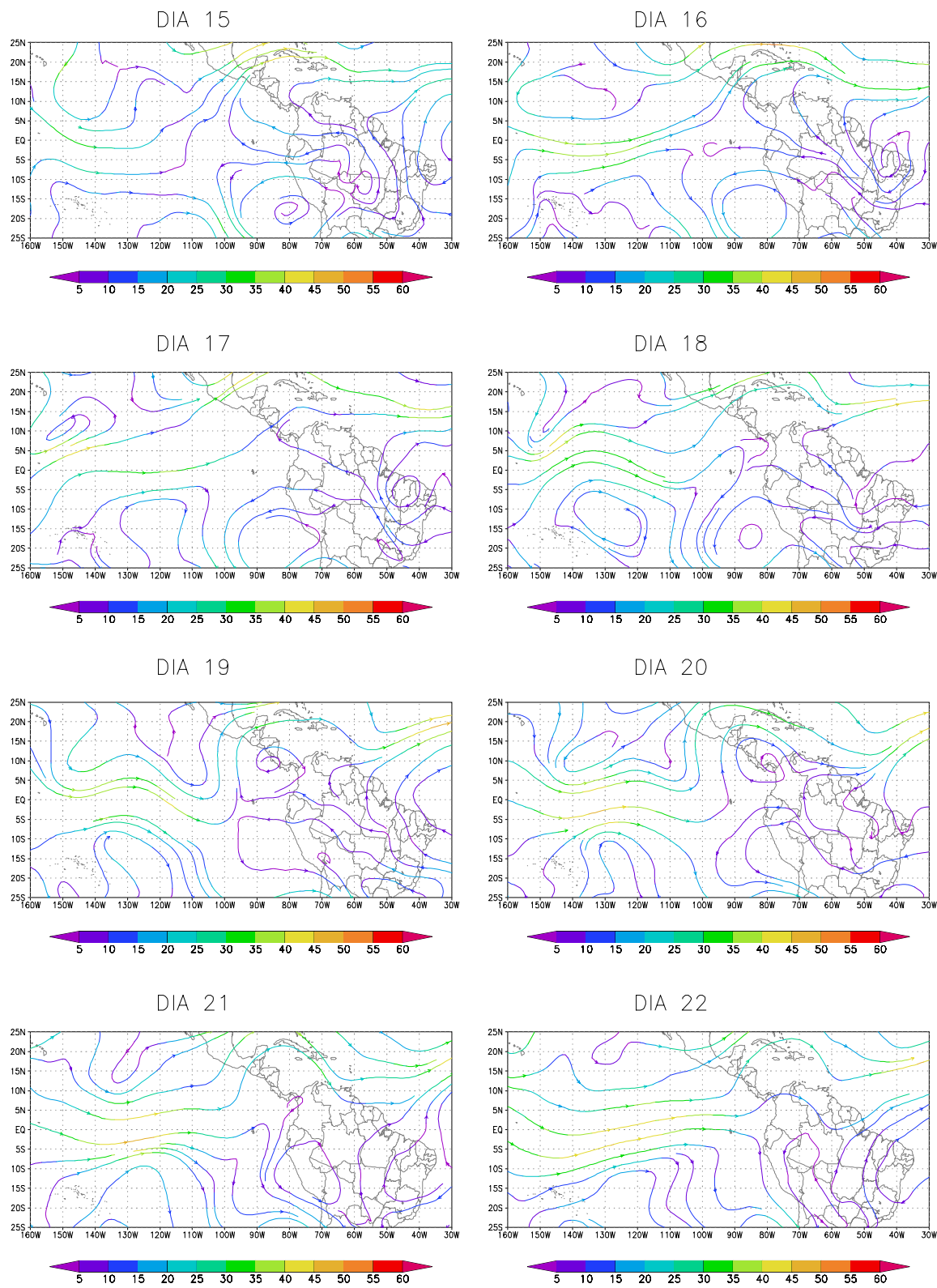


Fig. 3.10 – Campo de vento (linhas de corrente) em 200 hPa para o Episódio La Niña (15 a 22 de janeiro de 1999).

3.2. METODOLOGIA

Os estudos deste trabalho foram realizados utilizando o Modelo Global do CPTEC/COLA, descrito no Capítulo 2, em que está implementada a parametrização de convecção profunda tipo Kuo (1965) e modificada por Anthes (1977).

O Modelo Global do CPTEC/COLA utiliza como condição inicial uma análise confeccionada no National Centers for Environmental Prediction (NCEP), que é gerada em componentes espectrais para uma resolução T062L28.

Inicialmente, foram recuperadas as análises dos períodos correspondentes aos episódios selecionados para os horários sinóticos, 00, 06, 12 e 18Z. Para cada caso, o modelo foi rodado por um prazo de 168 horas (7dias), partindo sempre do horário das 12Z, e com saídas de 6 em 6 horas de previsão.

Na Tabela 3.1 são apresentados as datas da rodada do modelo e os períodos avaliados de cada episódio para as análises e previsões.

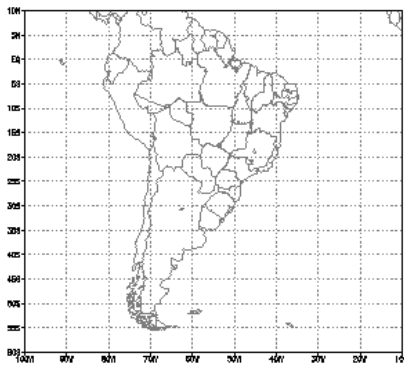
TABELA 3.1 – DATAS DA RODADA DO MODELO E PERÍODO AVALIADO

EPISÓDIOS	RODADA DO MODELO	PERÍODO AVALIADO
ZCAS e Alta da Bolívia	16/03/97 (12Z)	17 a 23/03/97 (12Z)
S. Frontais e Ciclogêneses	27/05/99 (12Z)	28/05 a 03/06/99 (12Z)
El Niño	24/12/97 (12Z)	25 a 31/12/97 (12Z)
La Niña	15/01/99 (12Z)	16 a 22/01/99 (12Z)

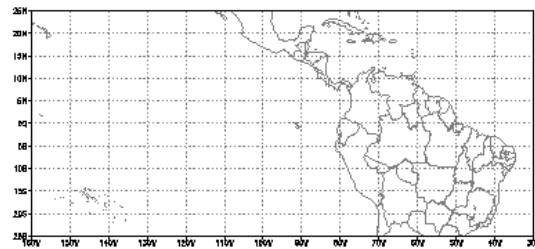
Executadas as rodadas do modelo, foram então calculados os diversos termos das equações de balanço de vorticidade, energia termodinâmica e conservação de umidade específica, tanto para as análises como para as previsões obtendo-se, desta forma, os resíduos.

O estudo dos balanços foram realizados em duas áreas distintas (Fig. 3.11), de acordo com o caso de interesse:

- Área 1: 10° N - 60° S e 100° W – 10° W, para os episódios 1 e 2;
- Área 2: 25° N – 25° S e 160° W – 30° W, para os episódios 3 e 4.



(a)



(b)

Fig. 3.11 - Regiões utilizadas para o estudo dos balanços: (a) Área 1 para os episódios 1 e 2; (b) Área 2 para os episódios 3 e 4.

A avaliação dos resultados consistiu de duas etapas:

- a) Primeiramente, foram analisados individualmente os termos das equações de balanço para as análises do horário 12Z, visando identificar os termos predominantes e suas respectivas evoluções temporal e espacial. As “fontes” e “sumidouros” de vorticidade, calor e umidade foram interpretados a partir dos resíduos.

- b) Na segunda etapa, avaliou-se o desempenho do Modelo Global do CPTEC/COLA em prever os termos das equações de vorticidade, calor e umidade durante os episódios estudados, comparando-se as previsões com as respectivas análises.

Os scripts em GRADS desenvolvidos para calcular dos termos das equações de balanço de vorticidade, calor e umidade são apresentados no Apêndice A.

3.3. EQUAÇÕES DE BALANÇO

O estudo dos balanços de vorticidade, energia termodinâmica e conservação de umidade específica, são frequentemente utilizados para se analisar a importância dos processos dinâmicos que contribuem para o estabelecimento da circulação atmosférica induzida por fontes tropicais de calor, bem como as interações trópicos-extratrópicos e, para o cálculo de taxas de aquecimento (fontes e sumidouros) diabático e determinação de regiões de movimentos ascendentes e subsidentes.

As equações utilizadas para o cálculo dos balanços são descritas em coordenadas isobáricas, uma vez que as análises do modelo são pós-processadas em coordenada vertical “p”.

A equação que descreve o balanço de vorticidade, em superfícies de pressão constante, pode ser escrita como:

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \bar{\mathbf{V}} \cdot \nabla \zeta + \omega \frac{\partial \xi}{\partial p} + \zeta \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}} + \bar{\mathbf{k}} \cdot \left(\nabla \omega \times \frac{\partial \bar{\mathbf{V}}}{\partial p} \right) = F_{\xi} \quad (3.1)$$

(i) (ii) (iii) (iv) (v) (vi)

onde:

- Termo (i) → tendência local da vorticidade relativa ξ ,
- Termo (ii) → advecção horizontal de vorticidade absoluta $\zeta = f + \xi$,
- Termo (iii) → advecção vertical de vorticidade relativa ξ ,
- Termo (iv) → estiramento dos vórtices (“stretching”),
- Termo (v) → torção dos vórtices (“twisting”),
- Termo (vi) → resíduo.

Do ponto de vista de um “balanço”, os termos de advecção horizontal de vorticidade absoluta e de advecção vertical de vorticidade relativa (termos ii e iii) representam um “rearranjo” espacial da vorticidade absoluta, enquanto os demais termos (estiramento, torção e dissipação) representam estritamente as “fontes” e/ou “sumidouros” de vorticidade relativa.

Neste estudo, como a atmosfera é representada de forma tri-dimensional, com uma razoável resolução vertical, foram mantidos e avaliados os termos de advecção vertical de vorticidade e de torção dos vórtices (comumente omitidos na definição da forçante em modelos barotrópicos, no estudo da interação trópico-extratrópicos) para verificar qual sua magnitude e importância no balanço de vorticidade.

A equação que será utilizada para o cálculo do balanço termodinâmico é dada por:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla T + \omega \frac{\partial T}{\partial p} + \frac{\omega}{c_p} \frac{\partial \phi}{\partial p} = \frac{J}{c_p} \quad (3.2)$$

(i) (ii) (iii) (iv) (v)

onde:

- Termo (i) → tendência local de temperatura T,
- Termo (ii) → advecção horizontal de temperatura,
- Termo (iii) → advecção vertical de temperatura,

Termo (iv) → advecção de espessura,

Termo (v) → taxa de aquecimento/resfriamento diabático.

A equação (3.2) pode ser escrita como em Pedigo e Vincent (1990):

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla s + \omega \frac{\partial s}{\partial p} = J, \quad (3.3)$$

onde $s = c_p T + gz$ é a energia estática seca. Se s representa grandeza de grande escala, $Q_1 = J$ é a fonte aparente de calor.

O balanço de umidade específica pode ser descrito pela seguinte equação:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla q + \omega \frac{\partial q}{\partial p} = F_q \quad (3.4)$$

(i) (ii) (iii) (iv)

onde:

Termo (i) → tendência local de umidade específica q ,

Termo (ii) → advecção horizontal de umidade específica,

Termo (iii) → advecção vertical de umidade específica,

Termo (iv) → fonte/sumidouro de umidade específica.

Se as grandezas do lado direito da equação (3.4) representam a grande escala, então

$Q_2 = -LF_q$ é o sumidouro aparente de umidade (Stull, 1988).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 EPISÓDIO 1: ZCAS E ALTA DA BOLÍVIA

Os campos de vorticidade e divergência indicam valores relativamente maiores de vorticidade ciclônica (Fig. 4.1 (a) e 4.3 (a)) e convergência (Fig. 4.1(b) e 4.3(b)), respectivamente, na região da Zona de Convergência associada à ZCAS, em 850 hPa. No nível de 200 hPa, o campo de vorticidade ((Fig. 4.2 (a) e 4.4 (a)) apresenta vorticidade anticiclônica sobre o continente, onde encontra-se uma crista no dia 17 e a Alta da Bolívia no dia 20 e vorticidade ciclônica na região do vórtice do Nordeste e do cavado ao sul deste vórtice. Nos painéis 4.2 (b) e 4.4 (b), nota-se um centro de divergência em 200 hPa, associado à zona de convergência nos baixos níveis.

Analisando os termos da equação da vorticidade no nível de 850 hPa (Fig. 4.1 e 4.3), verifica-se que, nos dias 17 e 18 (não apresentado), o resíduo na região da ZCAS deve-se aos termos de divergência (painéis (g) e (h)). Ao norte da ZCAS e nas latitudes ao sul de 40° S, verifica-se que há uma maior contribuição da advecção horizontal de vorticidade relativa. A partir do dia 19 (não apresentado), quando há um enfraquecimento da ZCAS, os termos de advecção vertical de vorticidade e torção tendem a dominar nesta região. O termo de advecção horizontal de vorticidade planetária ($-\beta v$), apesar de ter uma ordem de grandeza menor, apresenta valores máximos e positivos na região da zona de convergência. Além disso, verifica-se que os termos de divergência e advecção horizontal apresentam sinais opostos.

Em 200 hPa, Fig. 4.2 e 4.4, observa-se que o termo de advecção horizontal de vorticidade relativa é o que mais contribui para o resíduo. Além disso, verifica-se que em algumas regiões o termo de tendência local e advecção horizontal de vorticidade

relativa tendem a se compensar, assim como as componentes do termo de divergência. O termo $-\beta v$ apresenta valores máximos na vizinhança da Alta da Bolívia, sendo que na região onde os ventos são de sul, os valores são negativos e na região onde prevalecem ventos de norte, os valores são positivos, este padrão foi obtido também por Virji (1982), que estimou o balanço de vorticidade troposférica no verão da América do Sul. Os termos de advecção vertical de vorticidade e torção são relativamente pequenos, não exercendo muita influência no balanço.

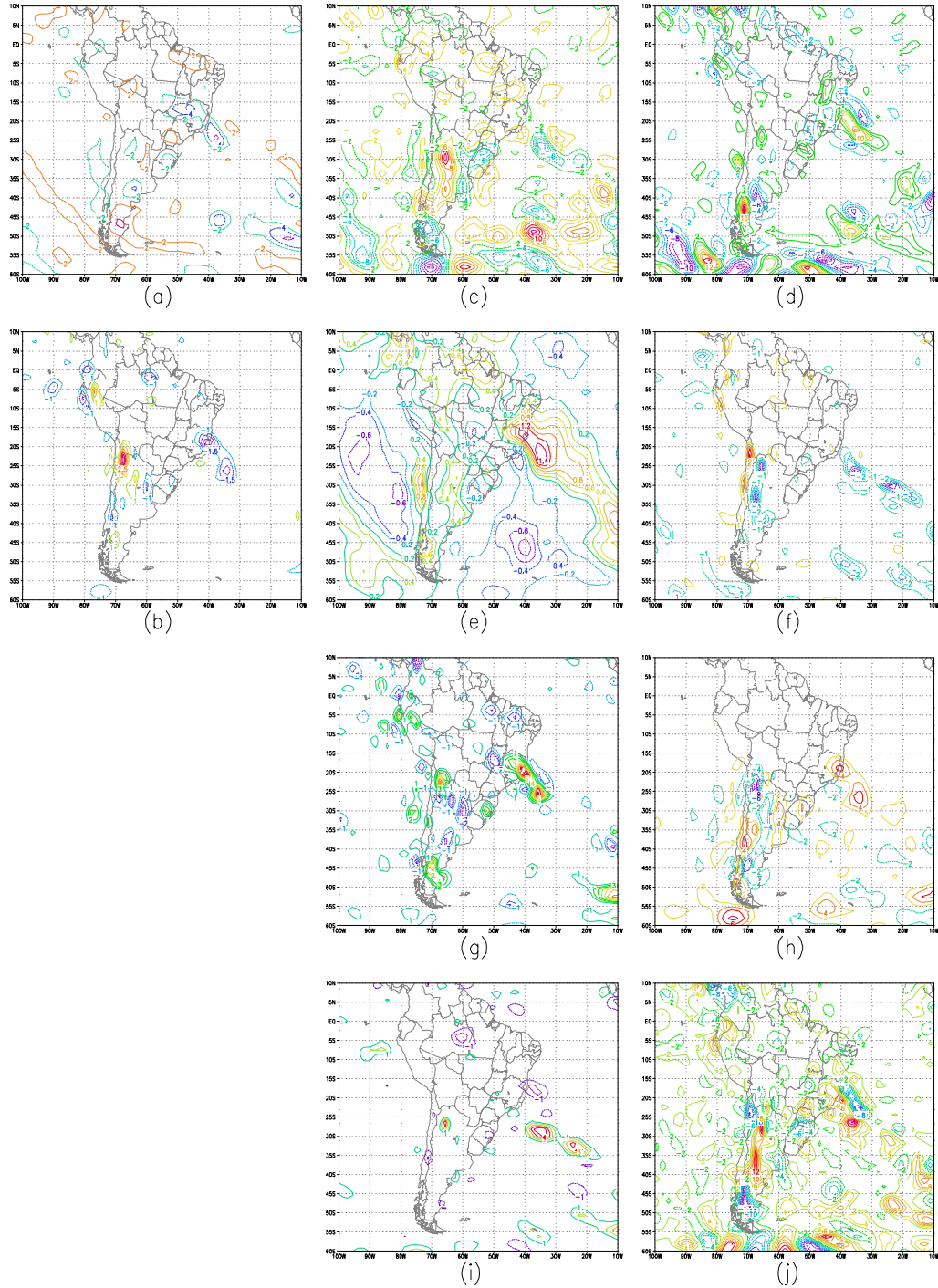


Fig. 4.1 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 850 hPa. Análise 17/03/97: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega\partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi\nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f\nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla\omega \times \partial\bar{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

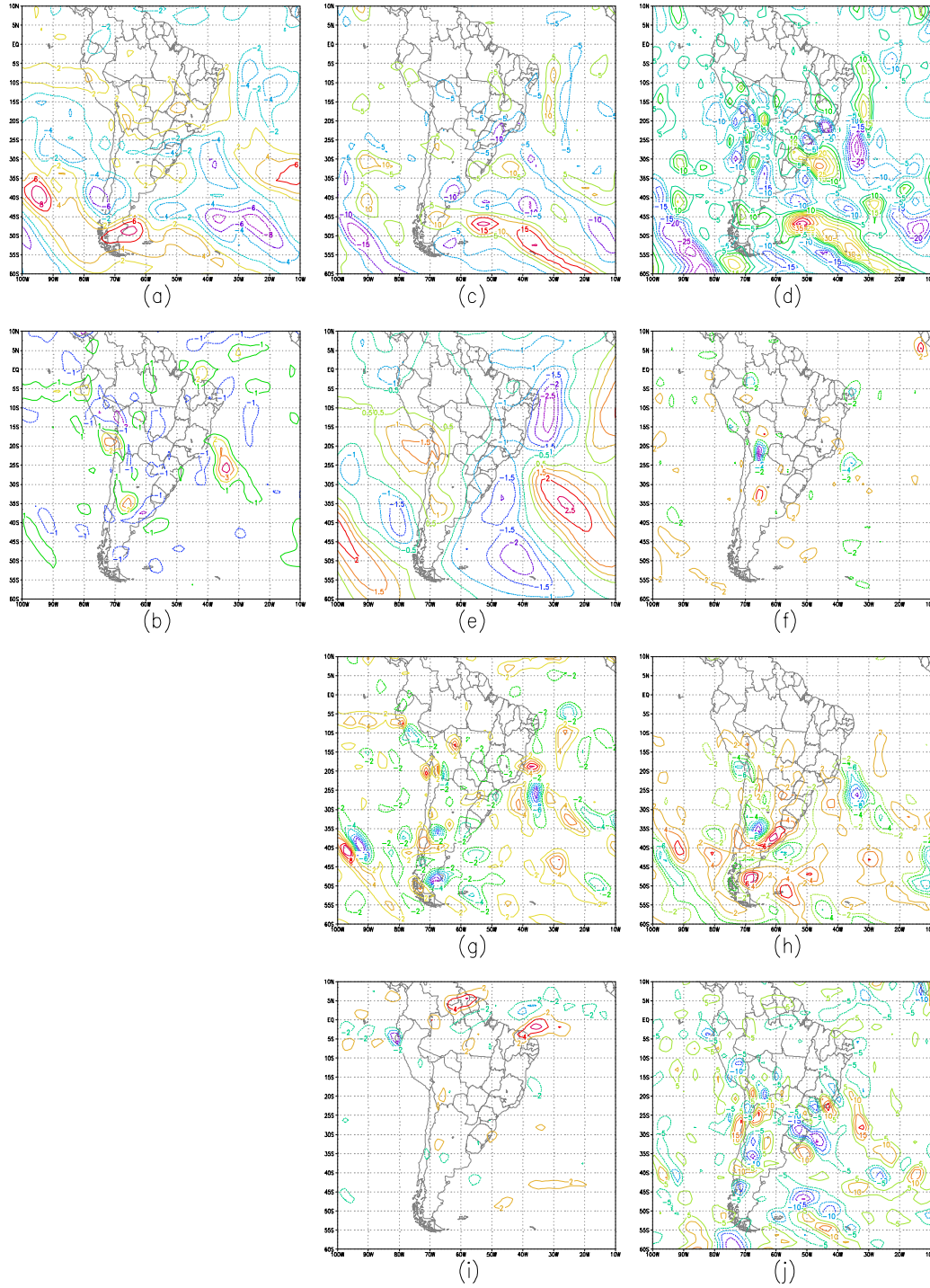


Fig. 4.2 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 200 hPa. Análise - 17/03/97: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial \xi / \partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{\mathbf{V}}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial \xi / \partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{\mathbf{k}} \cdot (\nabla \omega \times \partial \bar{\mathbf{V}} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

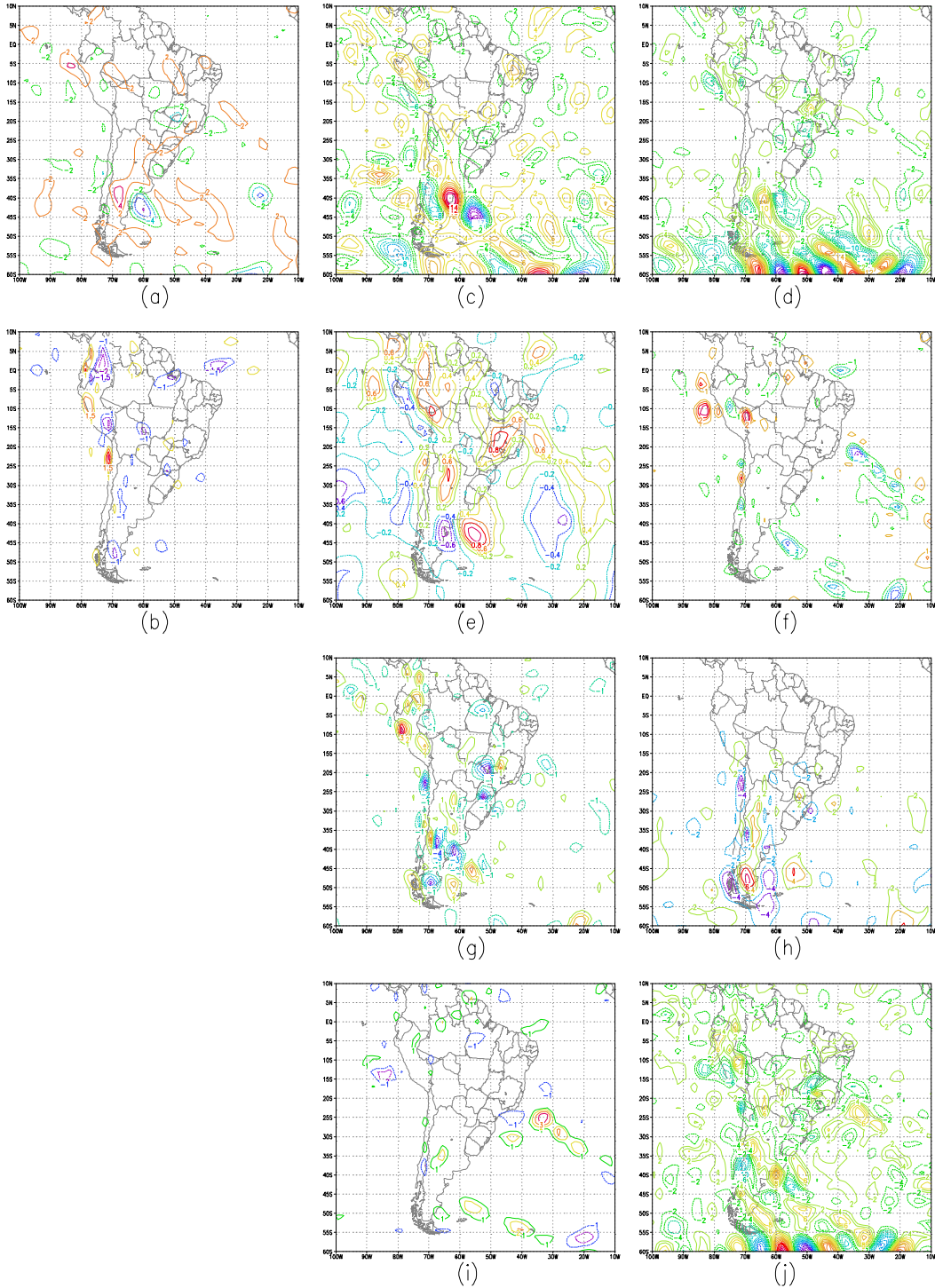


Fig. 4.3 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 850 hPa. Análise - 20/03/97: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega\partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi\nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f\nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla\omega \times \partial\bar{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

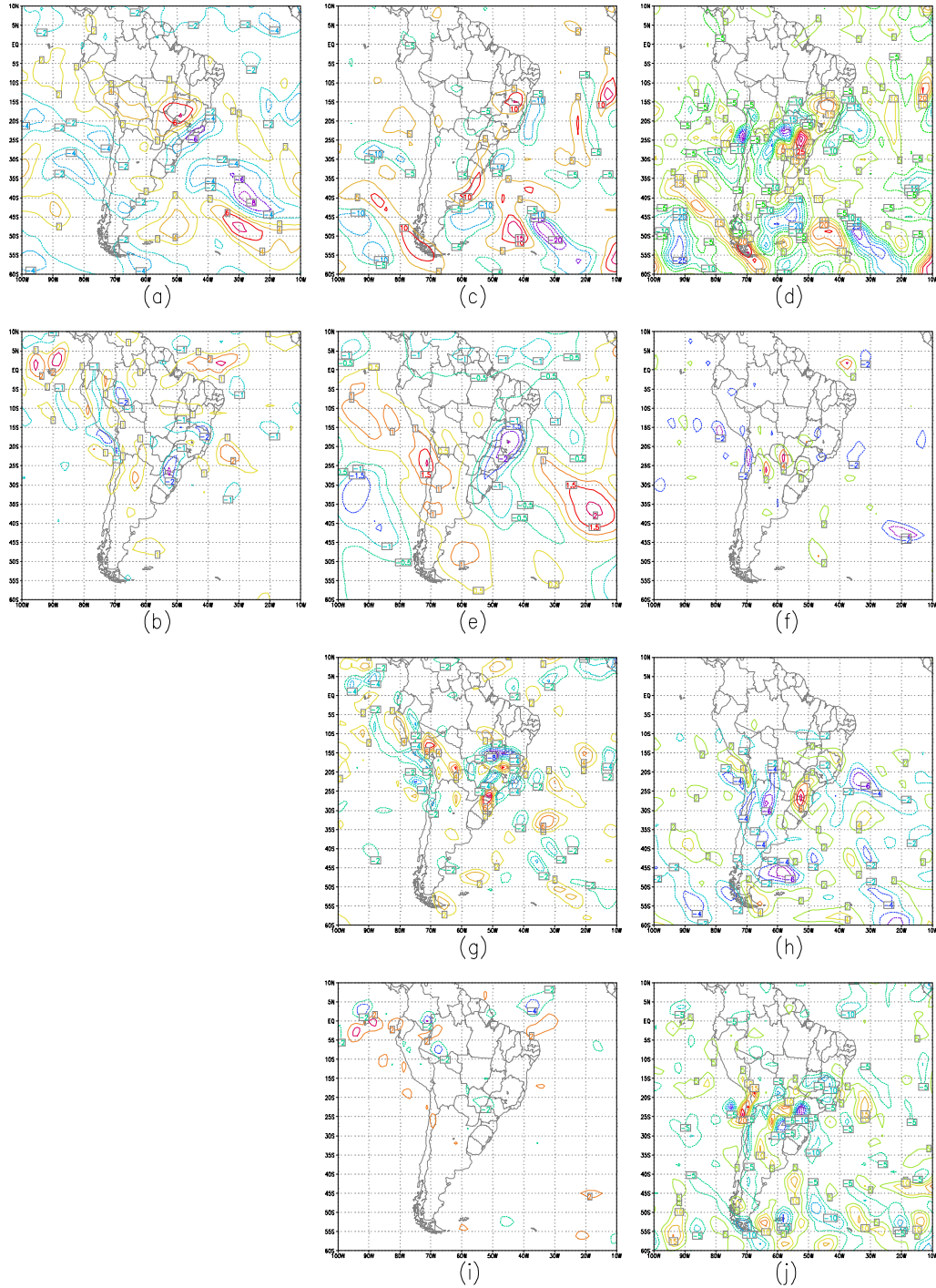


Fig. 4.4 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 200 hPa. Análise - 20/03/97: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial \xi / \partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

Os painéis 4.5 (a) e 4.6 (a) representam os campos de temperatura em 850 hPa e os painéis 4.5 (g) e 4.6 (g) representam os campos de temperatura em 200 hPa. Em 850 hPa, temperaturas mais elevadas são observadas sobre o continente. No nível de 200 hPa, verifica-se um núcleo de temperaturas mais elevadas próximo à região onde atua a ZCAS.

Para a equação da termodinâmica (Fig. 4.5 e 4.6), verifica-se que ,no nível de 850 hPa, os termos de advecção vertical de temperatura, advecção vertical de geopotencial e o resíduo apresentam basicamente a mesma evolução e ordem de grandeza na zona de convergência associada à ZCAS. Através do balanço termodinâmico, os movimentos ascendentes ocorrem associados às regiões de liberação de calor latente, enquanto o movimento subsidente compensador se distribui pela região tropical e subtropical (Gandu, 1993). O resíduo, neste caso, apresenta valores positivos, indicando uma fonte de calor na região da zona de convergência e representa o aquecimento diabático, devido à liberação de calor latente (nas regiões convectivas) e ao aquecimento/resfriamento radiativo. No nível de 200 hPa, a partir do dia 19 (não apresentado) observa-se que na região da Alta da Bolívia (15S, 55W-60W) o resíduo novamente deve-se basicamente aos termos de advecção vertical de temperatura e de geopotencial. Os termos de tendência local de temperatura e advecção horizontal de temperatura na região tropical apresentam valores pequenos, exceto sobre a Região Nordeste do Brasil, onde observa-se tendência local de temperatura positiva.

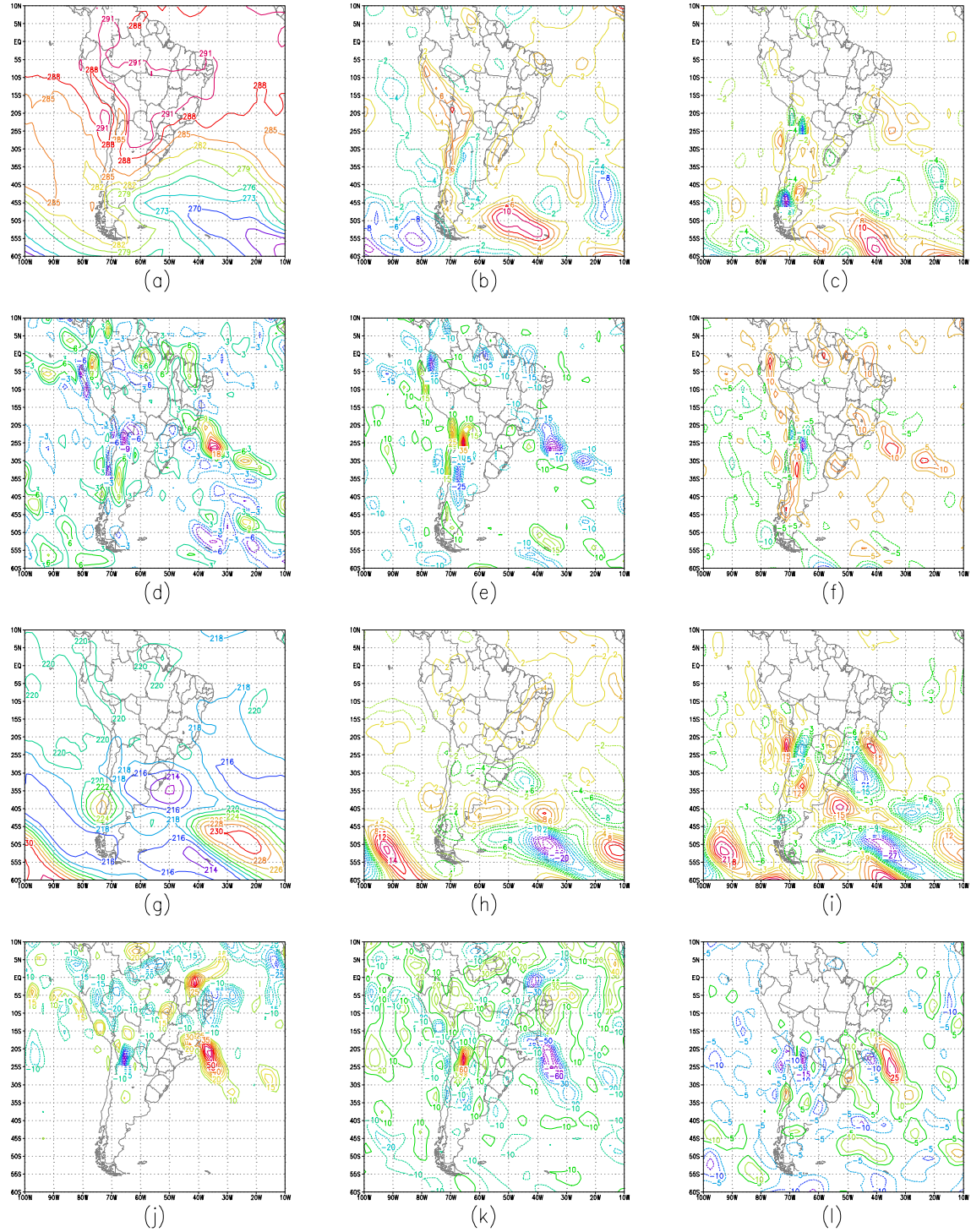


Fig. 4.5 - Balanço de Calor para o Episódio ZCAS e AB. Análise - 17/03/97: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

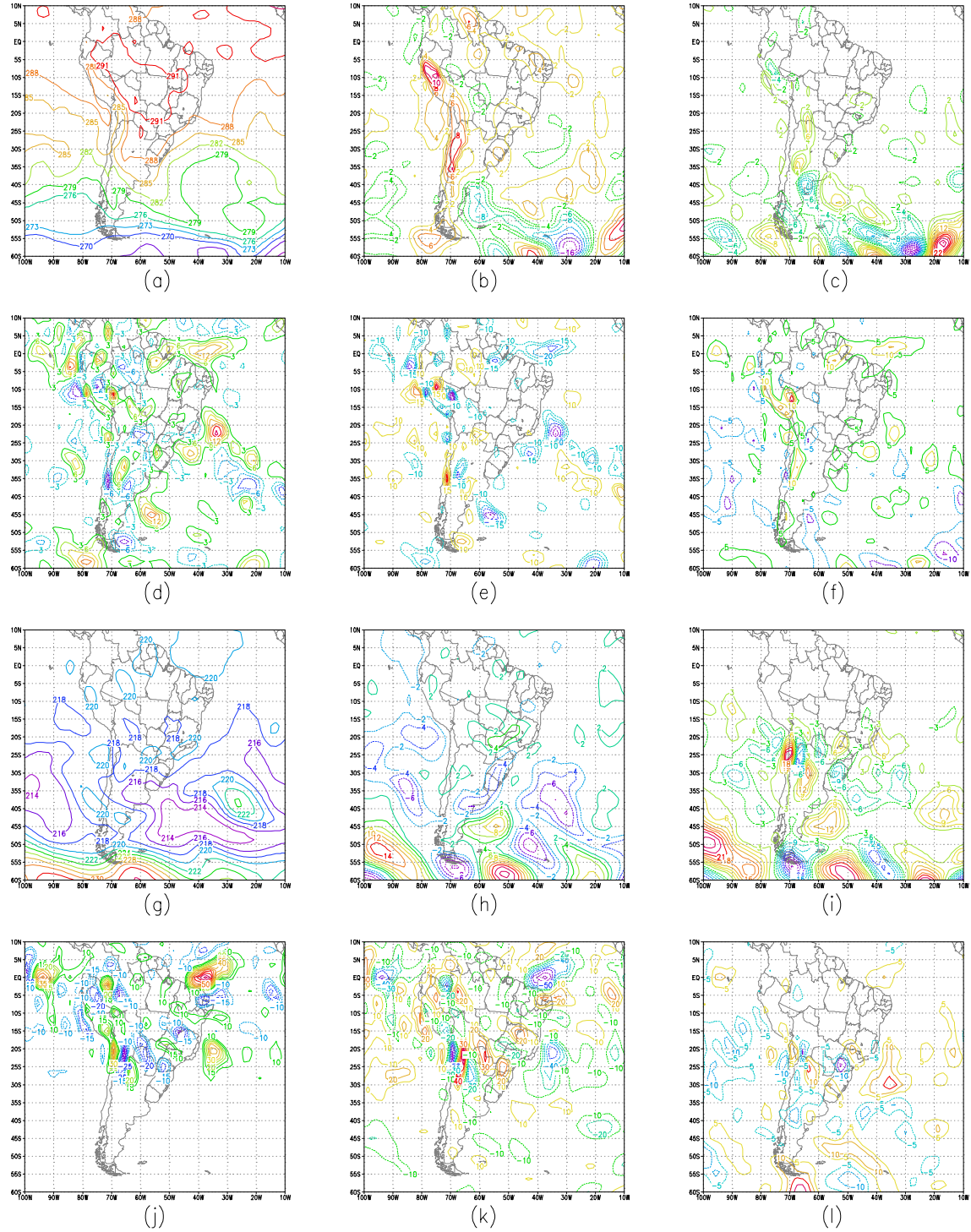


Fig. 4.6 - Balanço de Calor para o Episódio ZCAS e AB. Análise – 20/03/97: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

Em 925 hPa (painéis 4.7(a) e 4.8(a)) e 850 hPa (painéis 4.7 (b) e 4.8 (b)), observa-se forte gradiente positivo de umidade específica em direção à região de atuação da ZCAS, conseqüentemente, grandes valores de água precipitável são encontrados também nesta região (Painéis 4.7 (c) e 4.8 (c)).

A análise da equação da conservação de umidade específica (Fig. 4.7 e 4.8), nos níveis de 925 e 850 hPa, indica que a tendência local de umidade específica e o resíduo apresentam mesma evolução e ordem de grandeza sobre o continente. Na região de convergência associada a ZCAS, sobre o Oceano Atlântico, verifica-se que o resíduo deve-se, principalmente à advecção vertical de umidade.

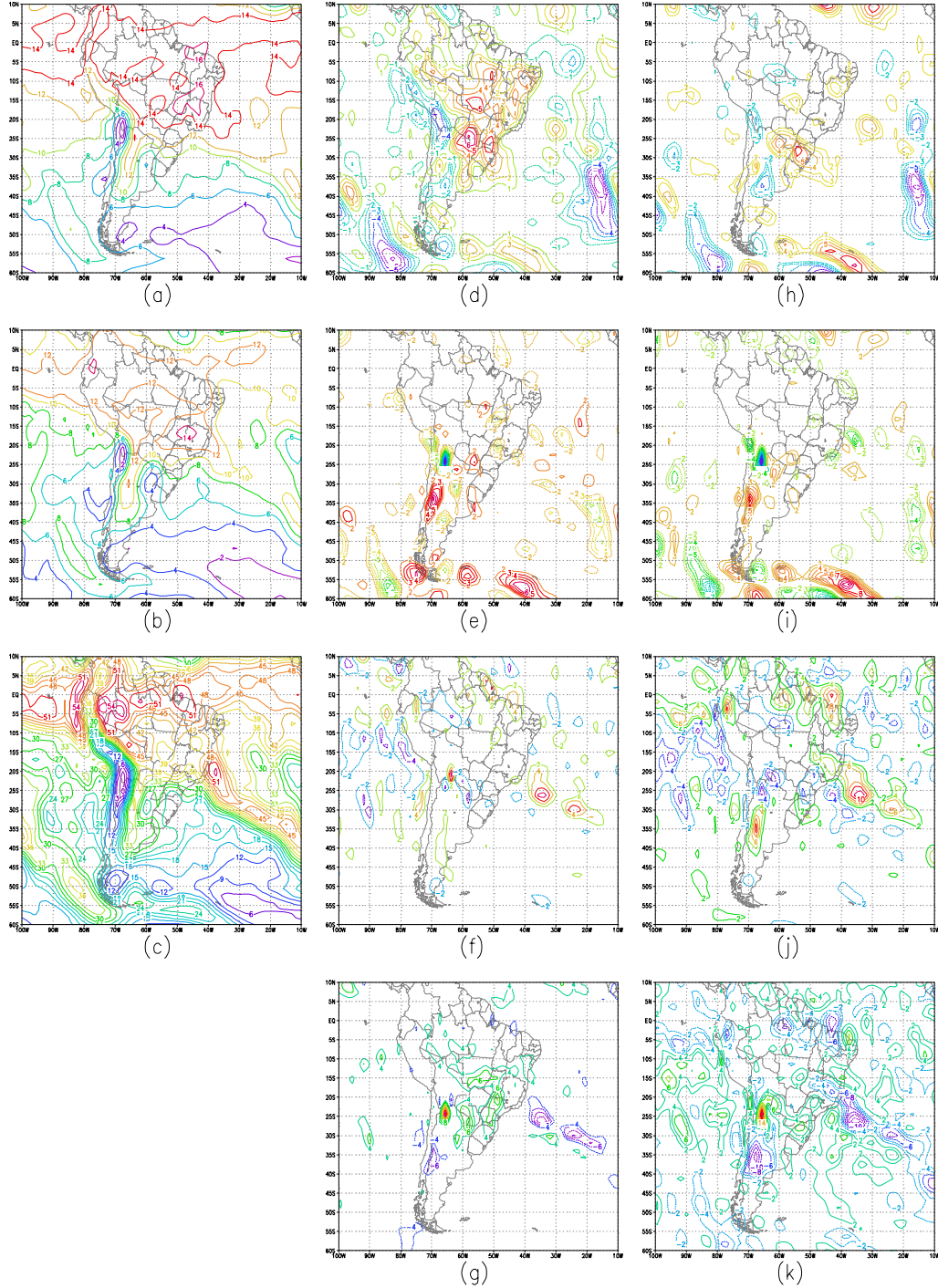


Fig. 4.7 - Balanço de Umidade para o Episódio ZCAS e AB. Análise – 17/03/97 : (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg^{-1}]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg^{-1}]; (c) Água Precipitável [Kg m^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (f) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (j) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]

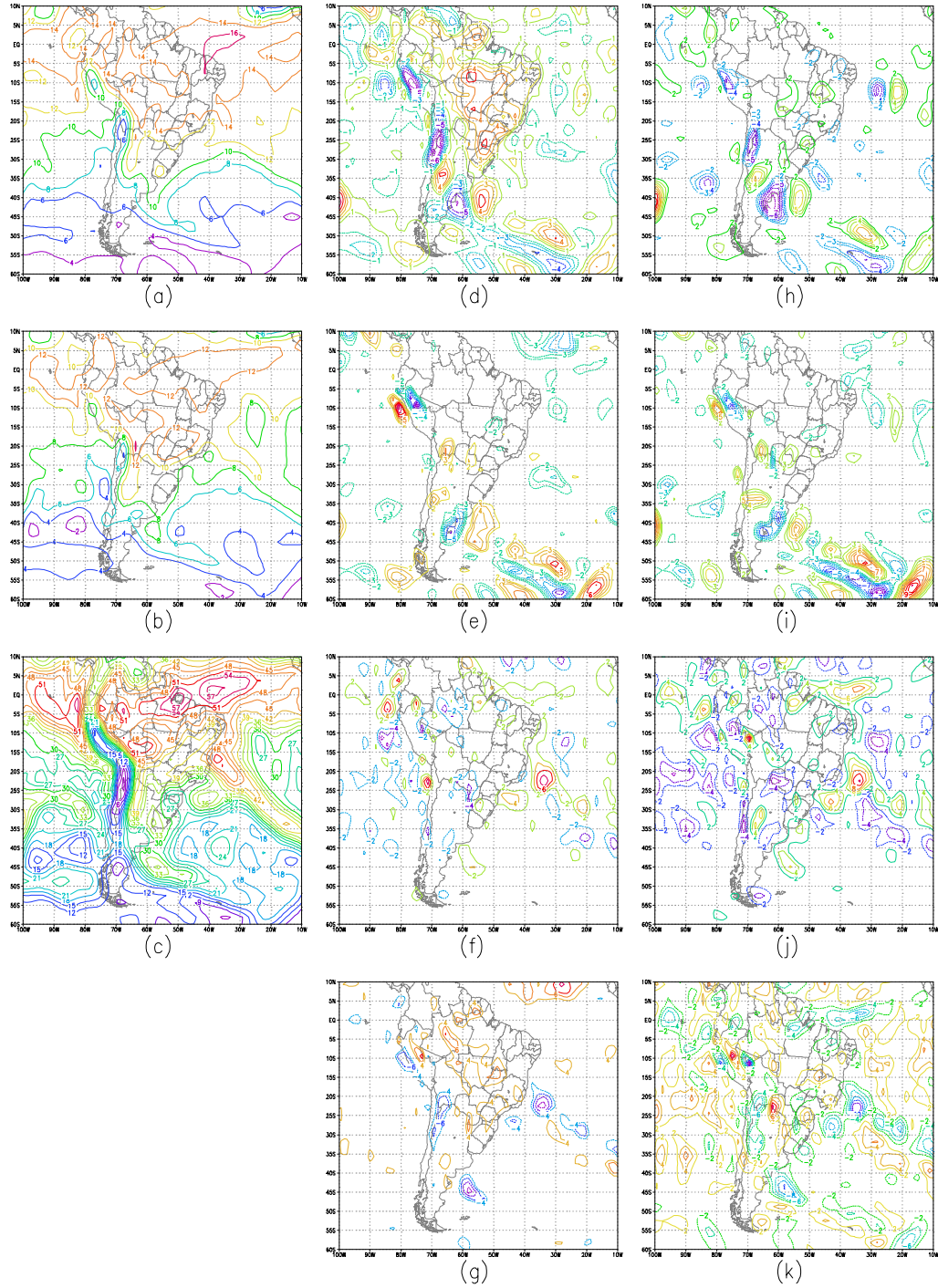


Fig. 4.8 - Balanço de Umidade para o Episódio ZCAS e AB. Análise – 20/03/97 : (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg^{-1}]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg^{-1}]; (c) Água Precipitável [Kg m^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{gKg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (g) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]

4.2 EPISÓDIO 2: SISTEMAS FRONTAIS E CICLOGÊNESE E

Os campos de vorticidade (Fig. 4.9 (a) e 4.11 (a)) e divergência (Fig. 4.9 (b) e 4.11 (b)) indicam valores altos de vorticidade ciclônica e convergência, respectivamente, na região próxima ao litoral do Rio Grande do Sul, onde atua o vórtice ciclônico (925hPa). Estes valores também são encontrados no centro de baixa pressão dos sistemas frontais que atuaram durante o período analisado. Em 200 hPa (Fig. 4.10 (a) e 4.12 (a)), observa-se núcleos de vorticidade anticiclônica sobre o continente e a oeste de uma crista próxima ao litoral da Região Sul do Brasil e núcleos de vorticidade ciclônica a leste do cavado que atua sobre o Uruguai e Rio Grande do Sul, nos dias 29 e 30. Nas figuras 4.10(b) e 4.12 (b), nota-se também núcleos de divergência associados ao vórtice ciclônico de baixos níveis.

No nível de 925 hPa (Fig. 4.9 e 4.11), verifica-se que na região da ciclogênese, há um núcleo positivo no termo de resíduo da equação da vorticidade, devido principalmente ao termo de divergência (estiramento) que é máximo nesta região ($\sim 27\text{Hz}/\text{dia}$). Nas demais regiões, verifica-se que o termo de advecção horizontal de vorticidade é o que mais contribui para o resíduo.

Em alguns pontos de grade, os termos de tendência local e advecção horizontal de vorticidade tendem a se compensar assim como os termos de torção e advecção vertical de vorticidade. O termo $-\beta v$ possui uma ordem de grandeza menor em relação aos demais, a componente do estiramento devido à vorticidade relativa é menor do que a componente associada à vorticidade planetária, exceto na região da ciclogênese.

Em 200 hPa (Fig. 4.10 e 4.12), no dia 29, observa-se a presença de um cavado sobre a Região Sul do Brasil (35S, 50W), associado ao vórtice ciclônico em baixos níveis. Verifica-se através do resíduo uma “fonte” de vorticidade a leste do eixo do cavado e um “sumidouro” de vorticidade a oeste do eixo do cavado. Analisando os demais termos da equação da vorticidade verifica-se que as componentes do termo de estiramento

tendem a se compensar e, que os termos de advecção vertical de vorticidade e torção são relativamente pequenos, exercendo pouca influência no resíduo. Além disso, o termo $-\beta v$ tem uma ordem de grandeza menor e o termo de tendência local apresenta sinal oposto ao termo de advecção horizontal de vorticidade relativa, cancelando-se em alguns pontos. Desta forma, o resíduo é explicado pelo termo de advecção horizontal de vorticidade relativa que tende a mover o padrão de vorticidade e, conseqüentemente, os cavados e cristas para leste.

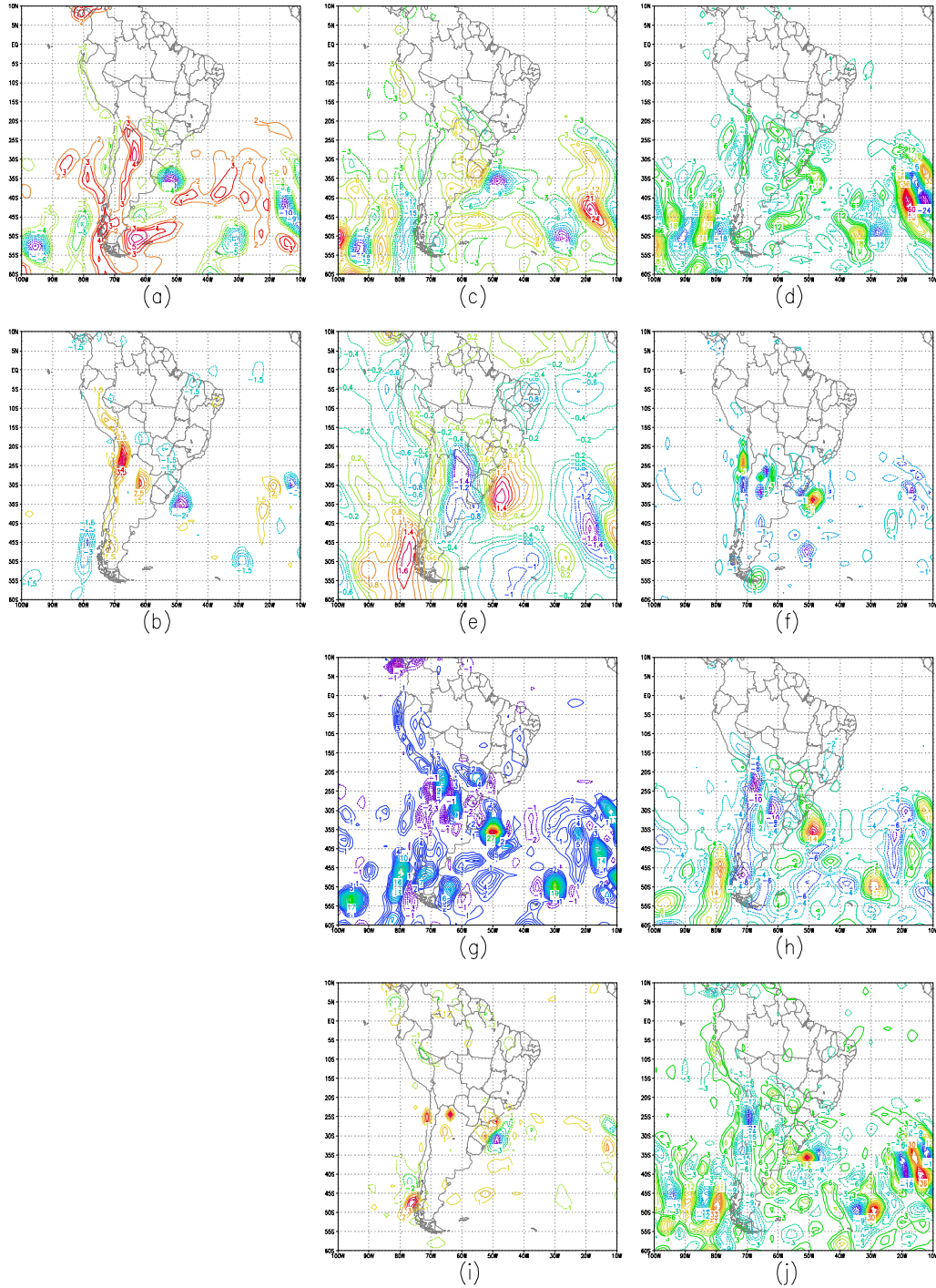


Fig. 4.9 - Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 925 hPa. Análise – 29/05/99: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

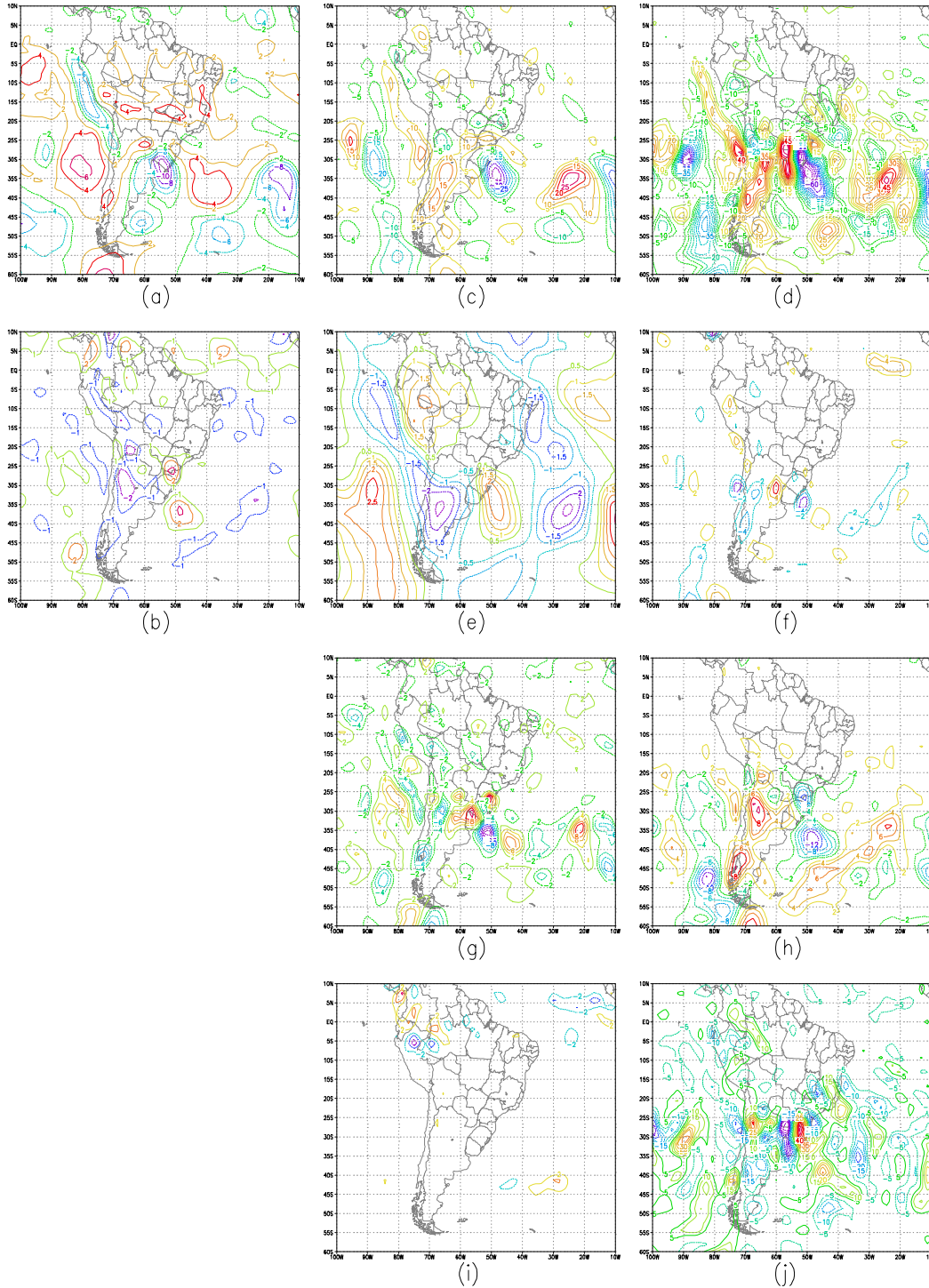


Fig. 4.10 - Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 200 hPa. Análise – 29/05/99: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \bar{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

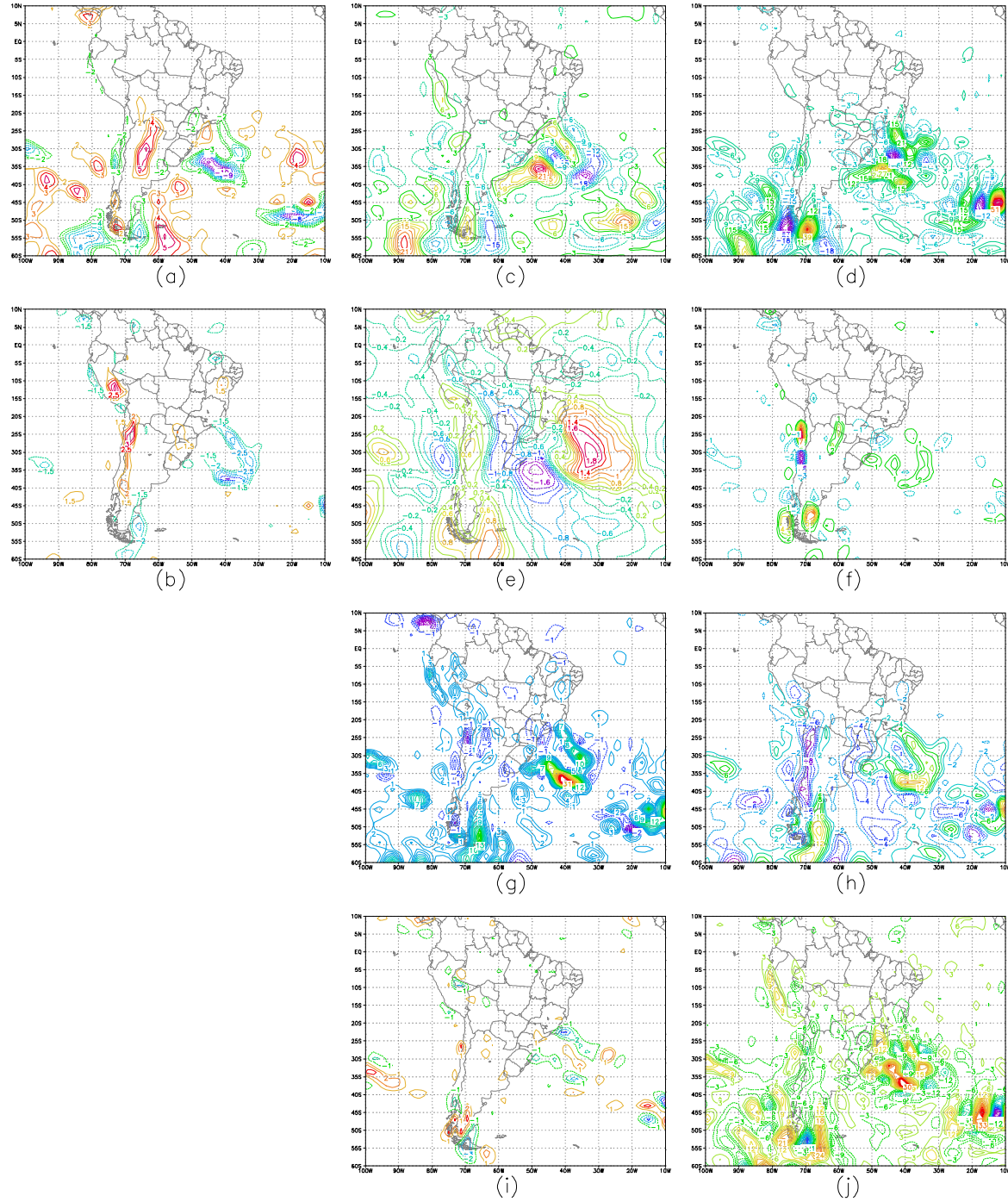


Fig. 4.11 - Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 925 hPa. Análise – 30/05/99: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

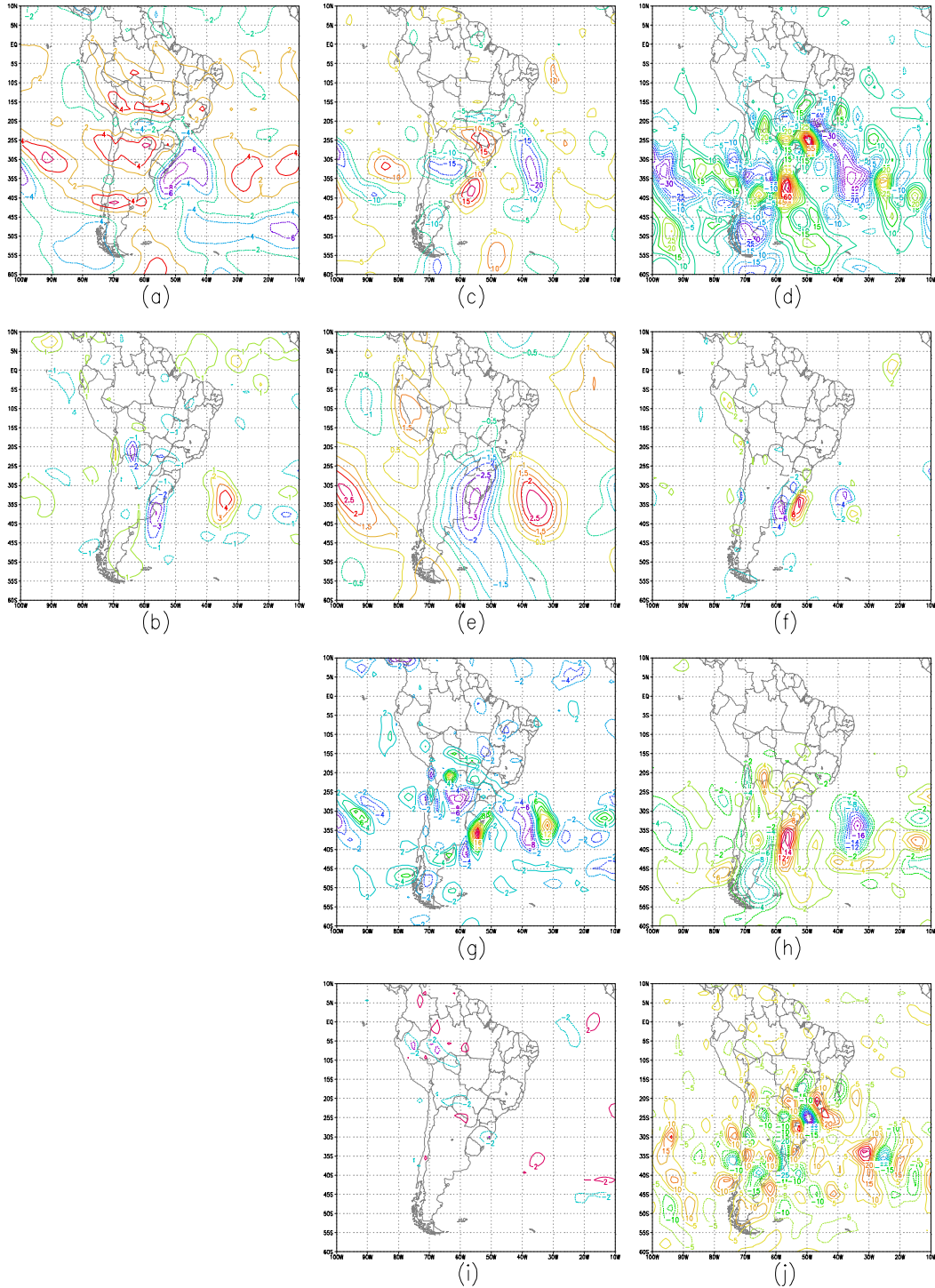


Fig. 4.12 - Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 200 hPa. Análise – 30/05/99: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \bar{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

Os painéis (a) e (g) das figuras 4.13 e 4.14 apresentam os campos de temperatura nos níveis de 850 e 500 hPa, respectivamente. Em 850 hPa, observa-se que as temperaturas mais elevadas são encontradas sobre o continente. No nível de 500 hPa, verifica-se alguns centros de temperaturas mais elevadas (mais baixas), associados a cavados (cristas) em altos níveis.

Para a equação da termodinâmica, nível de 850 hPa (Fig. 4.13 e 4.14 (b) - (f)), observa-se um núcleo de resíduo positivo na região no vórtice ciclônico e sistema frontal devido à ciclogênese que ocorreu próximo ao litoral da Região Sul do Brasil. Este resíduo pode ser explicado pelos termos de advecção vertical de temperatura e de geopotencial nesta região (ar quente sendo advectado para os níveis mais baixos, ocasionando uma fonte de calor). Os termos de tendência local e advecção horizontal de temperatura tendem a se compensar.

Em 500 hPa, Fig. 4.13 e 4.14 (h)-(l), observa-se que os termos de tendência local e advecção horizontal de temperatura apresenta valores maiores em módulo na região ao sul de 25° S, sendo que estes termos tendem a se compensar em diversos pontos de grade. Os termos relativos à advecção vertical de temperatura e de geopotencial são os que mais contribuem para o resíduo. Na região do vórtice ciclônico, novamente, observa-se um núcleo de resíduo positivo, indicando uma fonte de calor.

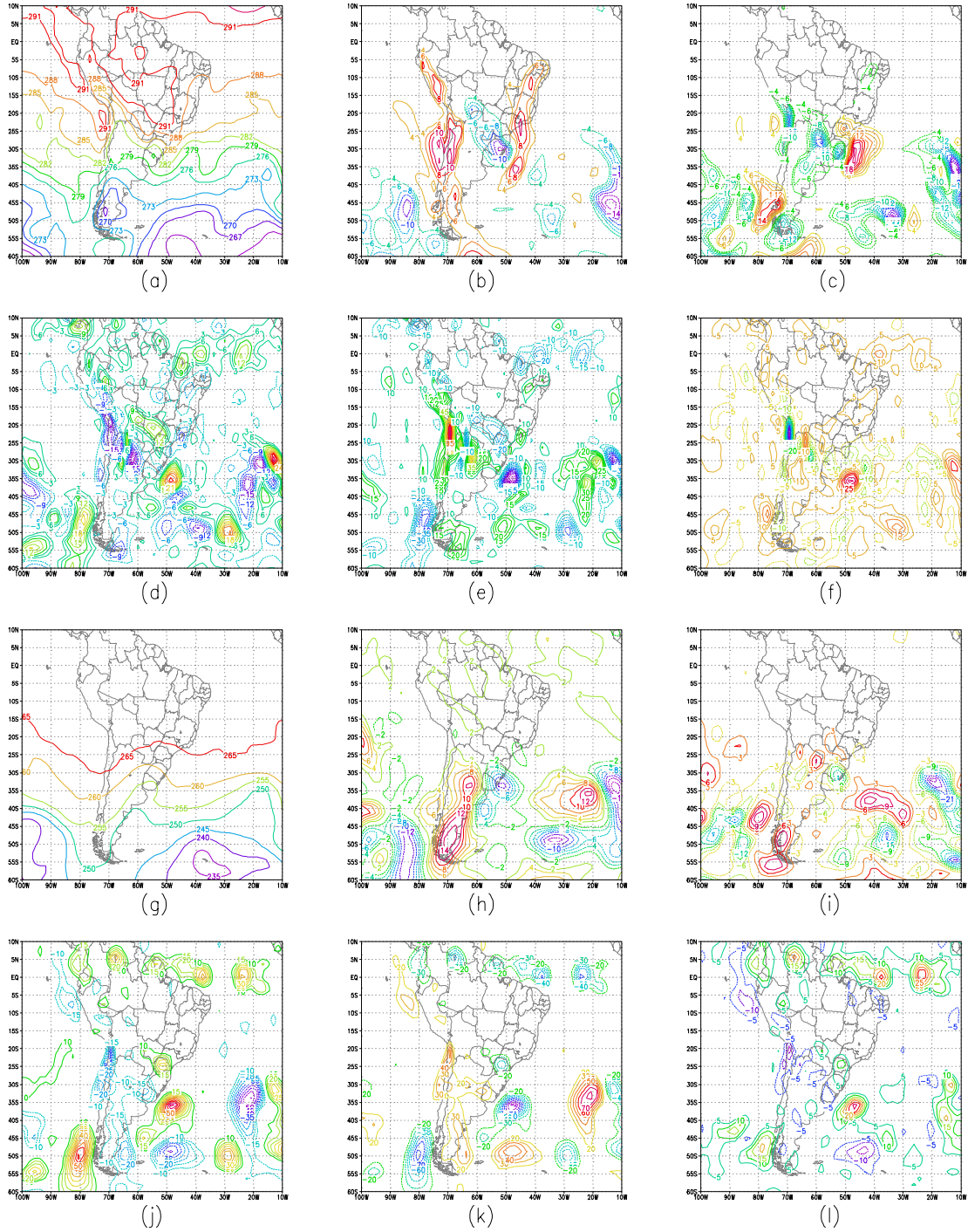


Fig. 4.13 - Balanço de Calor para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Análise - 29/05/99: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\bar{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 500 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\bar{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

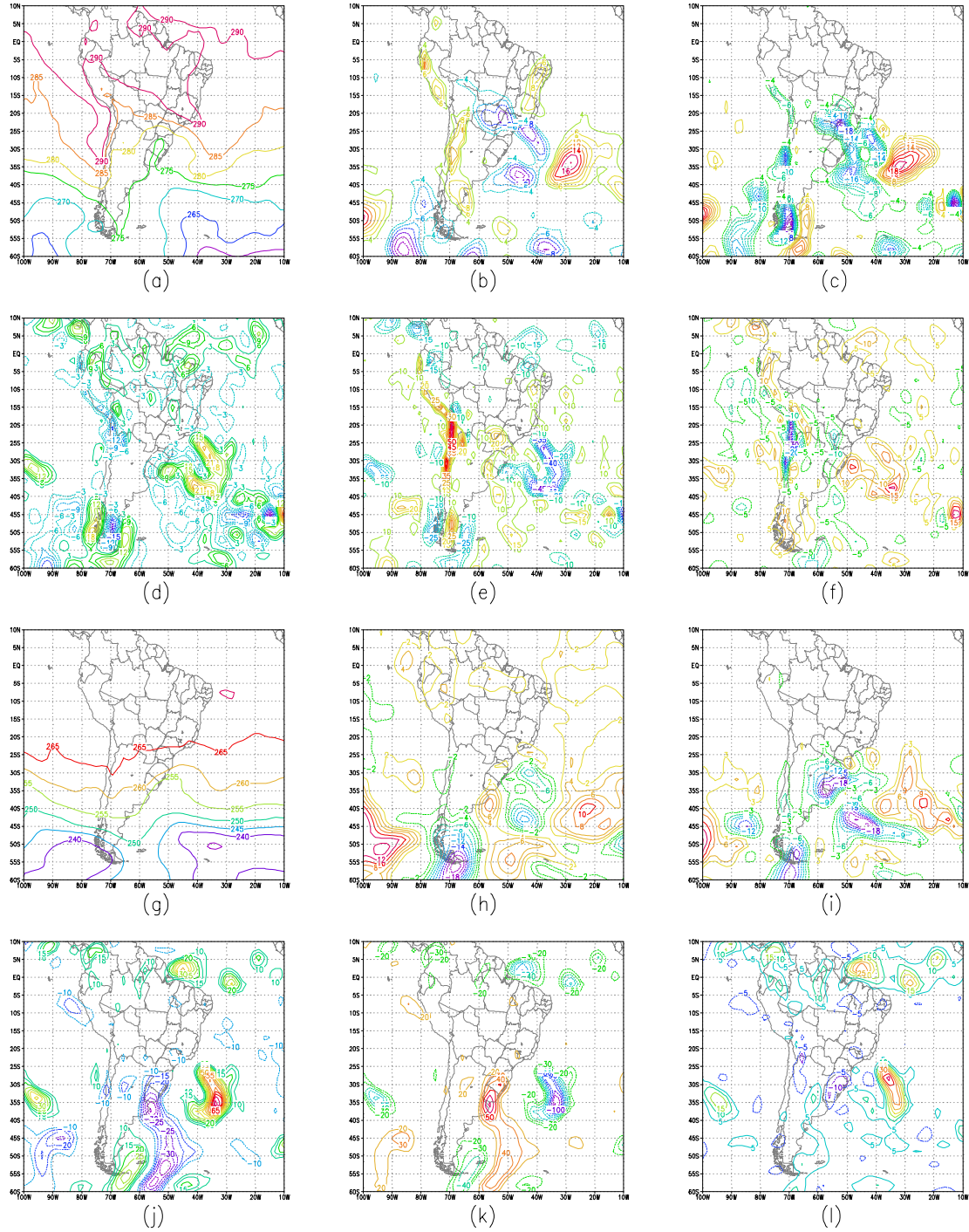


Fig. 4.14 - Balanço de Calor para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Análise - 30/05/99: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\bar{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 500 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\bar{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

Nos painéis (a) e (b) das figuras 4.15 e 4.16, são apresentados os campos de umidade específica para os níveis de 925 e 850 hPa, respectivamente. Nota-se que valores mais altos de umidade específica são encontrados nas faixa ao norte do equador e próximo às regiões dos sistemas frontais, o que consequentemente contribui para valores elevados de água precipitável nestas regiões.

A análise dos termos da equação da conservação de umidade específica em 925 e 850 hPa (Fig. 4.15 e 4.16), indica que os termos de tendência local e advecção horizontal de umidade tendem a se compensar em diversos pontos de grade. Desta forma, observa-se que o resíduo é basicamente explicado pelo termo de advecção vertical de umidade. Na região próximo ao litoral do Rio Grande do Sul, há um núcleo de resíduo negativo definindo um sumidouro de umidade devido a advecção vertical de umidade dos níveis mais baixos para os mais altos. Sobre o Paraguai e Região Amazônica, observa-se núcleos positivos de resíduo, que indicam a presença de fontes de umidade.

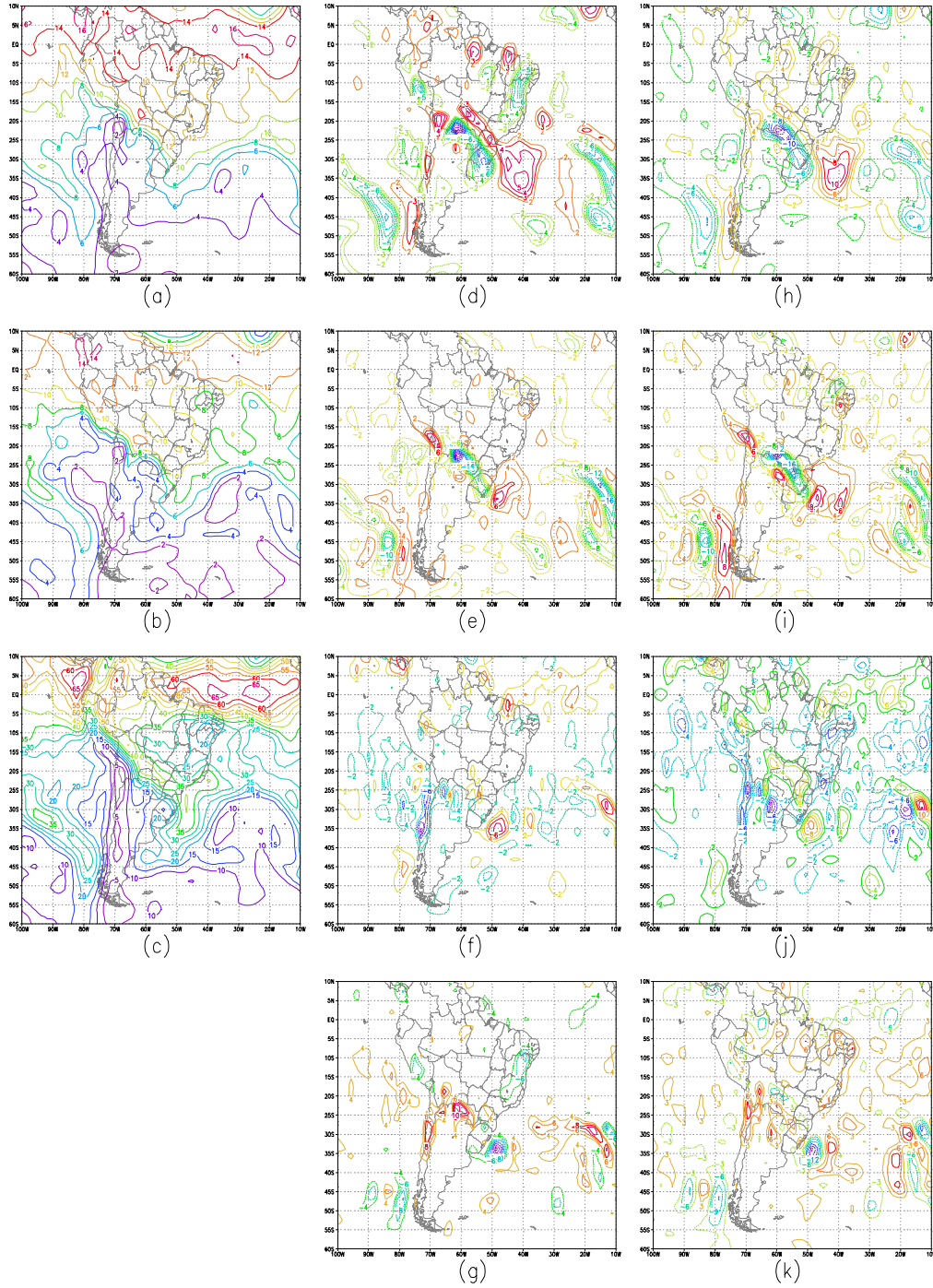


Fig. 4.15 - Balanço de Umidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Análise - 29/05/99: (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg^{-1}]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg^{-1}]; (c) Água Precipitável [Kg m^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{gKg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{gKg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{gKg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (g) Resíduo [$\text{gKg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{gKg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]

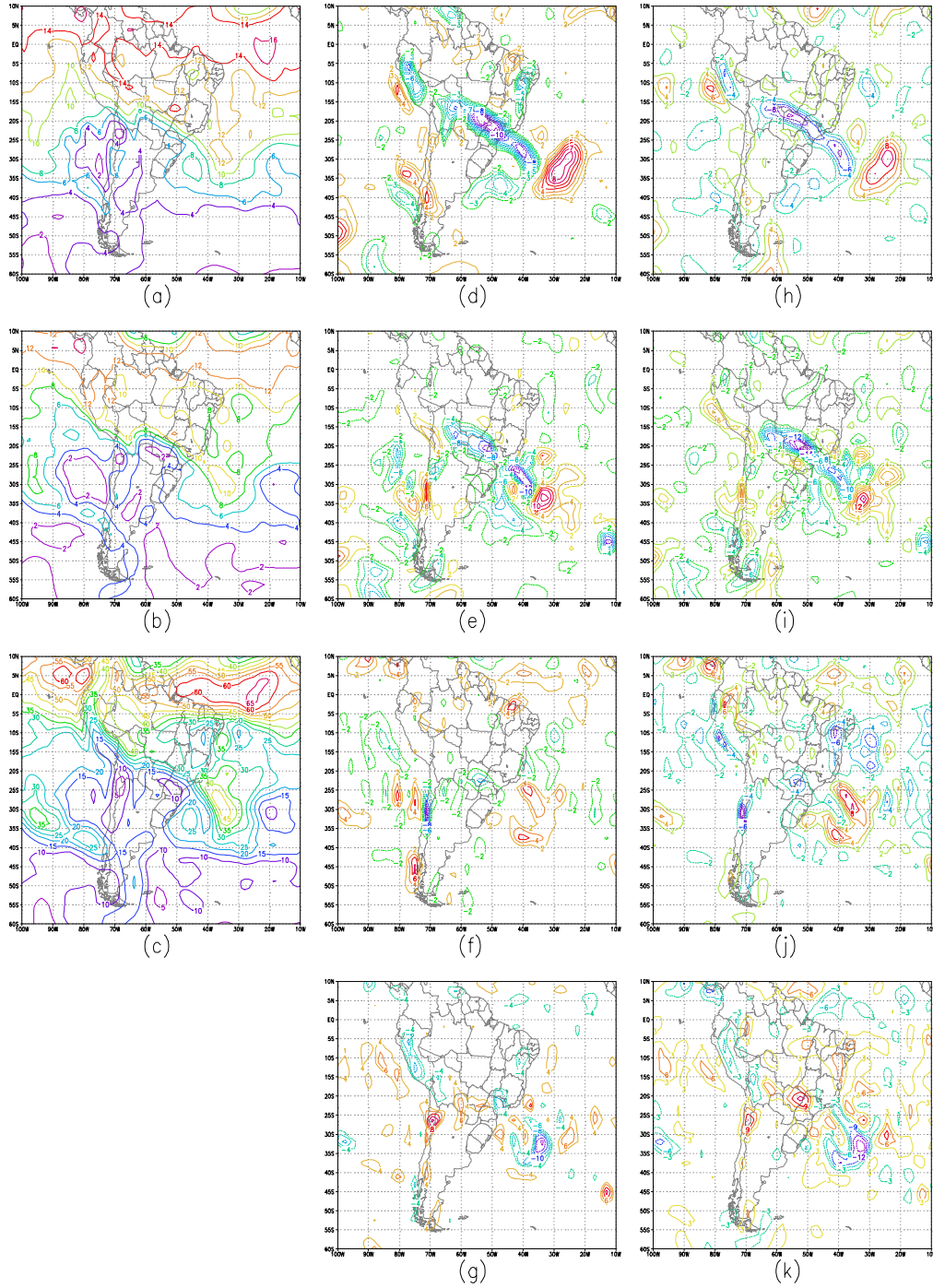


Fig. 4.16 - Balanço de Umidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Análise - 30/05/99: (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg^{-1}]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg^{-1}]; (c) Água Precipitável [Kg m^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{gKg}^{-1}\text{dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{gKg}^{-1}\text{dia}^{-1}$]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{gKg}^{-1}\text{dia}^{-1}$]; (g) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1}\text{dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1}\text{dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1}\text{dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1}\text{dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1}\text{dia}^{-1}$]

4.3 EPISÓDIO 3: EL NIÑO

Os painéis (a) e (b) das figuras 4.17 - 4.20 apresentam os campos de vorticidade e divergência em 850 e 200 hPa, respectivamente. Observa-se que em 850 hPa, a vorticidade relativa praticamente desprezível no Pacífico Equatorial Central e Leste; alguns núcleos de convergência são encontrados próximo ao equador mas em geral, estes termos também são relativamente pequenos. No nível de 200 hPa, valores maiores de vorticidade relativa anticiclônica são encontrados próximos à costa do Peru e sobre a região central da América do Sul; sobre a Região Nordeste do Brasil, nota-se a presença de um núcleo de vorticidade relativa ciclônica. Em geral, na região de estudo, o campo de divergência apresentou valores pequenos; próximo ao equador, verifica-se alguns centros de convergência.

Na análise dos termos da equação da vorticidade no nível de 850 hPa, Figuras 4.17 e 4.19, verifica-se que os maiores valores em módulo são obtidos para os termos de tendência local e advecção horizontal de vorticidade relativa e que estes termos apresentam, de um modo geral, maior influência no resíduo.

Os termos de advecção horizontal de vorticidade planetária, advecção vertical de vorticidade e torção possuem uma ordem de grandeza inferior aos demais termos. Além disso, observa-se que em alguns pontos de grade, os termos de torção e advecção vertical de vorticidade tendem a se somar. As componentes do termo de divergência apresentam a mesma ordem de grandeza e tendem a se compensar em alguns pontos de grade. Desta forma, a produção de vorticidade ciclônica ou anticiclônica por um campo de convergência ou divergência depende da relação entre a vorticidade relativa e a vorticidade planetária.

Em 200 hPa (Fig. 4.18 e 4.20), observa-se que a maior contribuição para o termo de resíduo deve-se à advecção horizontal e à tendência local de vorticidade. Verifica-se também que há compensação entre os termos de tendência local e advecção horizontal de vorticidade em alguns pontos de grade. As componentes do termo de estiramento apresentam a mesma ordem de grandeza e tendem a se compensar em alguns pontos de grade. Em algumas regiões, verifica-se a contribuição dos termos de torção e advecção vertical de vorticidade no resíduo.

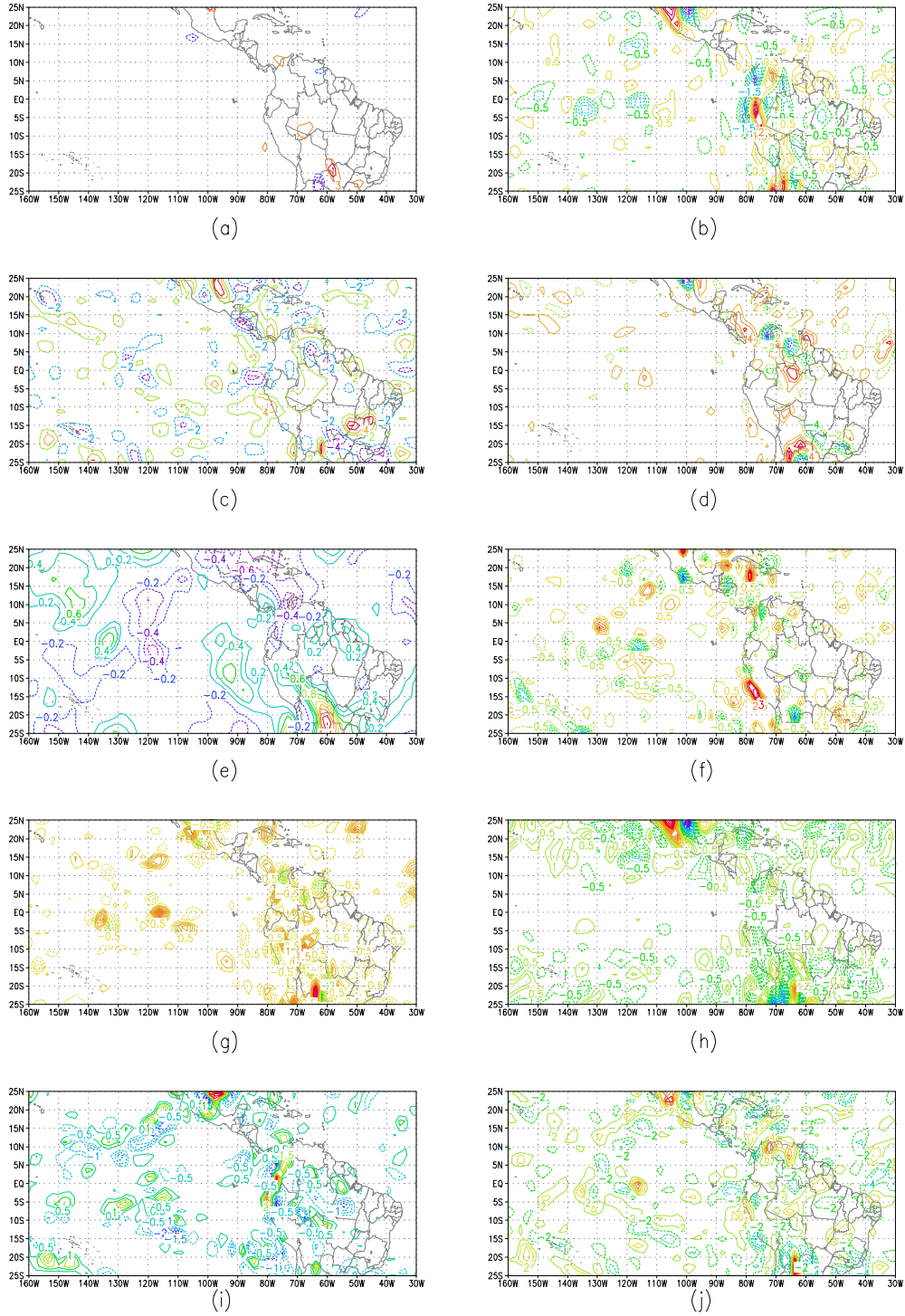


Fig. 4.17 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 850 hPa. Análise – 25/12/97: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{\mathbf{V}}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta\mathbf{v}$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega\partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi\nabla \cdot \bar{\mathbf{V}}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f\nabla \cdot \bar{\mathbf{V}}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{\mathbf{k}} \cdot (\nabla\omega \times \partial\bar{\mathbf{V}}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

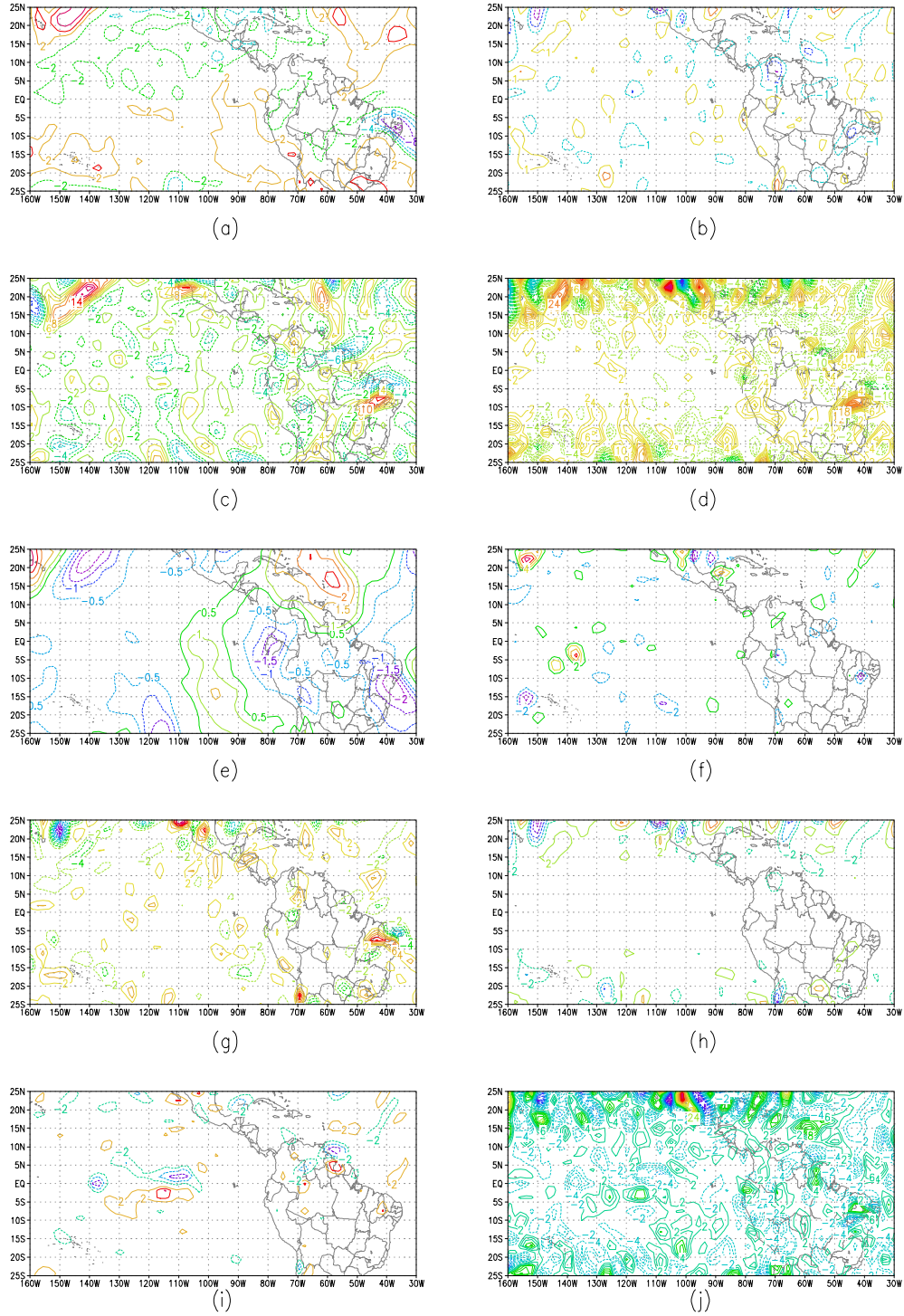


Fig. 4.18 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 200 hPa. Análise – 25/12/97: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial \xi / \partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{\mathbf{V}}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta \cdot \mathbf{v}$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial \xi / \partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{\mathbf{k}} \cdot (\nabla \omega \times \partial \bar{\mathbf{V}} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

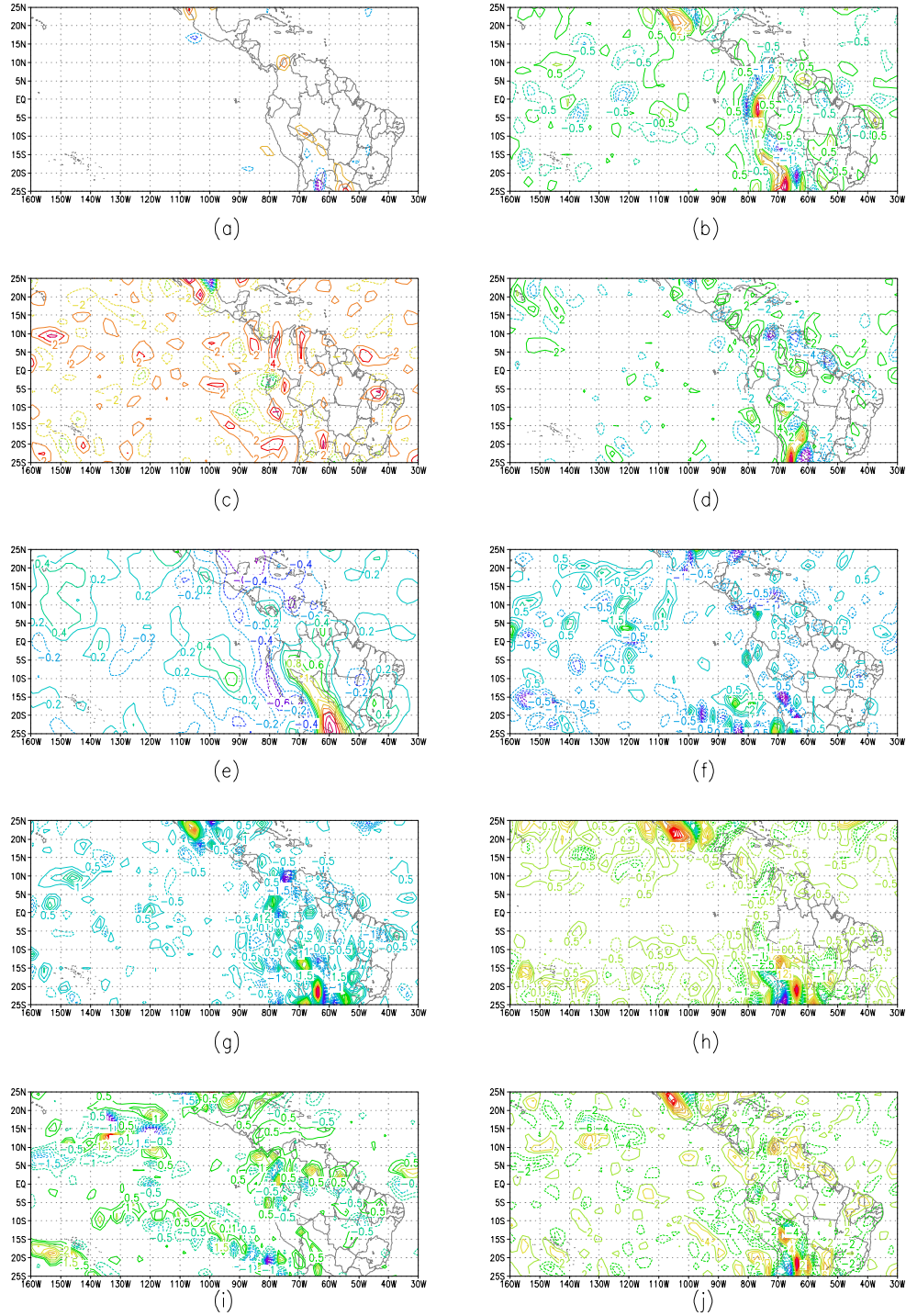


Fig. 4.19 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 850 hPa. Análise – 26/12/97: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla\omega \times \partial\vec{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

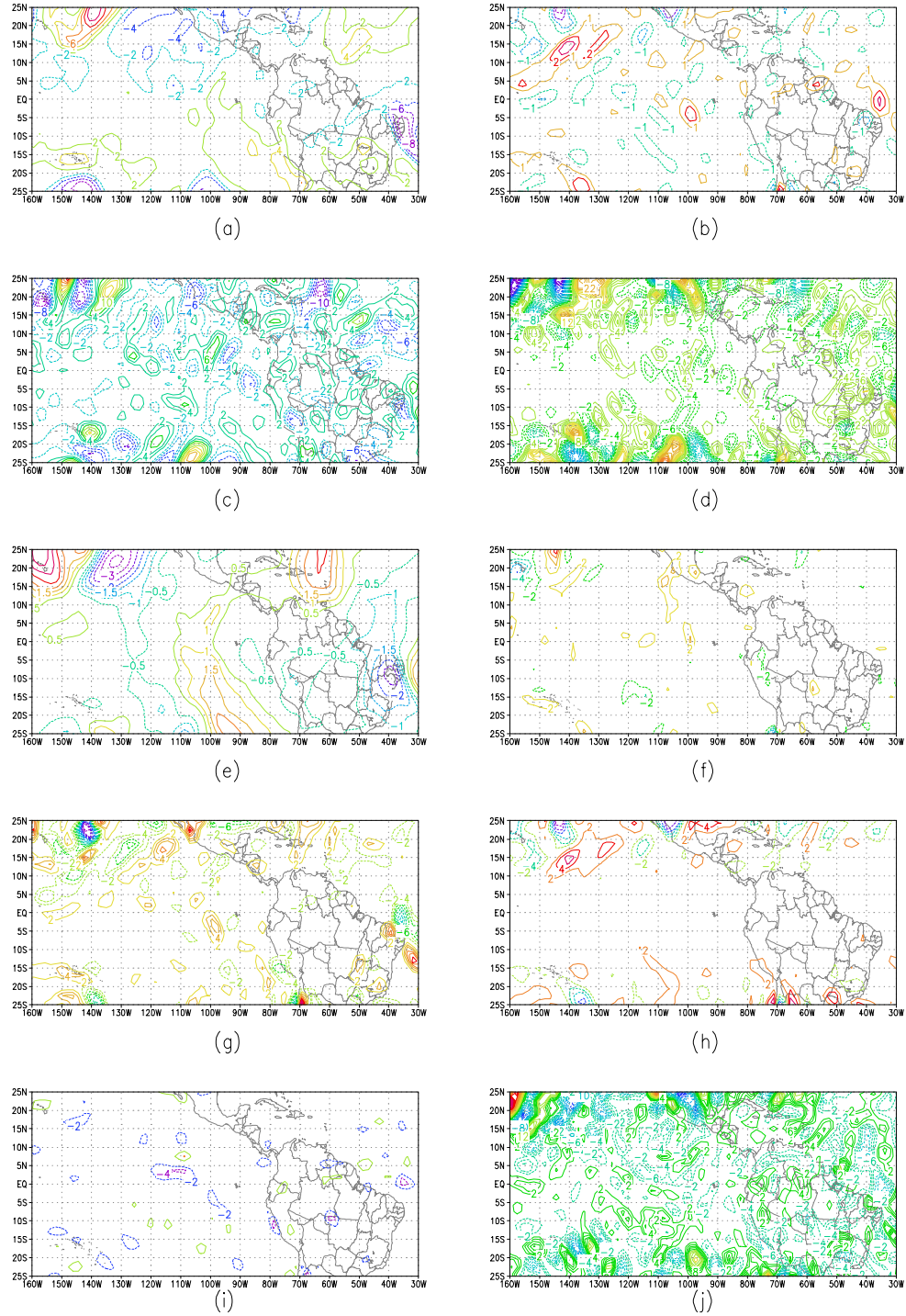


Fig. 4.20 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 200 hPa. Análise – 26/12/97: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \vec{V} \cdot \vec{\nabla}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

Os campos de temperatura (Fig. 4.21(a) e 4.22 (a)) indicam uma região de temperaturas mais elevadas sobre o Oceano Pacífico Equatorial Central e Leste (850 hPa), entre 5° N e 15° S, típico de episódios de El Niño.

De um modo geral, no nível de 850 hPa (Fig. 4.21 e 4.22 (b) - (f)), os termos de advecção vertical de temperatura e advecção de espessura são os que mais contribuem para o resíduo na região do Pacífico Equatorial. Sobre o continente, verifica-se que além dos termos de advecção vertical de temperatura e advecção de espessura há a contribuição do termo de tendência local de temperatura no resíduo. O termo de advecção horizontal de temperatura é menos intenso, sendo que os maiores valores são obtidos nas latitudes mais altas da região em estudo, onde o gradiente de temperatura é mais intenso. Através do resíduo, observa-se que há uma fonte de calor na região do Oceano Pacífico Equatorial Central.

Em 200 hPa (Fig. 4.21 e 4.22 (h) - (l)), o resíduo é melhor explicado pelos termos de advecção vertical de temperatura e de geopotencial. Em geral, os termos de tendência local e advecção horizontal de temperatura apresentam uma ordem de grandeza menor, sendo que os maiores valores em módulo são encontrados nas latitudes ao norte de 10° N e ao sul de 10° S; em alguns pontos de grade estes termos tendem a se compensar.

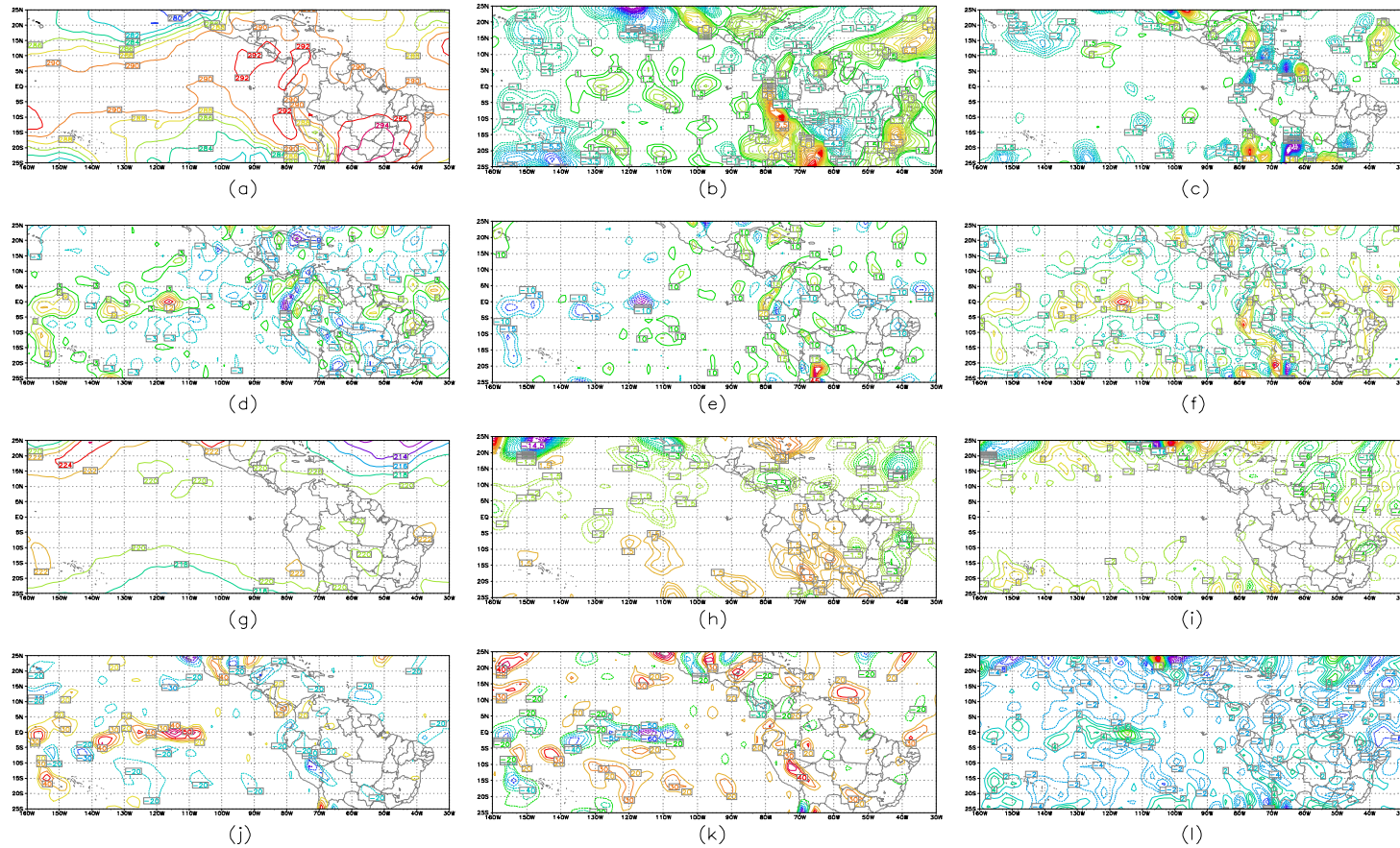


Fig. 4.21 - Balanço de Calor para o Episódio El Niño. Análise- 25/12/97: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

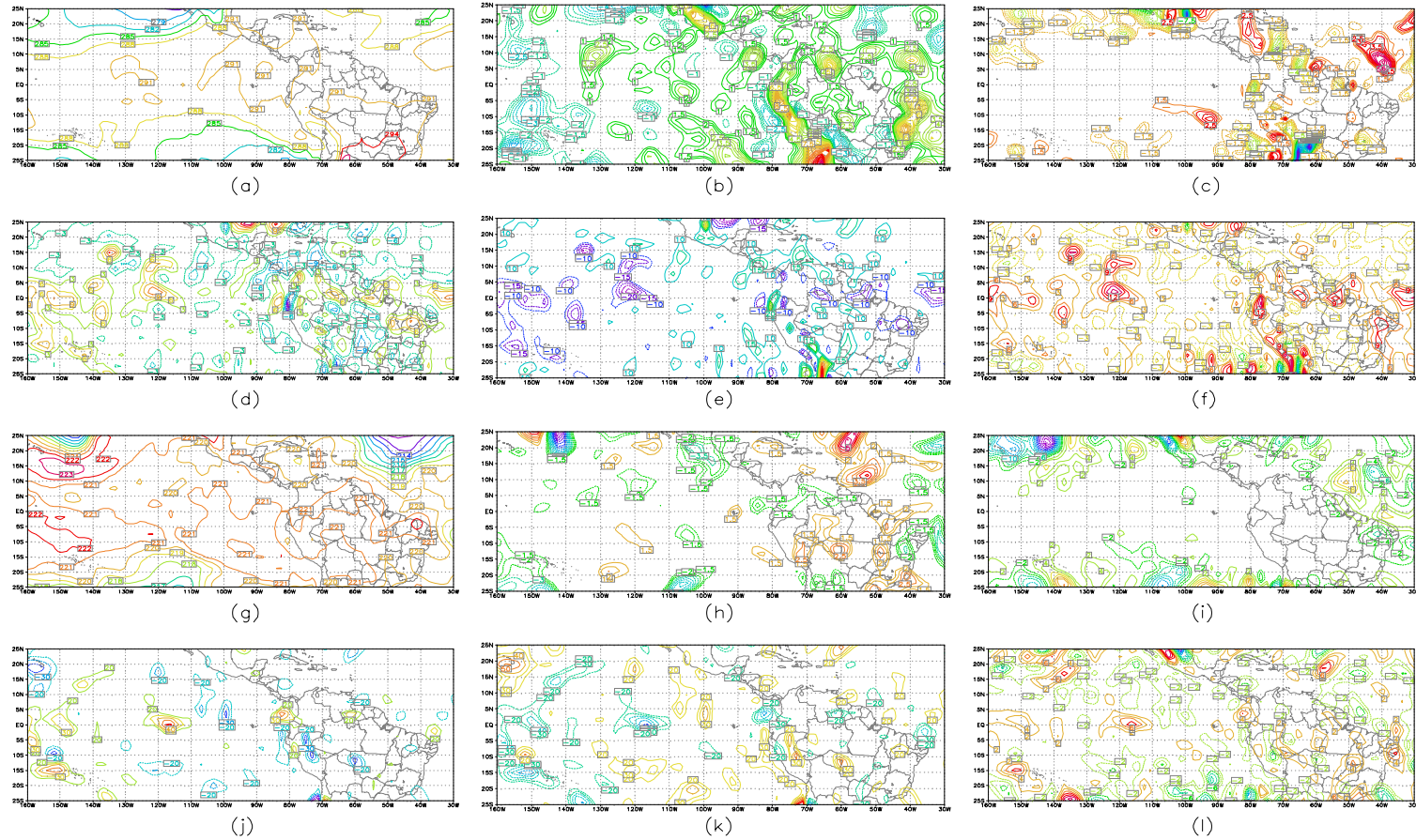


Fig. 4.22 - Balanço de Calor para o Episódio El Niño. Análise – 26/12/97: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\bar{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\bar{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

Nos painéis (a) e (b) das figuras 4.23 e 4.24, são apresentados os campos de umidade específica para os níveis de 925 e 850 hPa, respectivamente. Em ambos os níveis, nota-se fortes gradientes de umidade específica sobre o Oceano Pacífico Equatorial Central e sobre a maior parte do continente sul americano; conseqüentemente, valores grandes de água precipitável (painel 4.23 (c) e 4.24 (c)) são encontrados nesta região.

No nível de 925 hPa (Fig. 4.23 e 4.24 (d) - (f)), observa-se que sobre o Oceano Pacífico Equatorial Central, o termo de advecção vertical de umidade é o que mais contribui para o resíduo, sendo que os valores negativos do resíduo indicam sumidouros de umidade. Os termos de tendência local de umidade e advecção horizontal de umidade são relativamente pequenos nesta região, apresentando valores maiores sobre o Continente Sul Americano. Nas latitudes mais altas da região em estudo, estes termos tendem a se compensar.

Em 850 hPa (Fig. 4.23 e 4.24 (g) - (i)), verifica-se um padrão semelhante ao observado em 925 hPa. O resíduo deve-se basicamente ao termo de advecção vertical de umidade. Em alguns dias, nota-se a influência da tendência local de umidade no resíduo. Além disso, observa-se que sobre o continente os termos de advecção horizontal e tendência local de umidade são os que mais influenciam no resíduo.

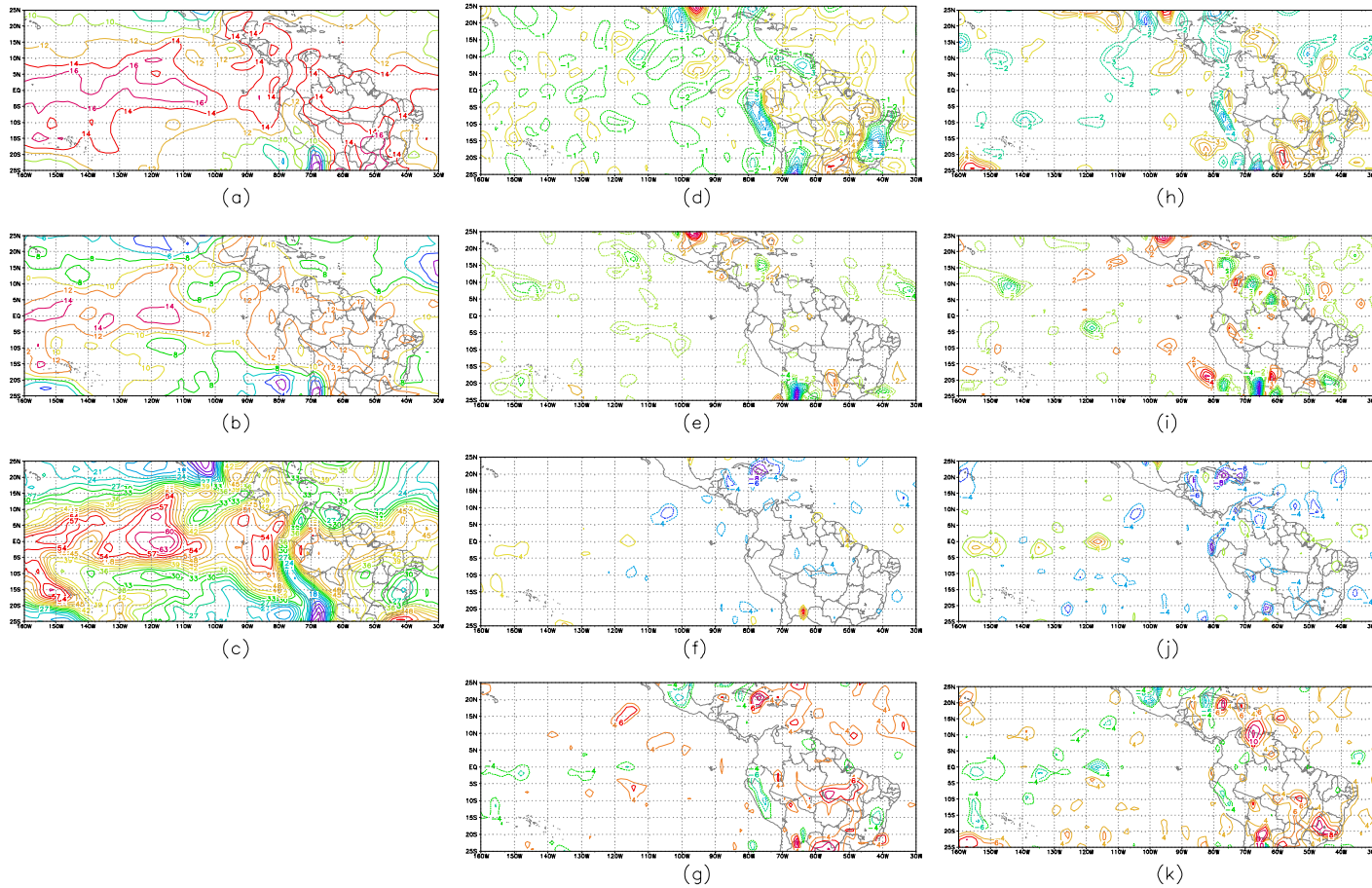


Fig. 4.23 - Balanço de Umidade para o Episódio El Niño. Análise – 25/12/97: (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg^{-1}]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg^{-1}]; (c) Água Precipitável [Kg m^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (g) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]

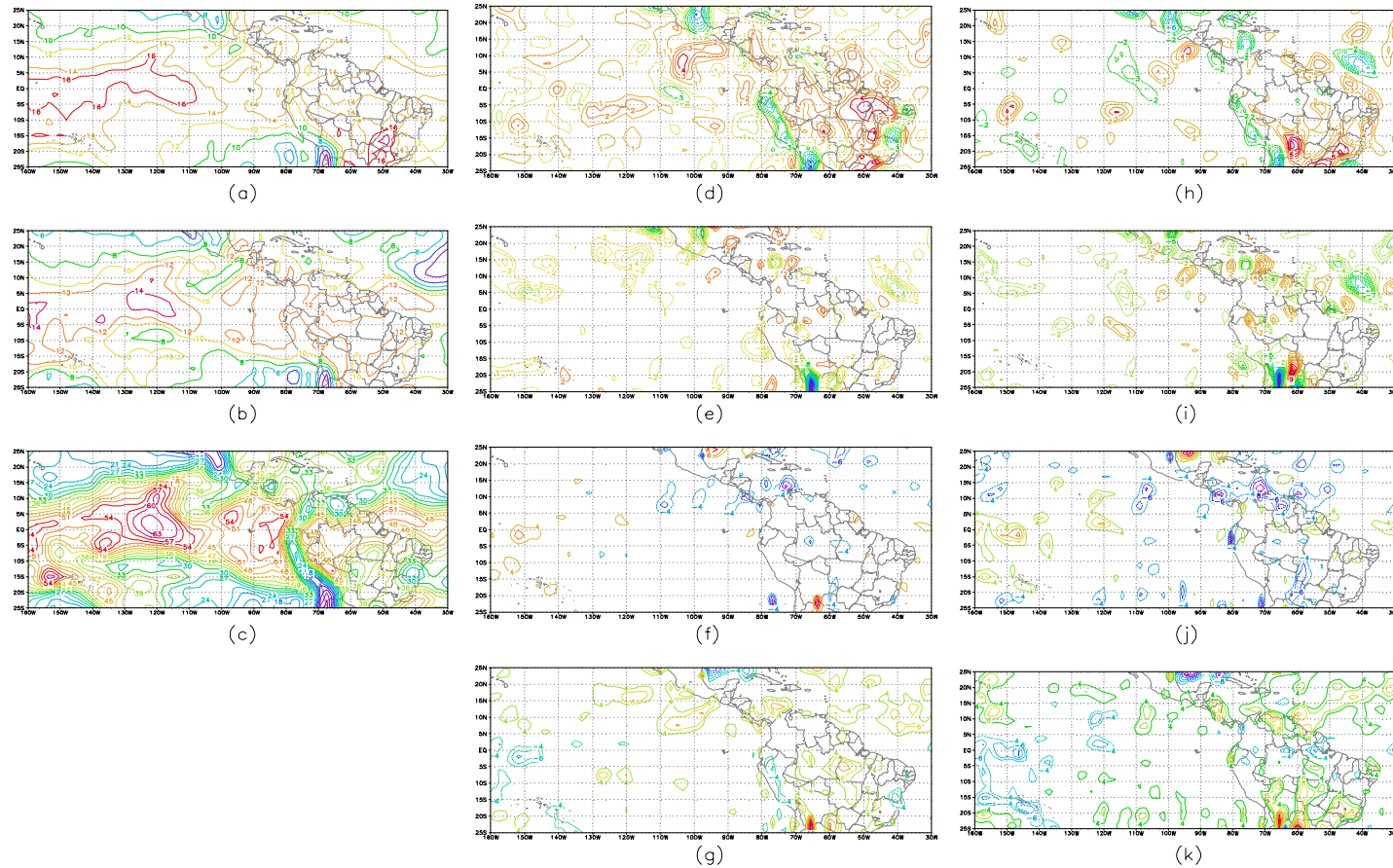


Fig. 4.24 - Balanço de Umidade para o Episódio El Niño. Análise – 26/12/97: (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]

4.4 EPISÓDIO 4: LA NIÑA

Os campos de vorticidade relativa e divergência são apresentados nos painéis (a) e (b), respectivamente, das figuras 4.26-4.28. Assim como no Episódio de El Niño, em 850 hPa, estes campos indicam valores bastante pequenos em toda a área de estudo. No nível de 200 hPa, a vorticidade apresenta valores maiores, sendo negativa (positiva) na região ao sul (norte) do equador. O campo de divergência não apresenta muitas diferenças com relação ao nível anterior, apresentando apenas algumas regiões de divergência sobre o continente sul americano.

Uma primeira observação a ser feita para a equação da vorticidade é que os termos de advecção horizontal de vorticidade planetária, advecção vertical de vorticidade e torção apresentam uma ordem de grandeza inferior aos demais termos.

Em 850 hPa, Fig. 4.25 e 4.27, verifica-se que os termos de tendência local e advecção horizontal de vorticidade relativa têm, em geral, mesma intensidade, compensando-se em diversos locais. Além disto, verifica-se que o resíduo no Pacífico Equatorial Central deve-se basicamente ao termo de advecção horizontal da vorticidade relativa. A advecção horizontal de vorticidade planetária nesta região é pequena, embora β seja máximo próximo ao Equador.

As componentes do termo de divergência (estiramento), possuem mesma ordem de grandeza e em alguns pontos de grade apresentam sinais opostos. Isto deve-se ao fato de que em latitudes mais próximas ao Equador o parâmetro de Coriolis f e a vorticidade relativa terem a mesma ordem de grandeza. Assim, a produção de vorticidade ciclônica ou anticiclônica a partir de um campo convergente ou divergente, respectivamente, depende da relação entre a vorticidade relativa e a vorticidade planetária: sempre que a vorticidade relativa for negativa, a tendência de um campo convergente é de intensificação da vorticidade.

Os termos de advecção vertical de vorticidade relativa e torção são pequenos também sobre o Oceano Pacífico Equatorial Central, apresentando os maiores valores em módulo sobre o Continente Sul Americano.

No nível de 200 hPa (Fig. 4.28 e 4.30), verifica-se que o resíduo e a advecção horizontal de vorticidade relativa apresentam o mesmo comportamento, isto é, mesma evolução e ordem de grandeza, sendo que os maiores valores em módulo, ocorrem nas latitudes superiores a 10° N. Além disto, nota-se que em alguns pontos de grade há uma compensação entre os termos de tendência local e advecção horizontal de vorticidade e também, entre as componentes do termo de estiramento. A advecção horizontal de vorticidade planetária apresenta-se mais intensa nas latitudes superiores a 10° N e 15° S. Os termos de advecção vertical de vorticidade e torção dos vórtices são pouco intensos no Oceano Pacífico Equatorial Central e tendem a se compensar em alguns pontos.

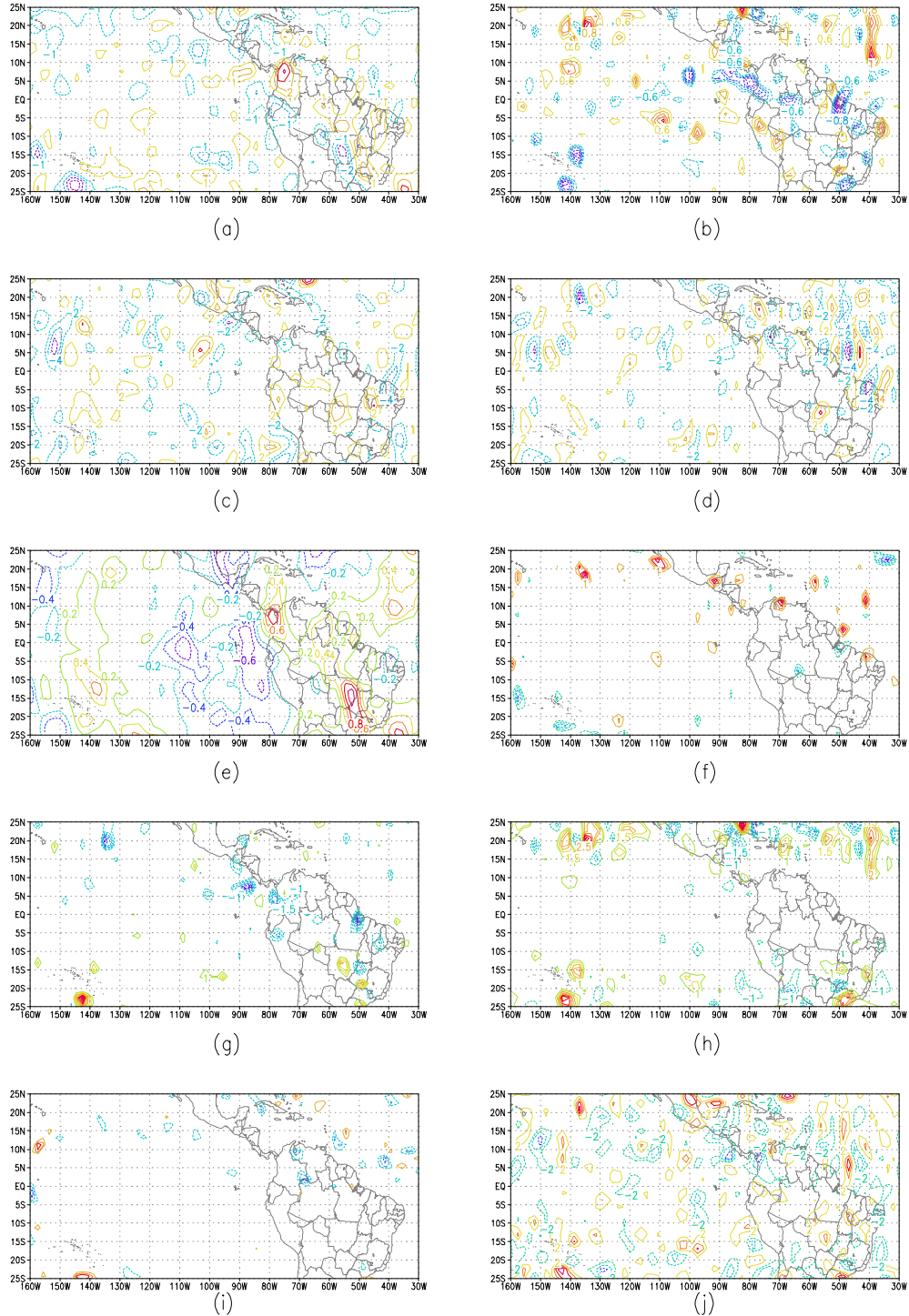


Fig. 4.25 - Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 850 hPa. Análise – 16/01/99: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \vec{v} \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

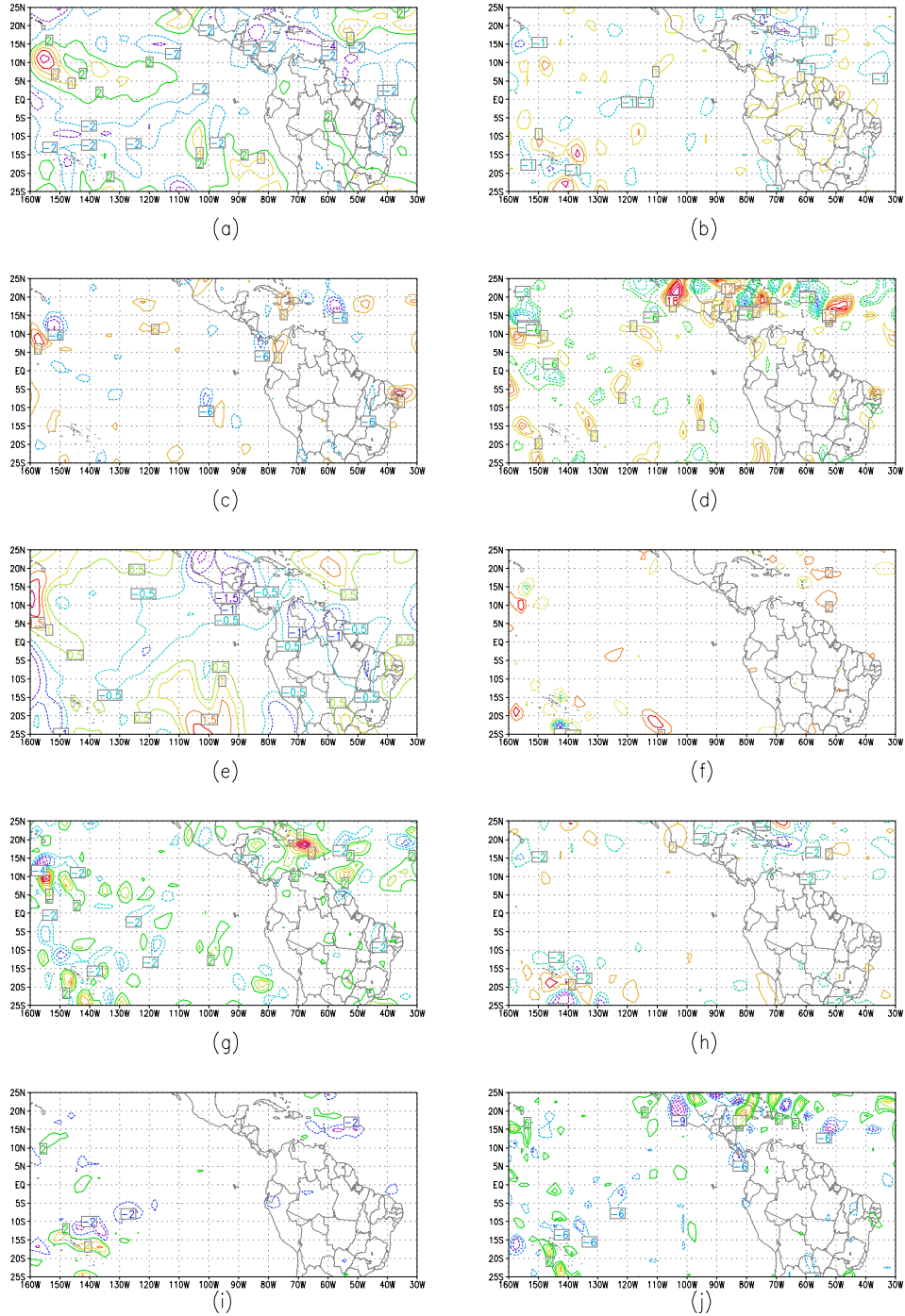


Fig. 4.26 - Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 200 hPa. Análise – 16/01/99: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \bar{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

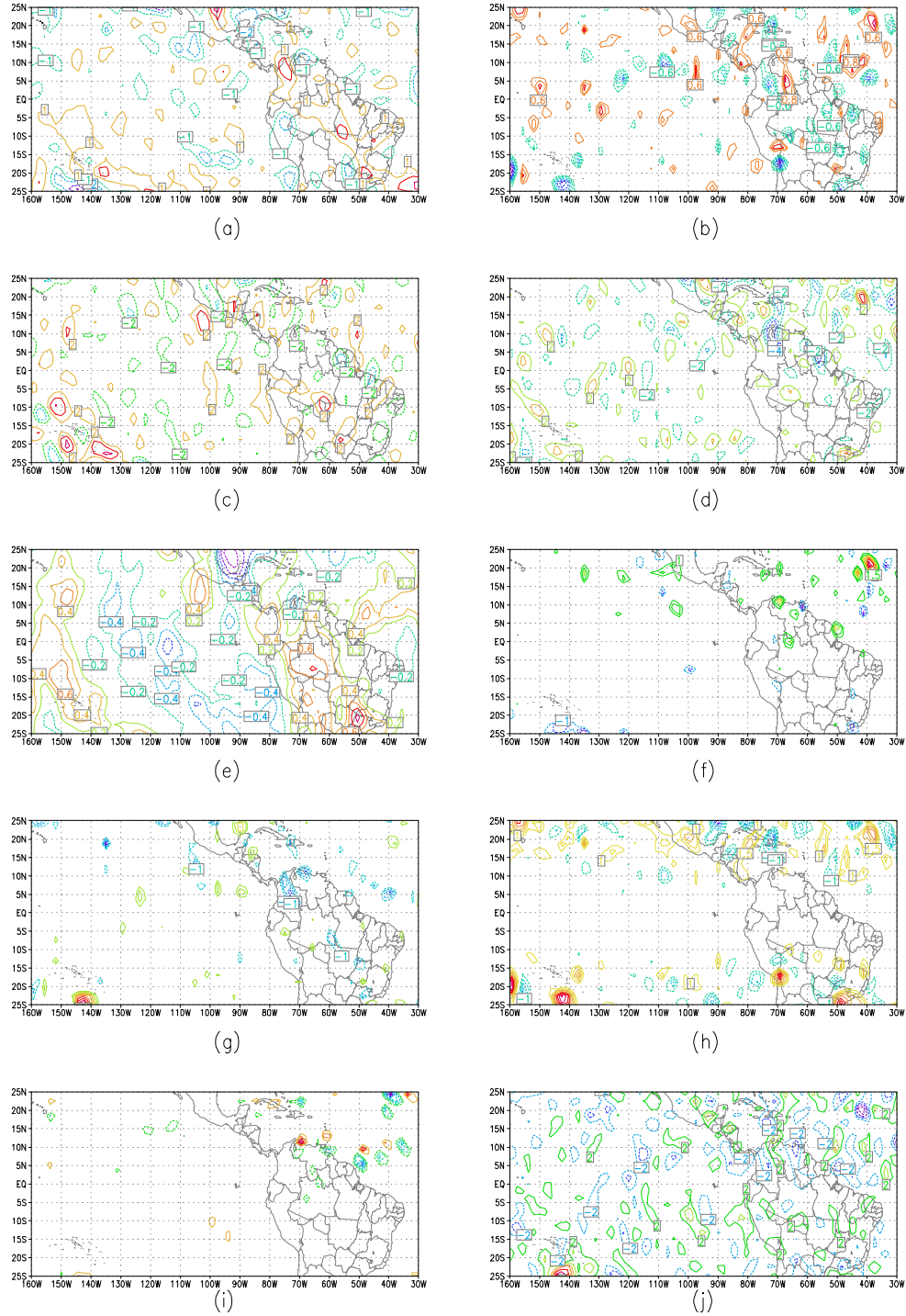


Fig. 4.27 - Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 850 hPa. Análise – 17/01/99: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

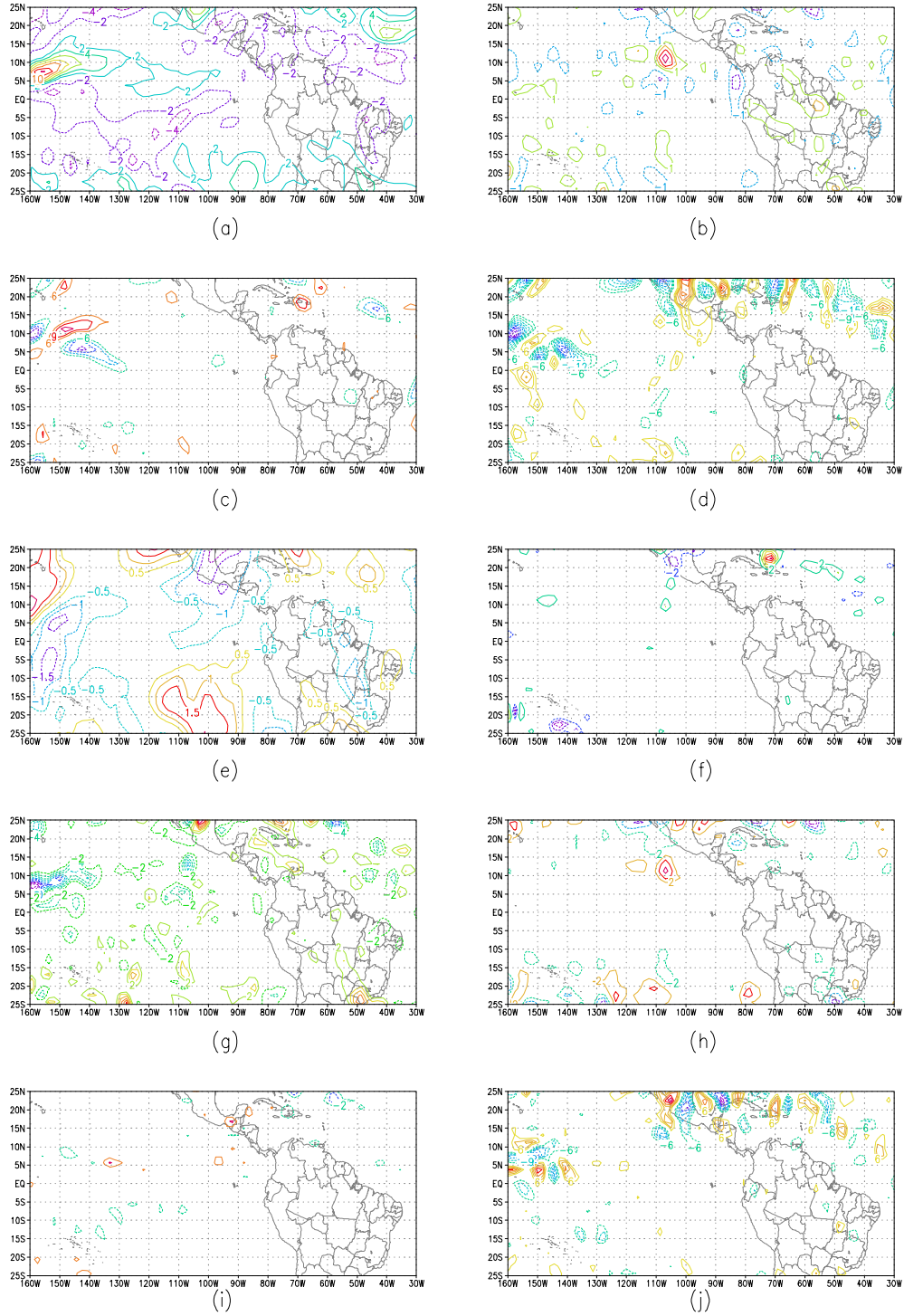


Fig. 4.28 - Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 200 hPa. Análise - 17/01/99: (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{\mathbf{V}}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta\mathbf{v}$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega\partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi\nabla \cdot \bar{\mathbf{V}}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f\bar{\mathbf{v}} \cdot \bar{\mathbf{V}}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{\mathbf{k}} \cdot (\nabla\omega \times \partial\bar{\mathbf{V}}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

Os campos de temperatura para os níveis de 850 e 200 hPa são apresentados nos painéis (a) e (g), respectivamente, das figuras 4.29 e 4.30. Em ambos os níveis, temperaturas mais elevadas são observadas sobre o continente sul americano.

Observa-se, que no nível de 850 hPa (Fig. 4.29 e 4.30 (b) - (f)), os termos de advecção vertical de temperatura e de geopotencial dominam o balanço da equação termodinâmica no Oceano Pacífico Equatorial Central e Oriental. Os valores positivos do resíduo em torno de 5° N indicam fontes de calor, associadas à presença da ZCIT.

O termo de advecção horizontal de temperatura é relativamente pequeno na região do La Niña, apresentando maior intensidade nas latitudes superiores a 10° N e 20° S. Isto ocorre devido ao gradiente horizontal de temperatura ser pequeno próximo ao equador. Nota-se também que em alguns pontos, há uma certa compensação entre os termos de tendência local e advecção horizontal de temperatura.

Em 200 hPa (Fig. 4.29 e 4.30 (h) - (l)), observa-se um padrão semelhante ao do nível de 850 hPa, entretanto os valores negativos do resíduo no Oceano Pacífico Equatorial Central definem sumidouros de calor.

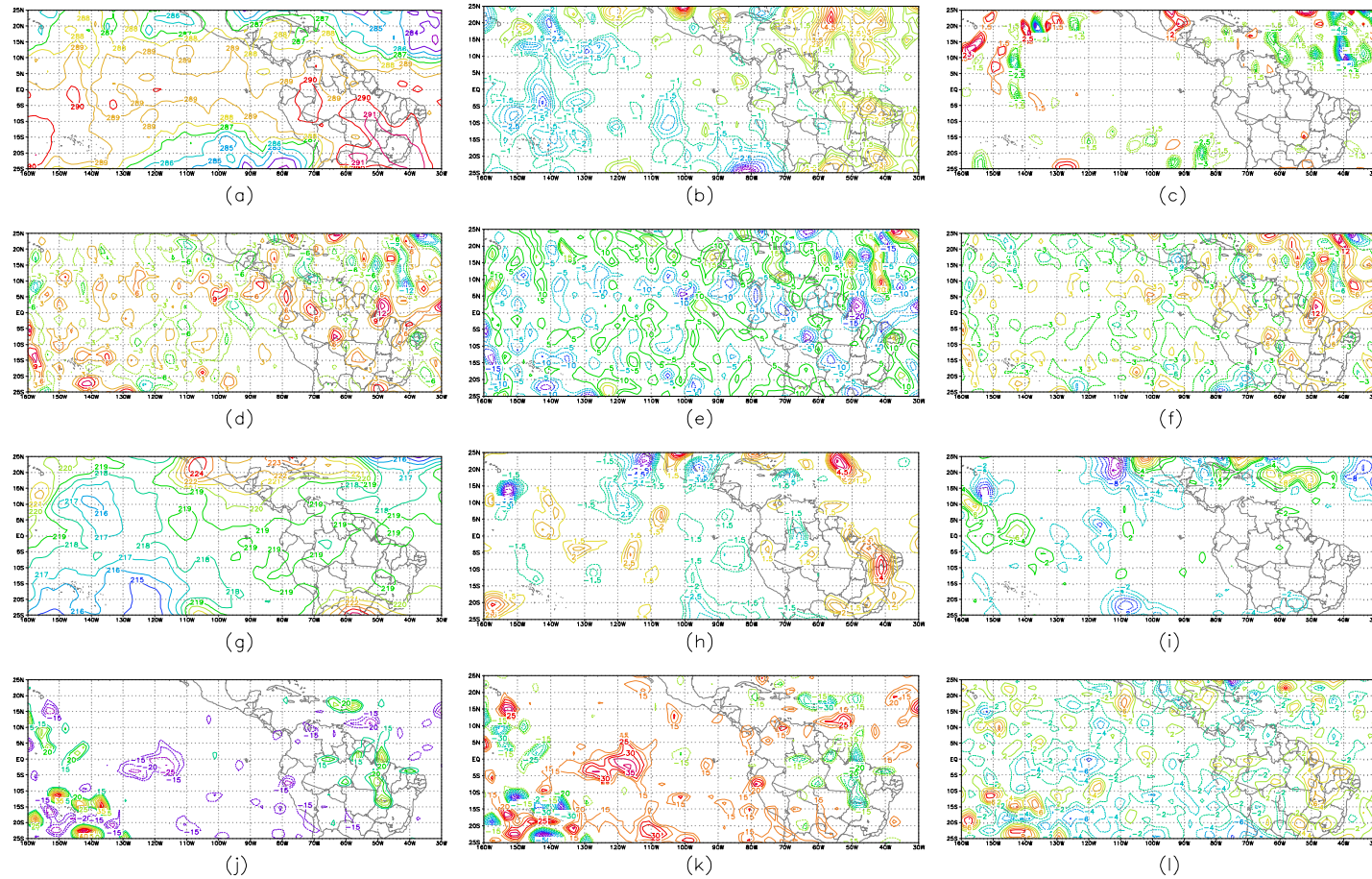


Fig. 4.29 - Balanço de Calor para o Episódio La Niña. Análise - 16/01/99: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

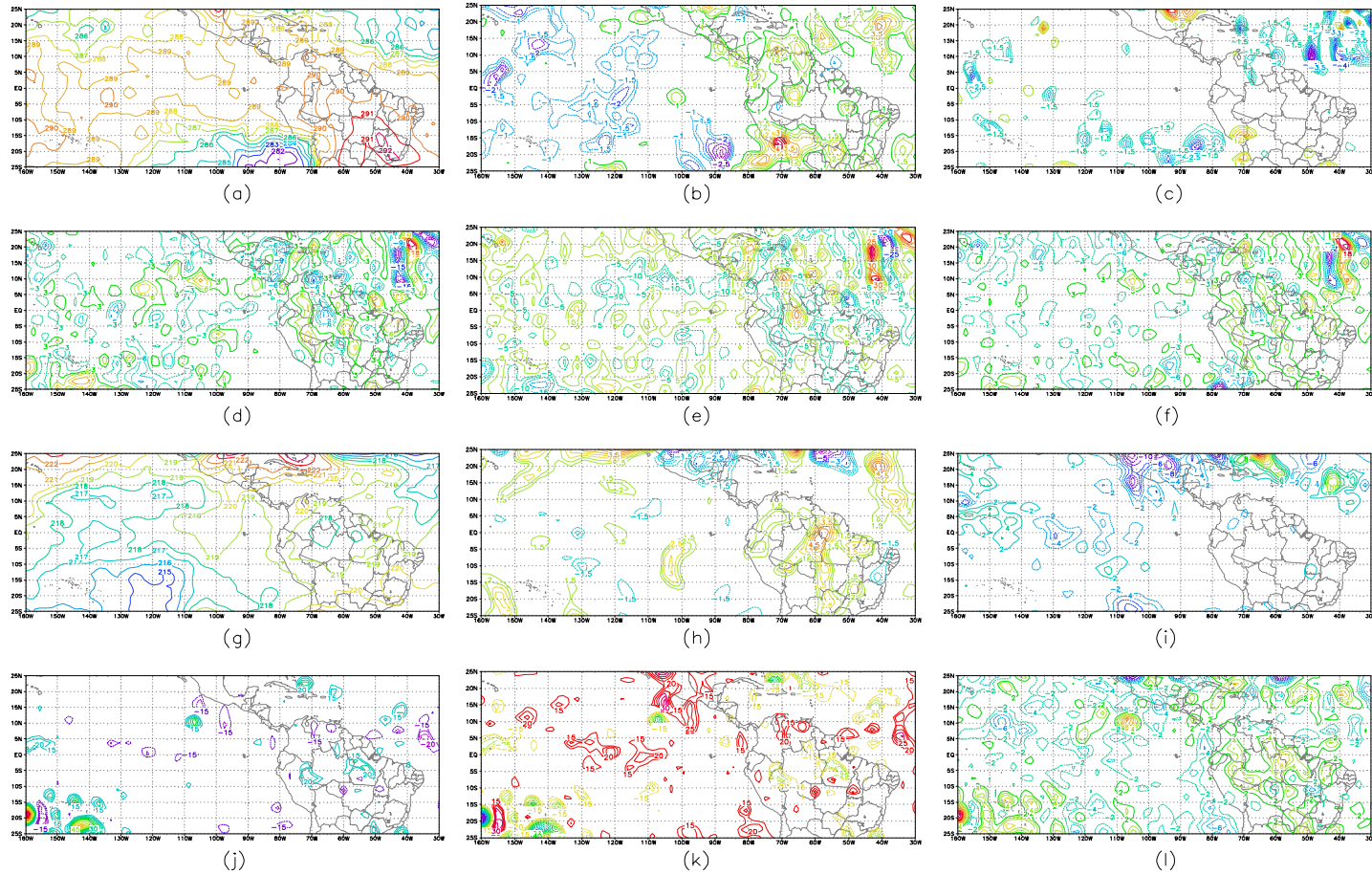


Fig. 4.30 - Balanço de Calor para o Episódio La Niña. Análise – 17/01/99: Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

Os painéis (a) e (b) das figuras 4.31 e 4.32 referem-se aos campos de umidade específica em 925 e 850 hPa, respectivamente. Os maiores valores de umidade específica são encontradas sobre o continente, onde valores maiores de água precipitável também são encontrados. Sobre o Oceano Pacífico, os valores maiores de umidade específica são encontrados ao longo de uma faixa em torno de 5° N, que pode ser associada à posição média da ITCZ.

Para a equação da umidade no nível de 925 hPa (Fig. 4.31 e 4.32 (b) - (f)), observa-se que na região do Pacífico Equatorial Central os termos de tendência local e advecção vertical de umidade são os que mais contribuem para o resíduo. Sobre o Continente Sul Americano, nota-se que o termo de tendência local de umidade é o que mais contribui para o resíduo. O termo de advecção horizontal de umidade apresenta valores maiores em módulo nas latitudes superiores a 10° N e 20° S. Isto pode ser explicado pela maior intensidade dos ventos nesta região.

Em 850 hPa, o termo de advecção vertical de umidade e o resíduo apresentam basicamente a mesma evolução e ordem de grandeza. Em alguns pontos de grade os termos de tendência local e advecção horizontal de umidade tendem a se compensar.

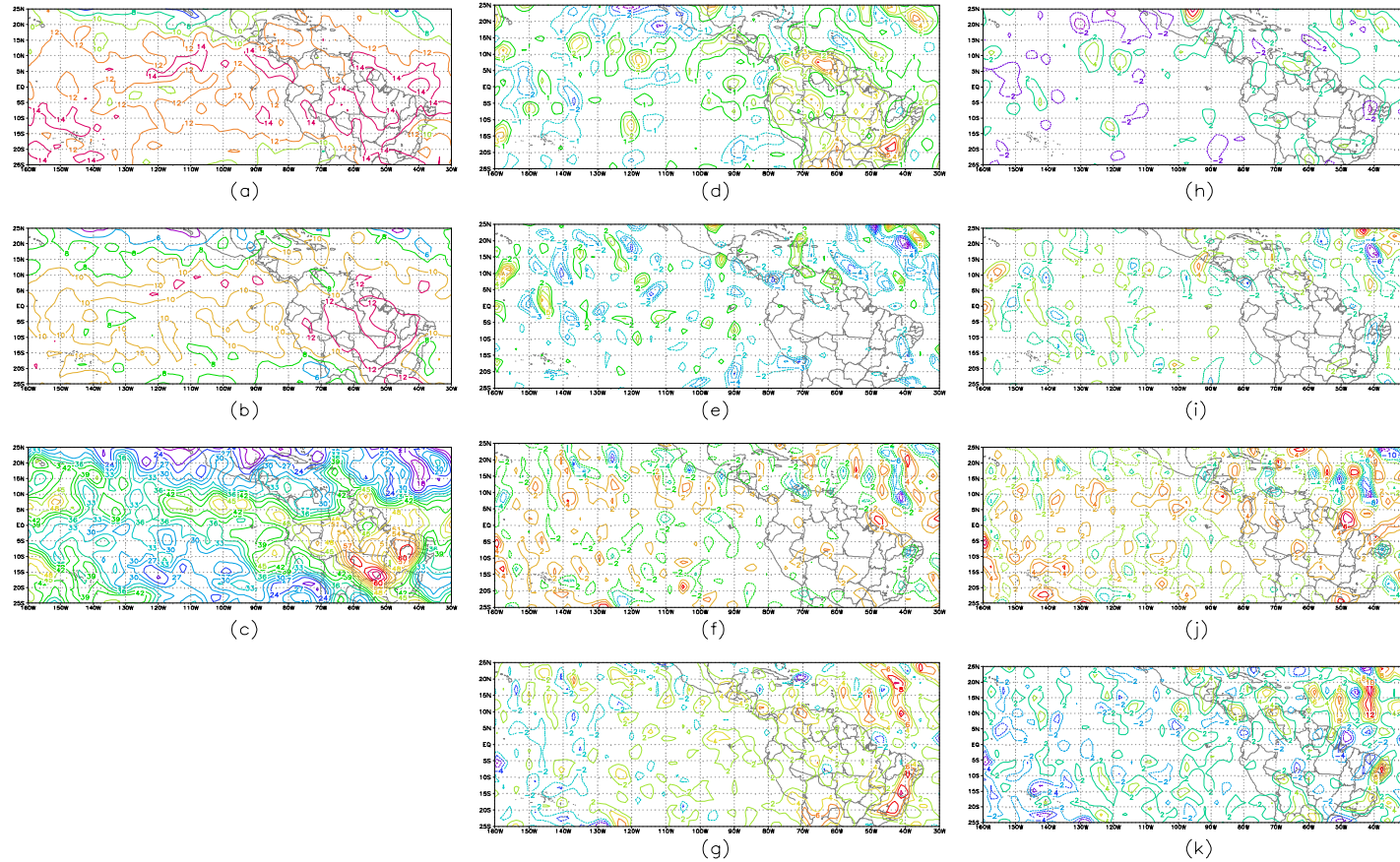


Fig. 4.31 - Balanço de Umidade para o Episódio La Niña. Análise – 16/01/99: (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg^{-1}]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg^{-1}]; (c) Água Precipitável [Kg m^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (g) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]

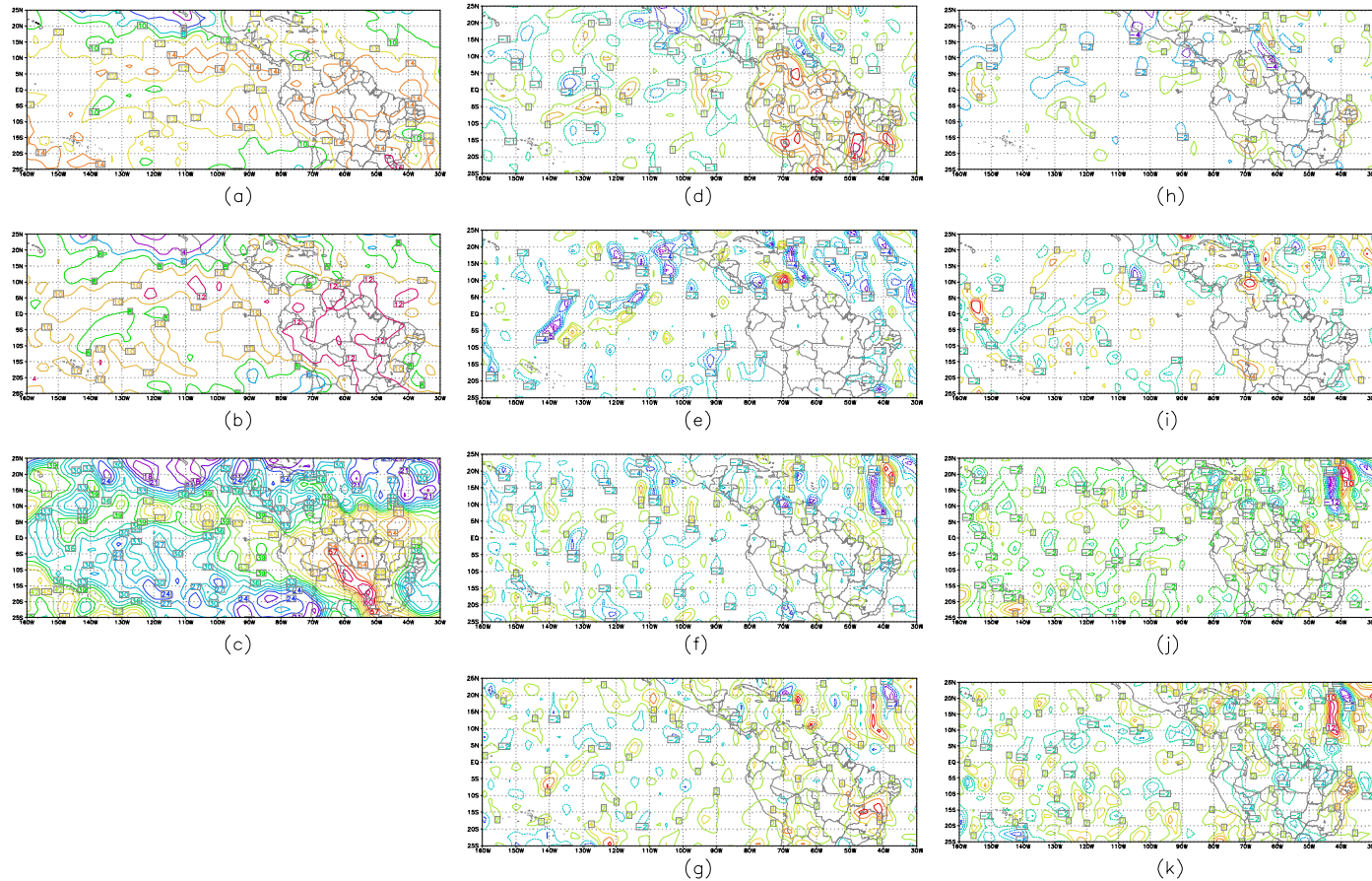


Fig. 4.32 - Balanço de Umidade para o Episódio La Niña. Análise – 17/01/99: (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg^{-1}]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg^{-1}]; (c) Água Precipitável [K gm^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{gKg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (g) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]

4.5 COMPARAÇÃO ENTRE ANÁLISE E PREVISÃO

Nesta seção, compara-se as análises com as previsões do modelo até 168 horas. Nas figuras, as datas das previsões são indicadas na forma yymmddhh, onde yy, mm, dd e hh representam o ano, o mês o dia e o horário da rodada do modelo, respectivamente (p. ex. "97031612 para 97031712" indica a previsão de 24 horas para 17/03/97 às 12Z).

4.5.1 EPISÓDIO 1: ZCAS E ALTA DA BOLÍVIA

Bitencourt (1996) obteve que o modelo apresenta deficiência em prever variáveis derivadas, tais como: vorticidade e divergência. Desta forma, pode-se observar que, já em 24 horas (850 hPa), a previsão do modelo (Fig. 4.33 e 4.35) apresenta diferenças significativas em relação a estes campos. Estas diferenças refletem-se nas previsões dos termos da equação da vorticidade, sendo que os termos $-\beta v$ e advecção vertical de vorticidade relativa são melhor previstos (comparando com Fig. 4.1 e 4.3), os demais termos, inclusive o resíduo apresentam grandes diferenças.

No nível de 200 hPa em 24 horas (Fig. 4.34), observa-se que o campo de vorticidade é melhor previsto, enquanto que o campo de divergência, apresenta muitas diferenças, diminuindo a qualidade da previsão dos termos da equação da vorticidade, principalmente, das componentes do termo de estiramento (painéis (g) e (h)), que são calculados a partir da divergência. Os melhores resultados são obtidos para os termos de tendência local de vorticidade, advecção horizontal de vorticidade relativa e o termo $-\beta v$.

A partir de 48 horas (Fig. 4.36), essas diferenças tornam-se mais significativas, indicando que o modelo não apresenta bom desempenho em prever os termos da equação da vorticidade a partir deste prazo.

Em ambos os níveis, o resíduo não foi bem previsto pelo modelo, tanto em relação à posição dos núcleos, como em relação à intensidade dos mesmos, dificultando portanto, a previsão de fontes e sumidouros de vorticidade.

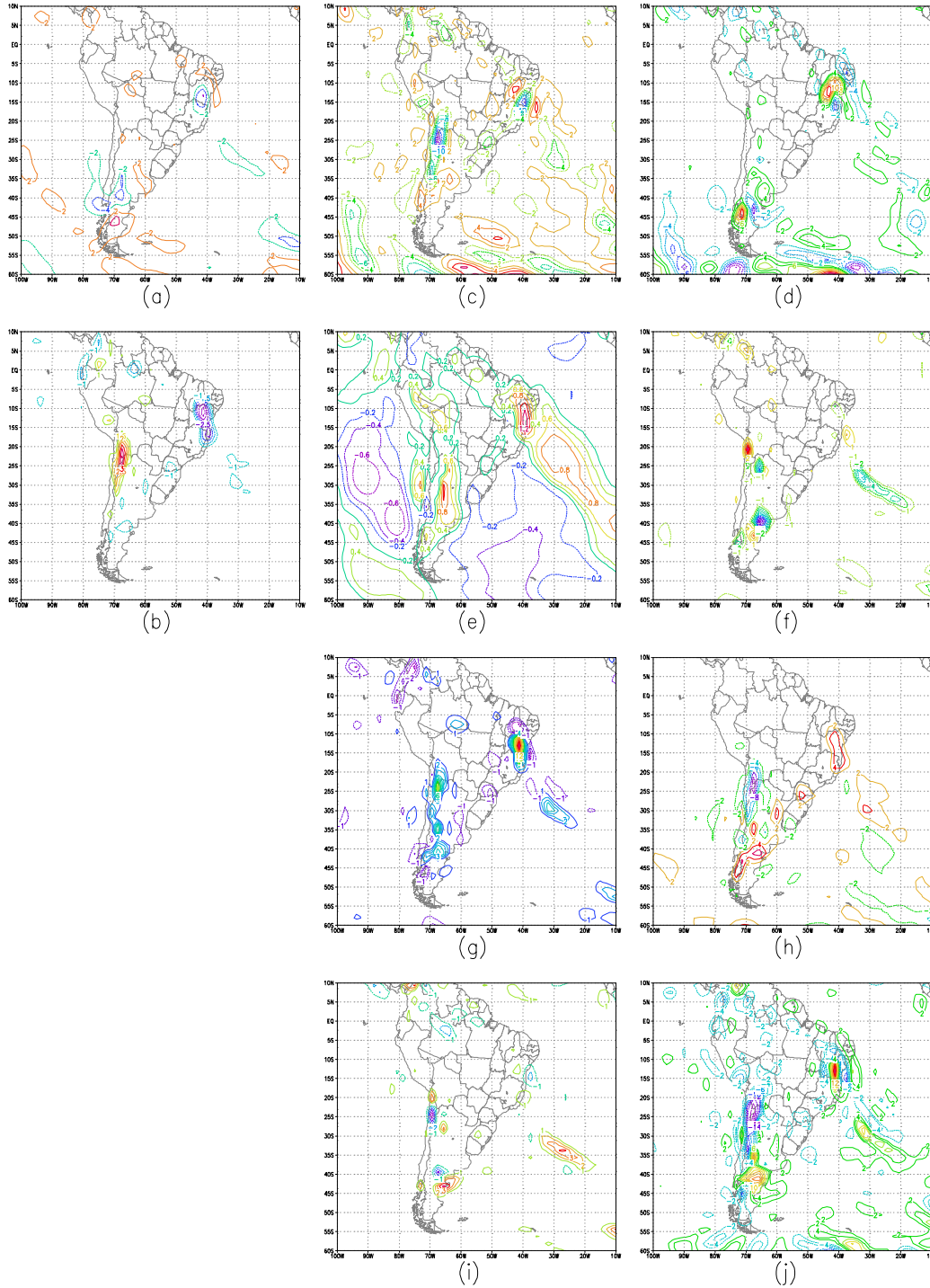


Fig. 4.33 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 850 hPa. Previsão de 24 horas (97031612 para 97031712): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega\partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi\nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f\nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla\omega \times \partial\vec{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

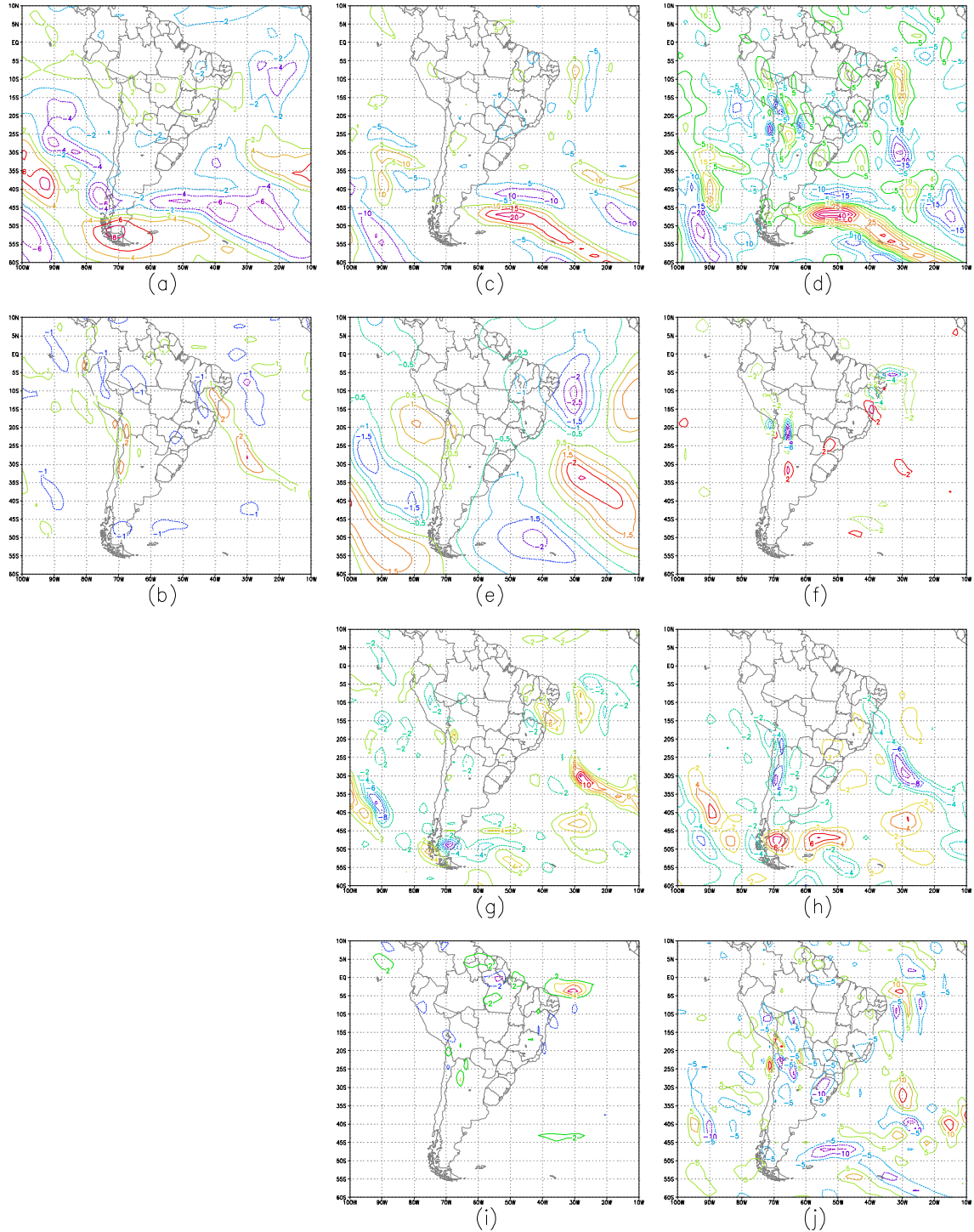


Fig. 4.34 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 200 hPa. Previsão de 24 horas (97031612 para 97031712): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

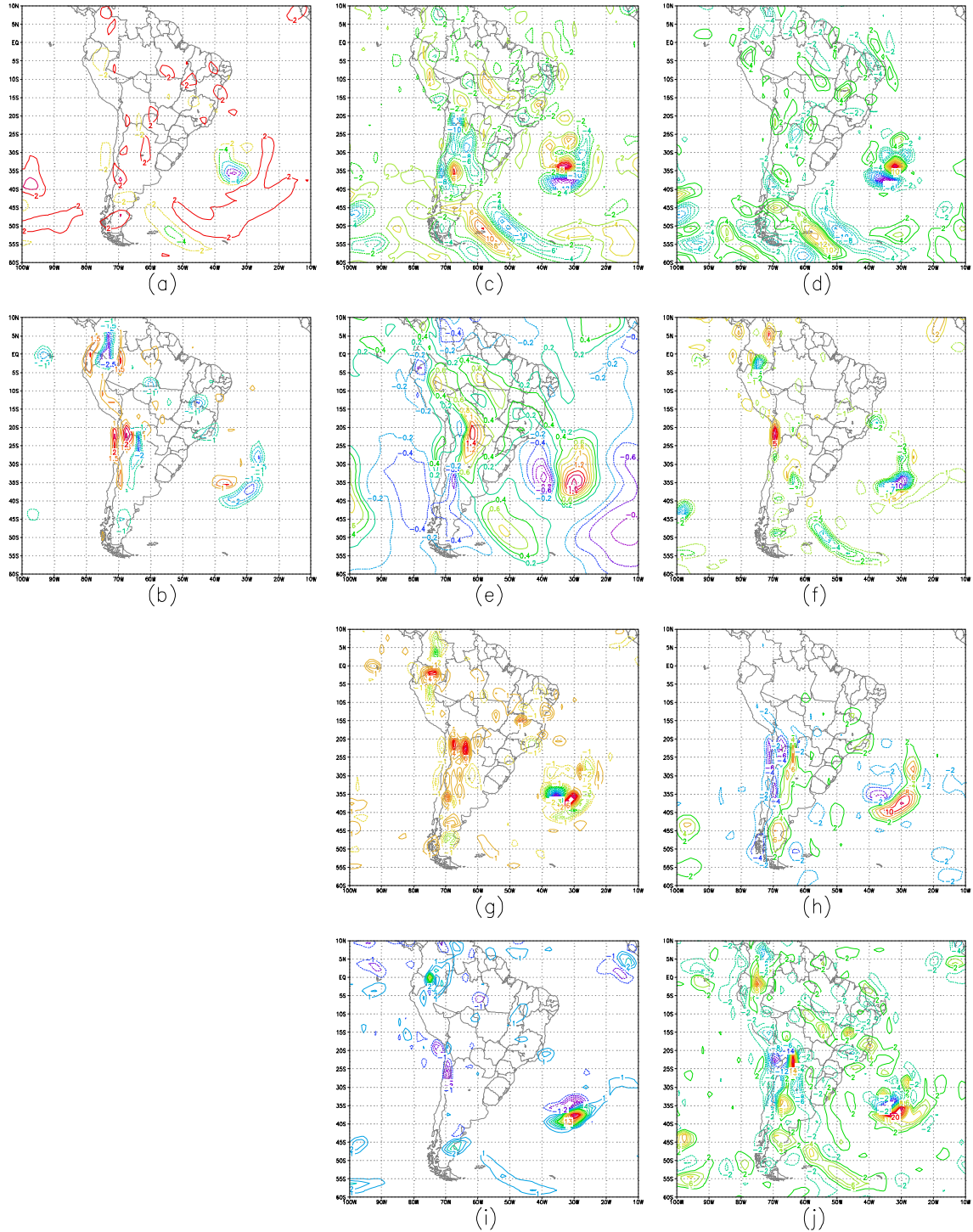


Fig. 4.35 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 850 hPa. Previsão de 96 horas (97031612 para 97032012): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

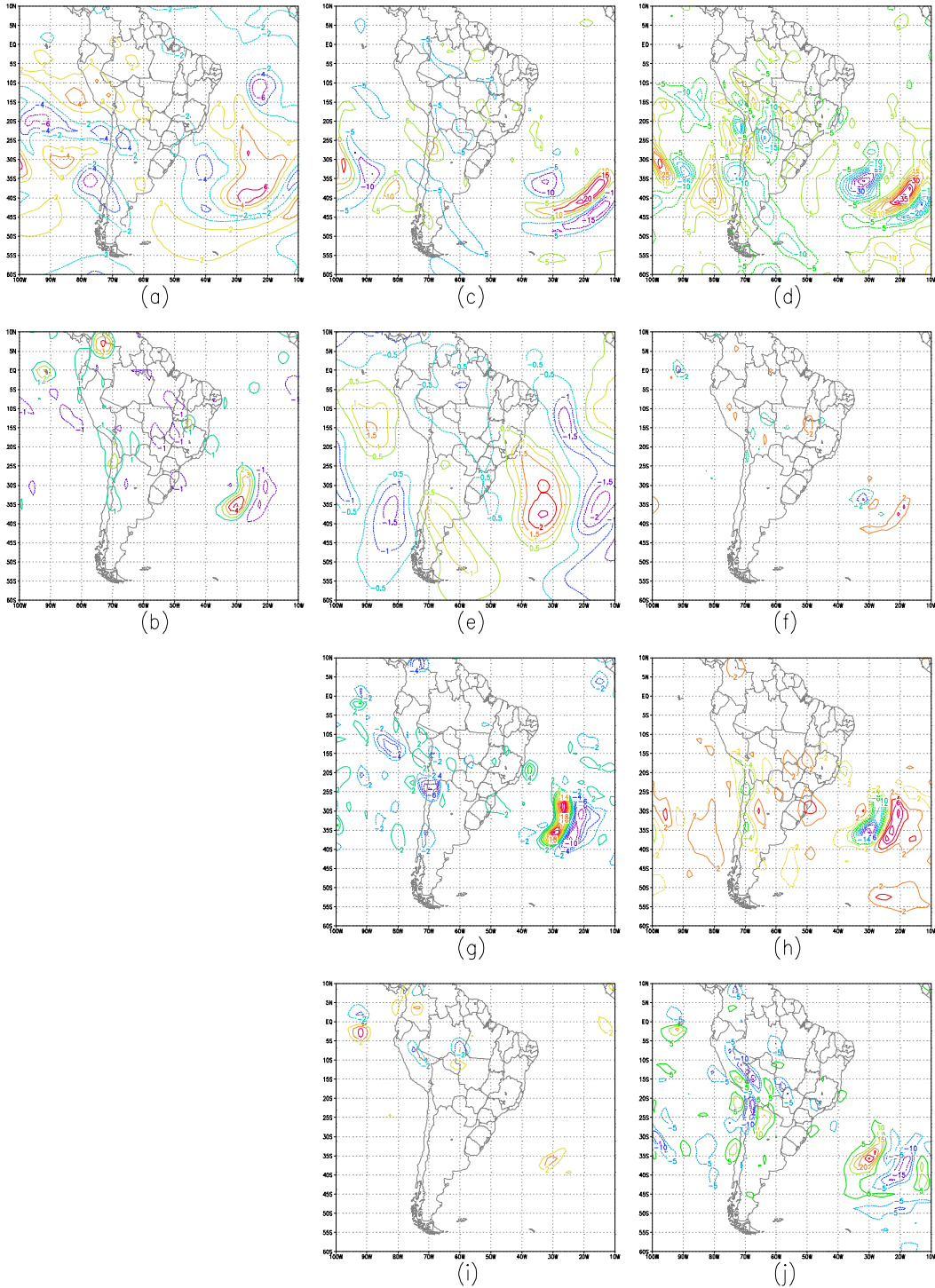


Fig. 4.36 - Balanço de Vorticidade para o Episódio ZCAS e AB, em 200 hPa. Previsão de 96 horas (97031612 para 97032012): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla\omega \times \partial\bar{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

Para a equação da termodinâmica, no nível de 850 hPa, observa-se que o modelo tem deficiência em prever a posição e intensidade dos termos conforme Figuras 4.37 e 4.38. O modelo apresenta melhor desempenho nas previsões de 24 e 48 horas, sendo que a fonte de calor na região da ZCAS é bem simulada. A partir de 72 horas, a qualidade das previsões tende a diminuir, verificando-se diversos erros na posição, intensidade e sinais dos termos.

Em 200 hPa, os erros do modelo em relação à posição e intensidade dos termos são mais frequentes, sendo que em alguns dias foram previstos núcleos com sinais opostos como por exemplo na previsão de 120 horas (não apresentada).

Para os termos de advecção vertical de temperatura e advecção de espessura verifica-se que o modelo tende a deslocar para norte os centros que aparecem próximo ao litoral da Região Sudeste, deslocando consequentemente o resíduo.

Novamente, os melhores resultados foram obtidos nas previsões de 24 e 48 horas. O modelo consegue prever corretamente a fonte de calor, próximo à zona de convergência associada à ZCAS porém, nota-se alguns deslocamentos na posição e diferenças de intensidade. A partir de 72 horas, as previsões apresentam alguns padrões distintos dos observados na análise.

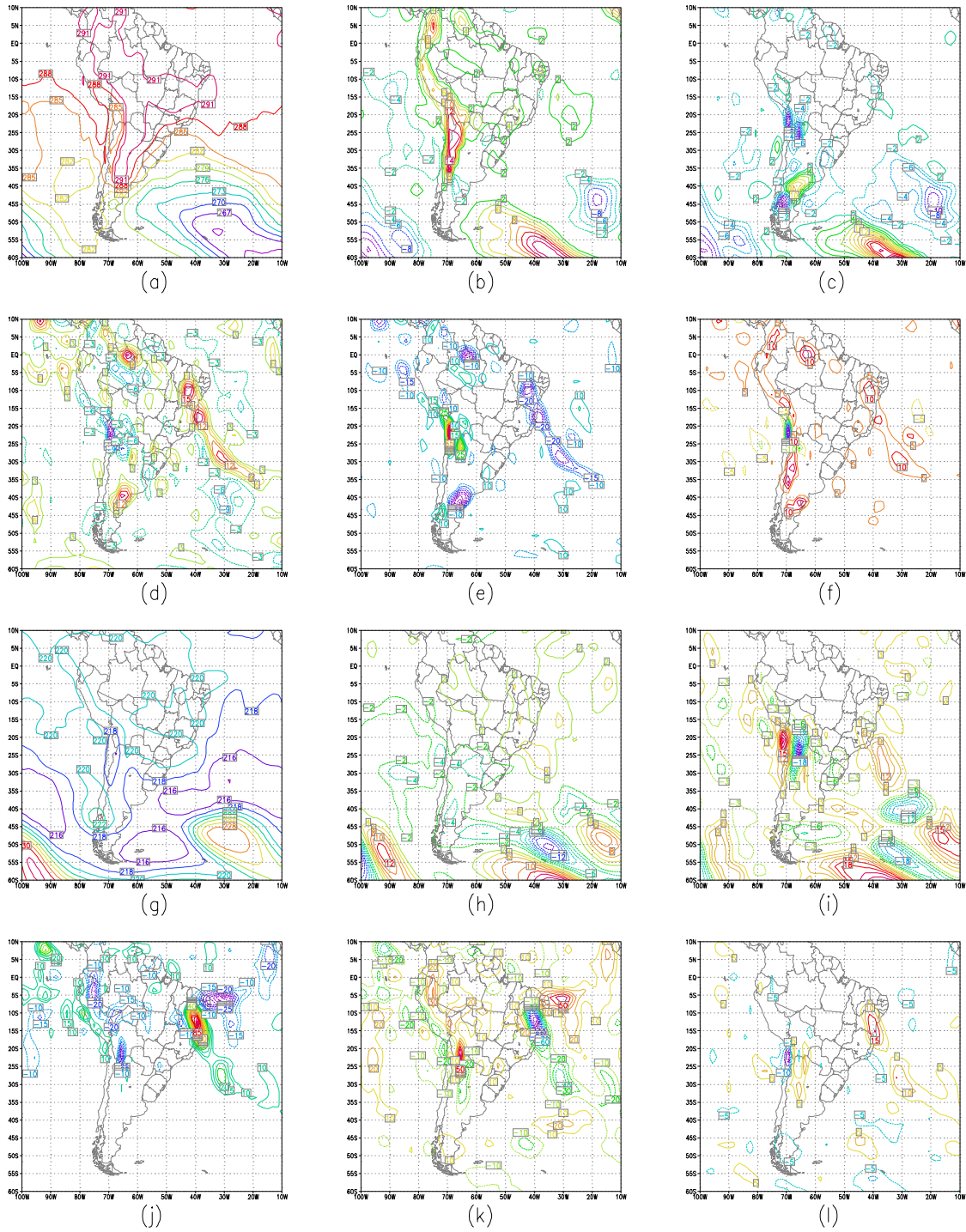


Fig. 4.37 - Balanço de Calor para o Episódio ZCAS e AB. Previsão de 24 horas (97031612 para 97031712). Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\bar{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\bar{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

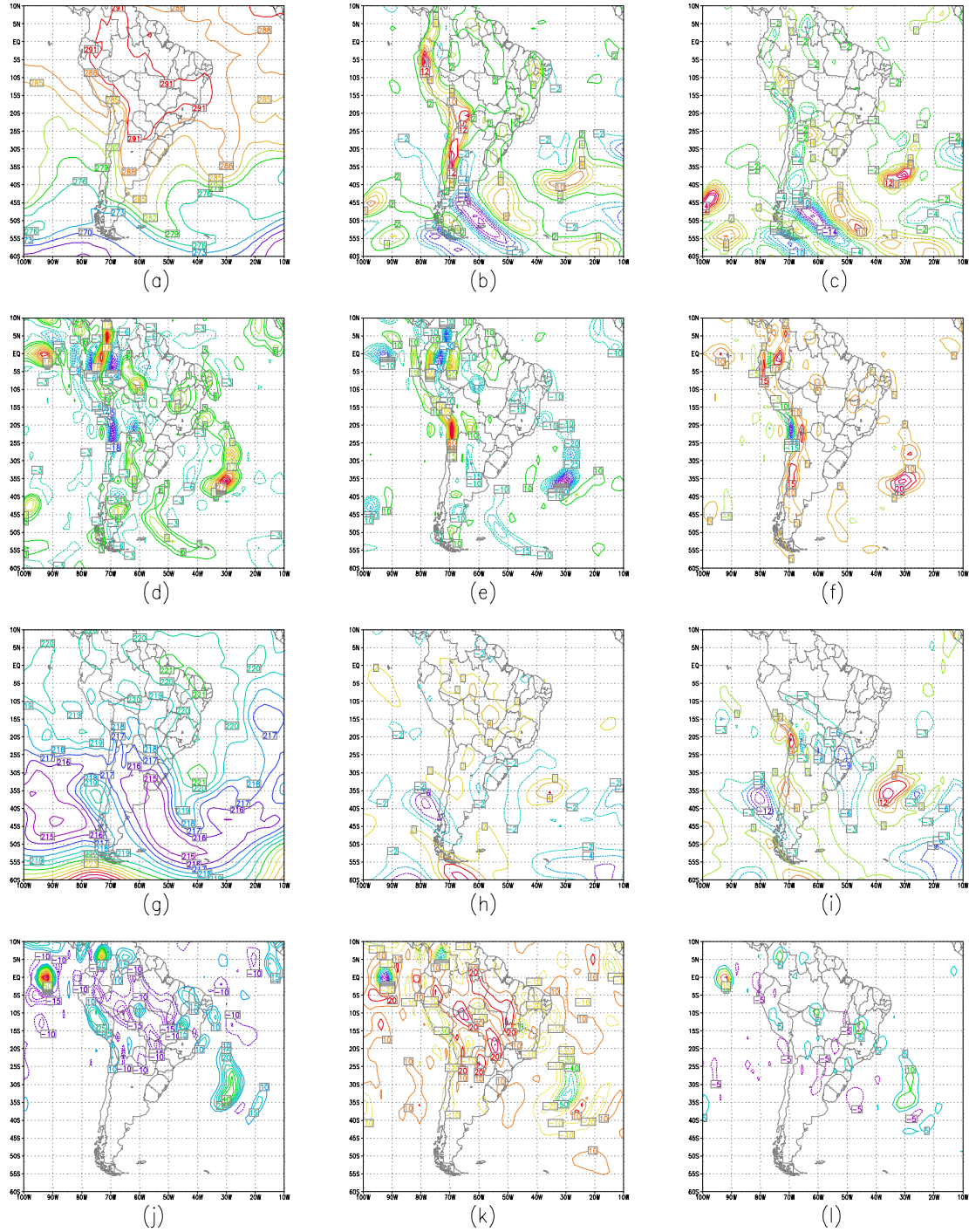


Fig. 4.38 - Balanço de Calor para o Episódio ZCAS e AB. Previsão de 96 horas (97031612 para 97032012). Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

A umidade específica e a água precipitável são variáveis bem previstas pelo Modelo Global do CPTEC/COLA (Mendonça, 1999). Entretanto no nível de 925 hPa, verifica-se que desde as primeiras 24 horas de previsão, o modelo não apresenta bom desempenho em prever os termos da equação da conservação de umidade, principalmente sobre o Continente Sul Americano onde, em alguns pontos de grade, os campos de tendência local de umidade apresentam sinais opostos aos observados na análise.

Em 850 hPa, o melhor desempenho do modelo é obtido na previsão de 24 horas, em que os termos da equação não apresentam diferenças significativas. A partir de 48 horas, a deficiência do modelo em prever os termos da equação de umidade torna-se mais evidente, diminuindo a qualidade das previsões (Fig. 4.39 e 4.40). Desta forma, nota-se pelo termo de resíduo, que o modelo apresenta deficiência em prever corretamente as fontes e sumidouros de umidade.

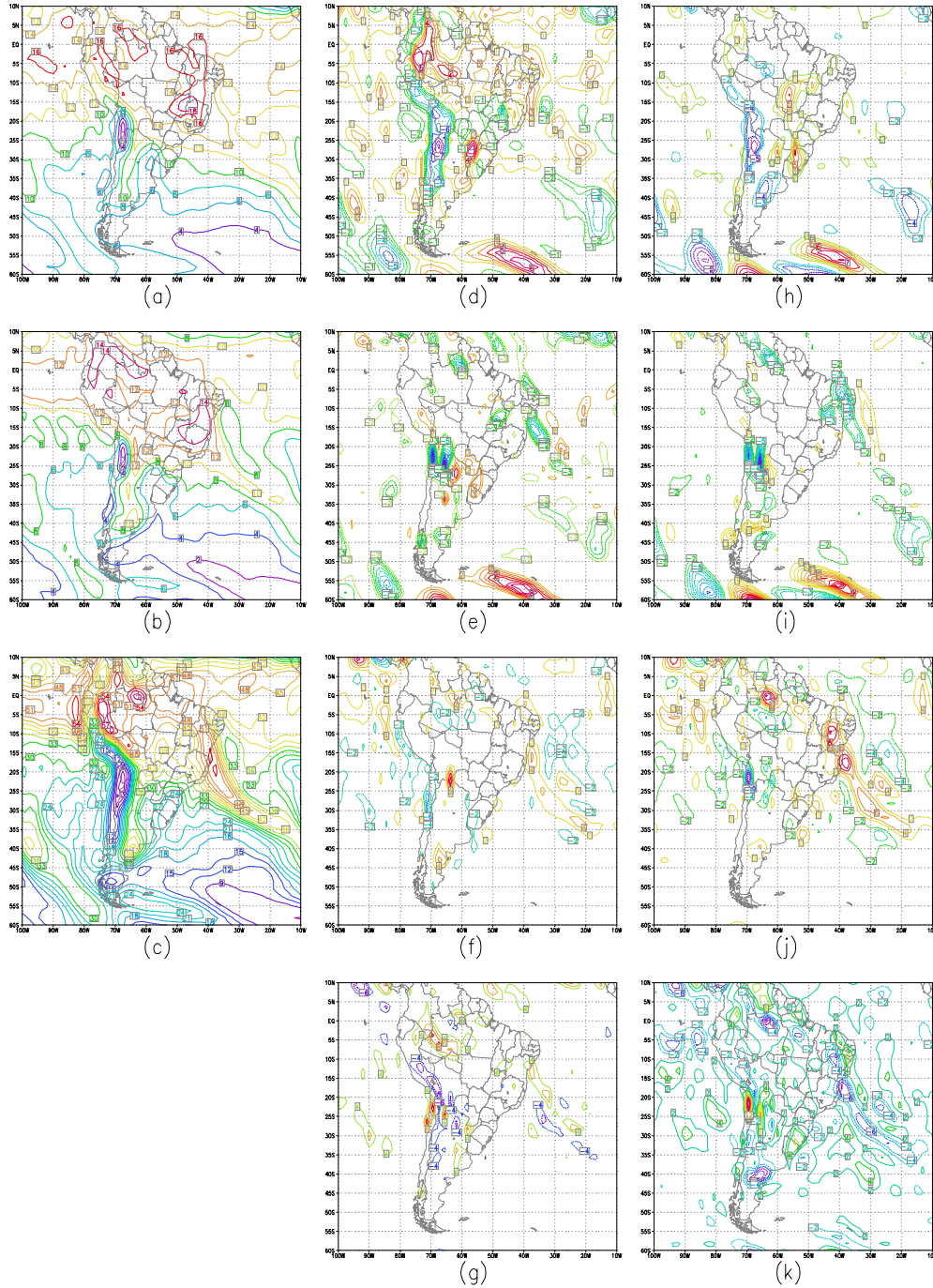


Fig. 4.39 - Balanço de Umidade para o Episódio ZCAS e AB. Previsão de 24 horas (97031612 para 97031712) (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg^{-1}]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg^{-1}]; (c) Água Precipitável [Kg m^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (g) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]

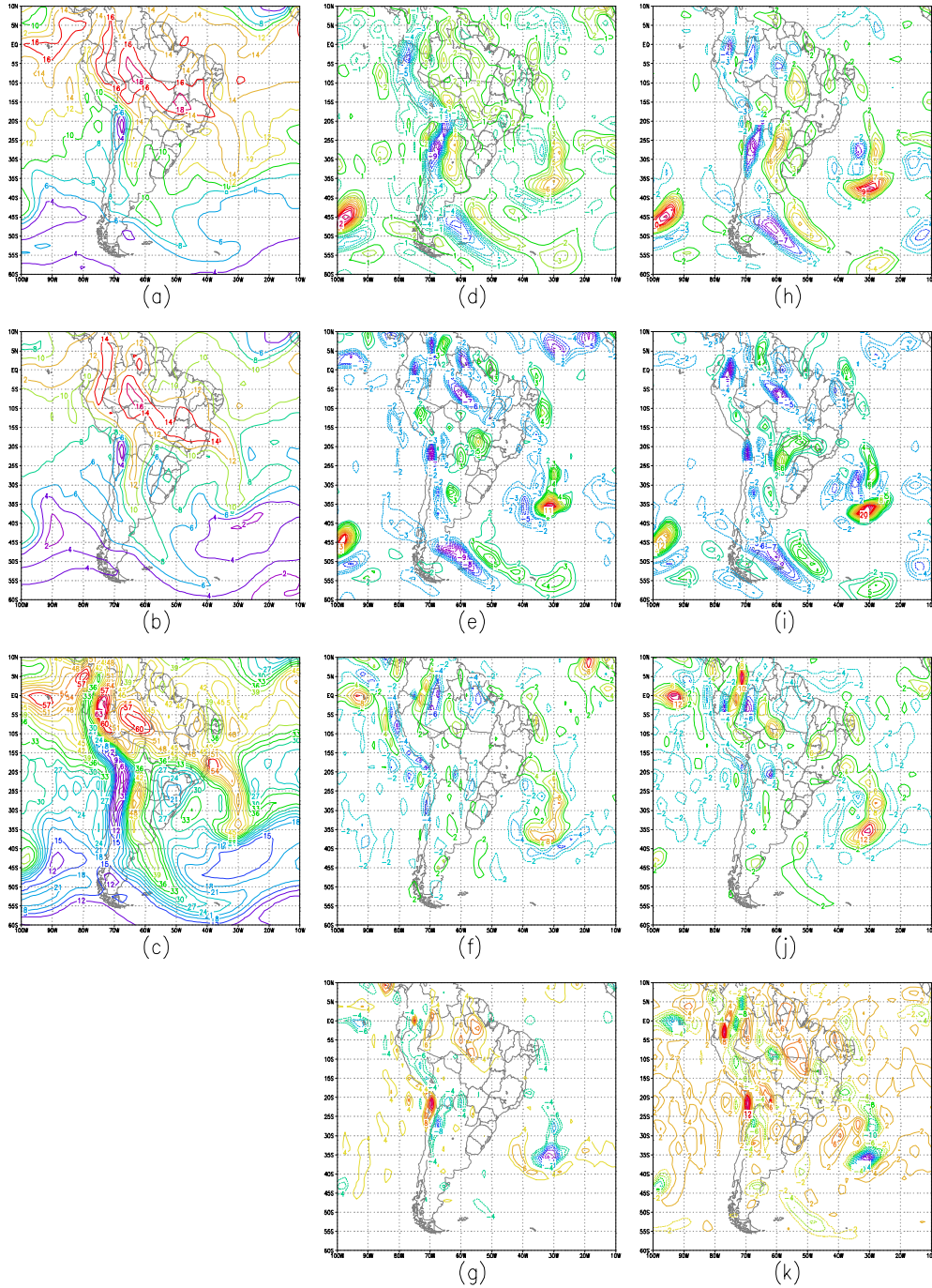


Fig. 4.40 - Balanço de Umidade para o Episódio ZCAS e AB. Previsão de 96 horas (97031612 para 97032012): (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg^{-1}]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg^{-1}]; (c) Água Precipitável [Kg m^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (g) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]

4.5.2 EPISÓDIO 2: SISTEMAS FRONTAIS E CICLOGÊNESES

No nível de 925 hPa, observa-se que os campos de vorticidade e divergência (Fig. 4.41 e 4.43) não são bem previstos, o que se reflete nos termos da equação da vorticidade que apresentam diferenças significativas em relação à análise (Fig. 4.5 e 4.7), já em 24 horas.

As maiores diferenças são obtidas nas componentes do termo de divergência (estiramento). Os termos de tendência local e advecção horizontal de vorticidade são bem previstos apenas em 24 horas, enquanto que o termo $-\beta v$ apresenta boa previsão até 96 horas. Com relação ao resíduo, verifica-se que o modelo consegue prever razoavelmente bem os núcleos nas latitudes ao sul de 25° S, para os primeiros horários de previsão. No litoral do Rio Grande do Sul, o modelo não conseguiu prever corretamente nem a posição, nem a intensidade do ciclone.

Em 200 hPa (Fig. 4.42 e 4.44), embora o modelo tenha previsto melhor os campos de vorticidade e divergência (comparando com as Fig. 4.6 e 4.8), não houve mudanças na qualidade das previsões dos termos da equação da vorticidade. De um modo geral, todos os termos da equação da vorticidade foram previstos corretamente em 24 horas. O termo $-\beta v$ apresentou boa previsão até 96 horas, enquanto que os demais termos apresentaram diferenças significativas a partir de 48 horas.

Nas previsões para os dias 29 e 30, o modelo conseguiu prever a região de divergência em 200 hPa associada ao ciclone no litoral do Rio Grande do Sul.

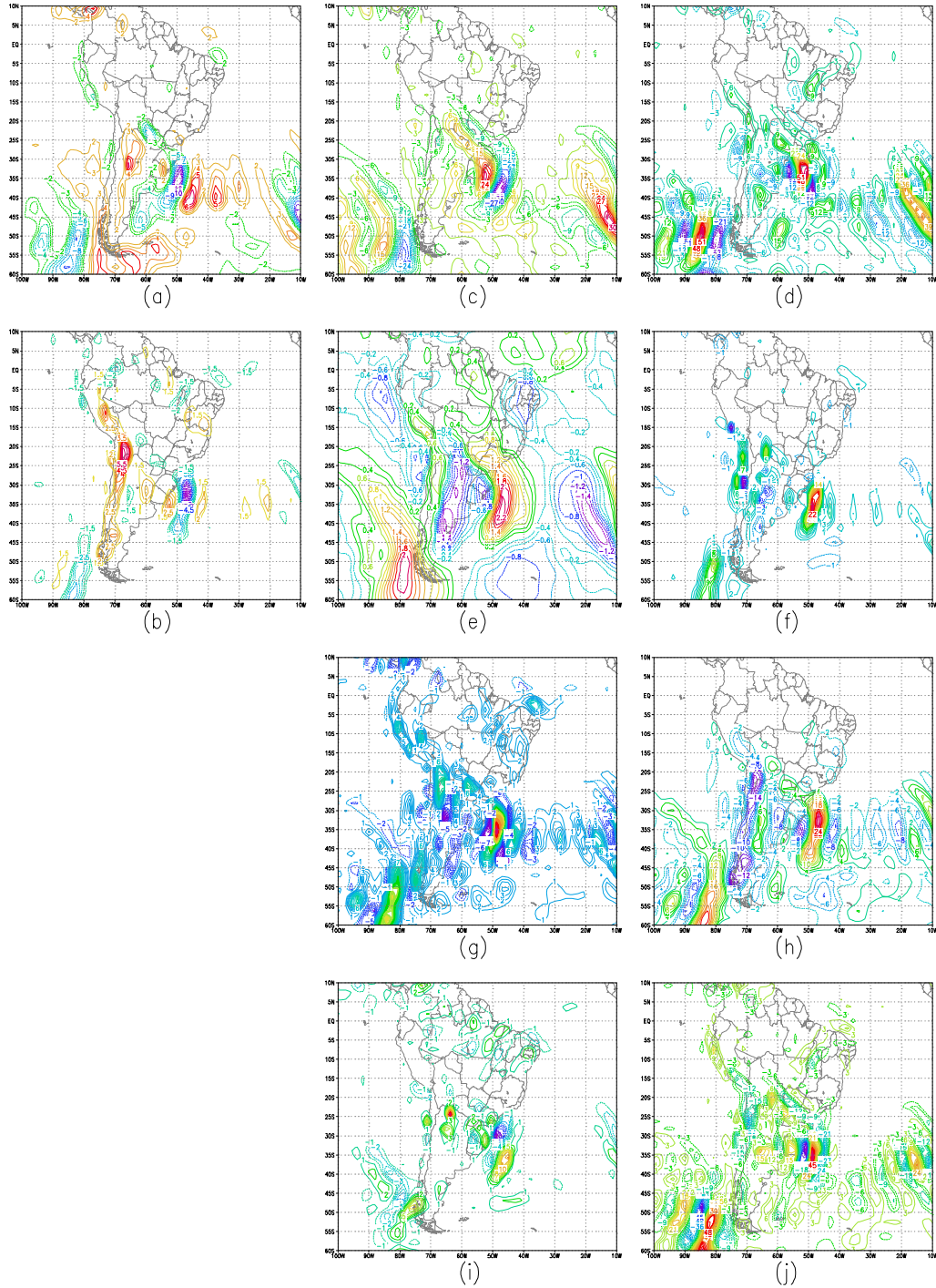


Fig. 4.41 - Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 925 hPa. Previsão de 48 horas (99052712 para 99052912): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega\partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi\nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f\nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla\omega \times \partial\vec{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

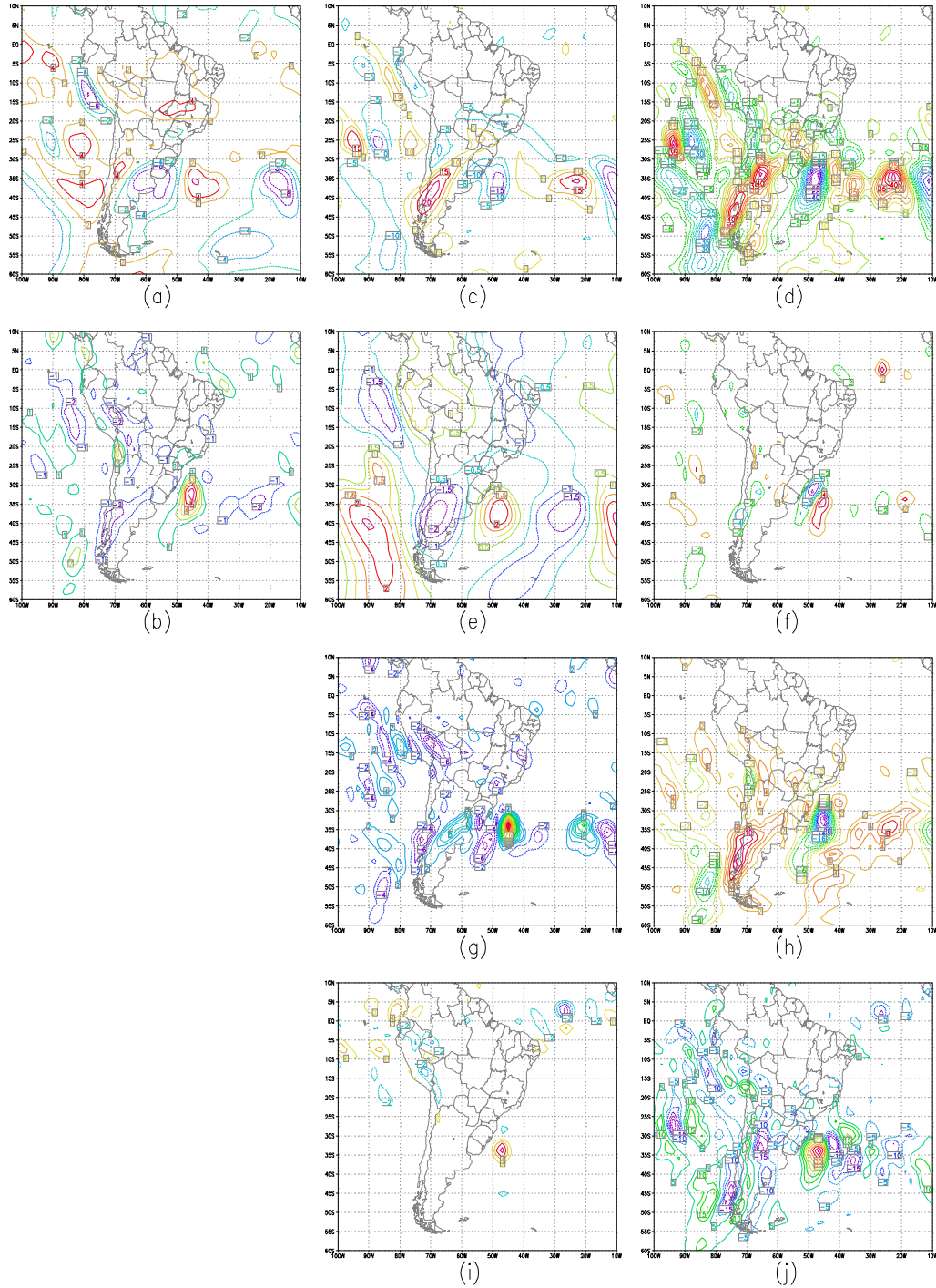


Fig. 4.42 - Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 200 hPa. Previsão de 48 horas (99052712 para 99052912): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega\partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi\nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f\nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla\omega \times \partial\vec{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

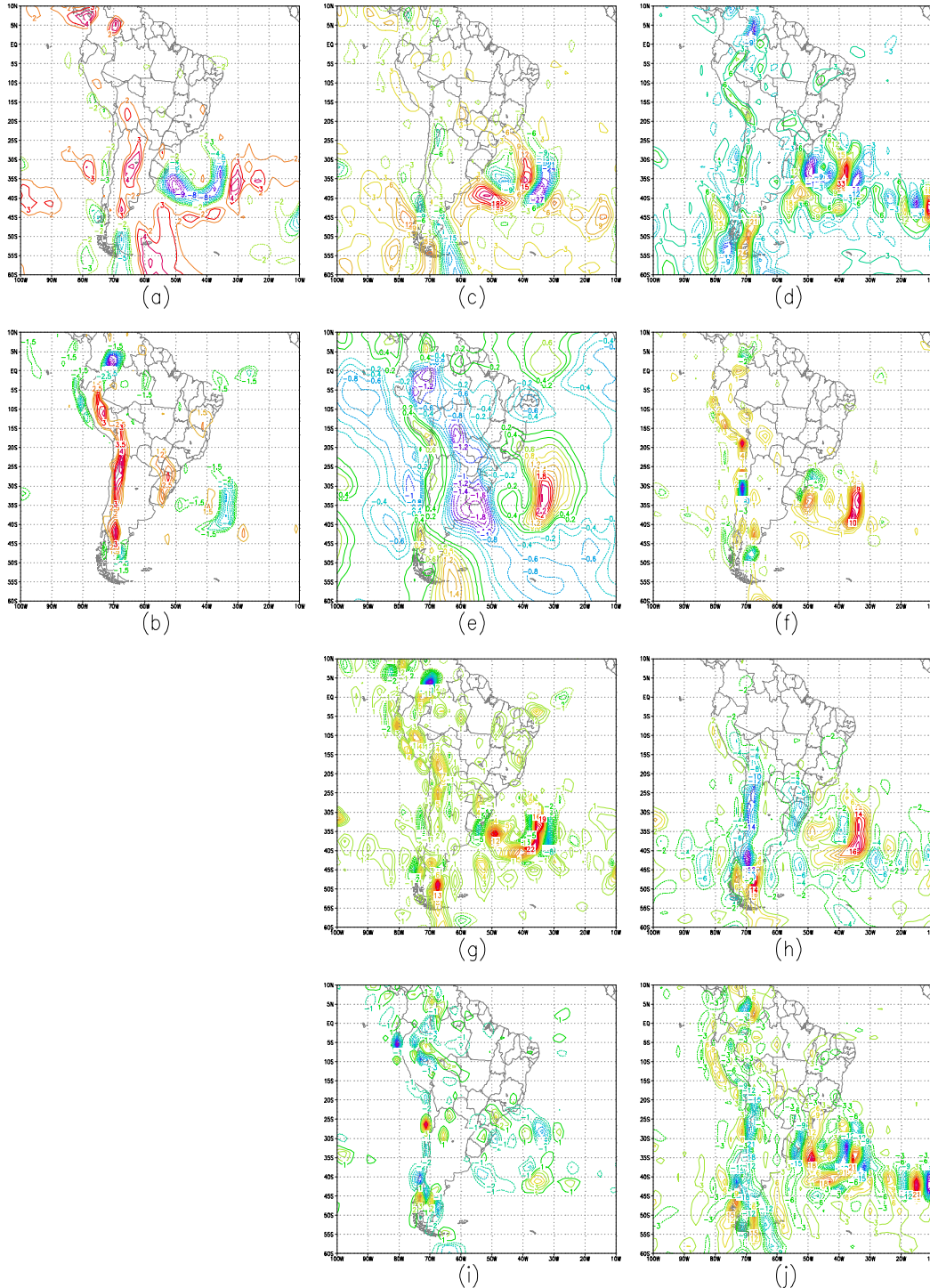


Fig. 4.43 - Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 925 hPa. Previsão de 72 horas (99052712 para 99053012): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \bar{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

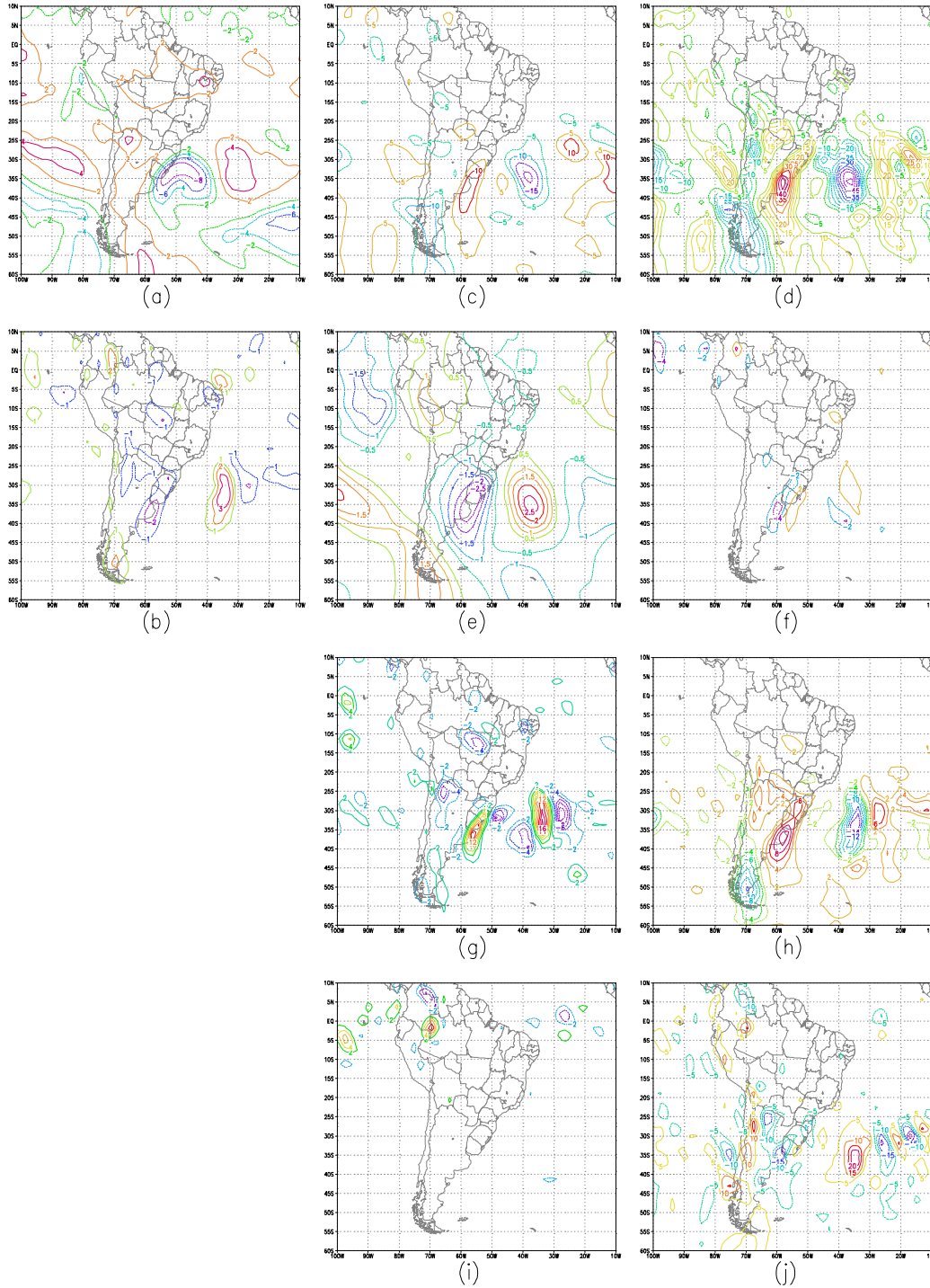


Fig. 4.44 - Balanço de Vorticidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, em 200 hPa. Previsão de 72 horas (99052712 para 99053012): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \bar{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

Em 850 hPa, observa-se que o modelo apresenta bom desempenho nas previsões de 24, 48 e 72 horas dos termos da equação da termodinâmica, nas demais previsões, nota-se diferenças significativas entre as análises (Fig. 4.13 e 4.14) e as previsões (Fig. 4.45 e 4.46).

No dia 29 (previsão de 48 horas), quando há a presença de um ciclone no litoral do Rio Grande do Sul, verifica-se que o modelo tende a superestimar os centros que aparecem próximo a esta região, como pode ser visto nos termos de advecção vertical de temperatura e de geopotencial, e conseqüentemente no resíduo. A partir de 72 horas, quando o ciclone tende a se deslocar para o Oceano, observa-se diminuição na qualidade das previsões em todos os termos da equação da termodinâmica.

No nível de 500 hPa, novamente, as melhores previsões ocorreram em 24, 48 e 72 horas. A partir de 96 horas, a qualidade das previsões decaem, verificando-se diferenças significativas entre as análises e previsões. Nas latitudes entre 10° N e 5° S, verifica-se que os termos de advecção vertical de temperatura e o resíduo não são bem previstos pelo modelo. Já na região próximo ao ciclone, nos dias 29 e 30, o modelo conseguiu prever os termos da equação da termodinâmica.

Em ambos os níveis, nota-se através do termo de resíduo, que o modelo consegue prever as fontes e sumidouros de calor, próximo à região de atuação dos sistemas frontais, até 72 horas, entretanto tende a superestimá-los em algumas latitudes.

Para a conservação de umidade (Fig. 4.47 e 4.48), nos níveis de 925 e 850 hPa, observa-se que o modelo não apresentou bom desempenho (comparando com as Fig. 4.15 e 4.16). Apenas em 24 horas, os termos da equação de conservação de umidade são melhor previstos (não mostrado). Em 48 horas, os termos de advecção vertical de umidade e o resíduo são previstos deslocados e mais intensos na região onde encontra-se o ciclone. A partir de 72 horas, a qualidade das previsões tende a diminuir gradativamente.

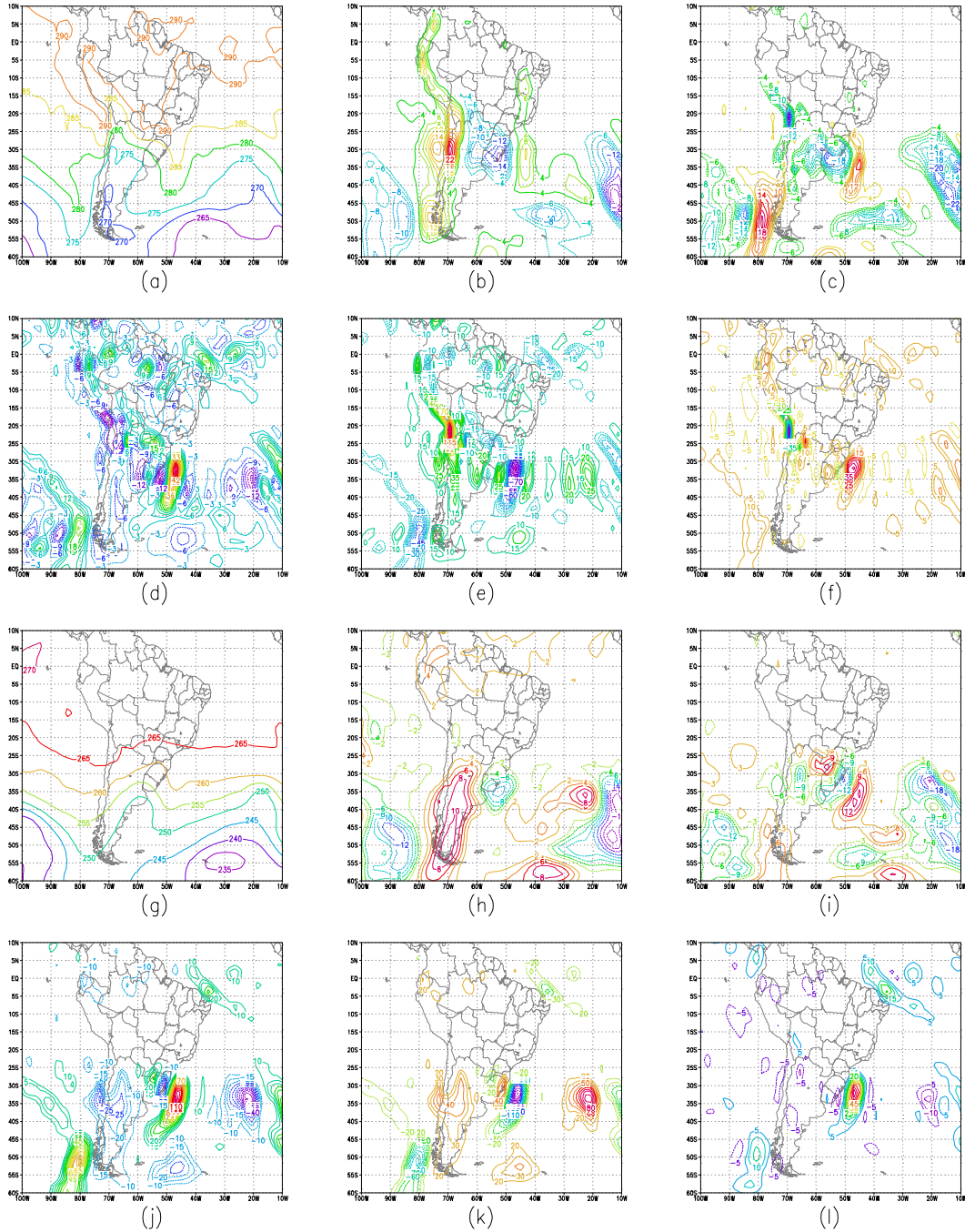


Fig. 4.45 - Balanço de Calor para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Previsão de 48 horas (99052712 para 99052912): Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T / \partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\bar{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T / \partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega / c_p \cdot \partial \phi / \partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 500 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T / \partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\bar{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T / \partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega / c_p \cdot \partial \phi / \partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

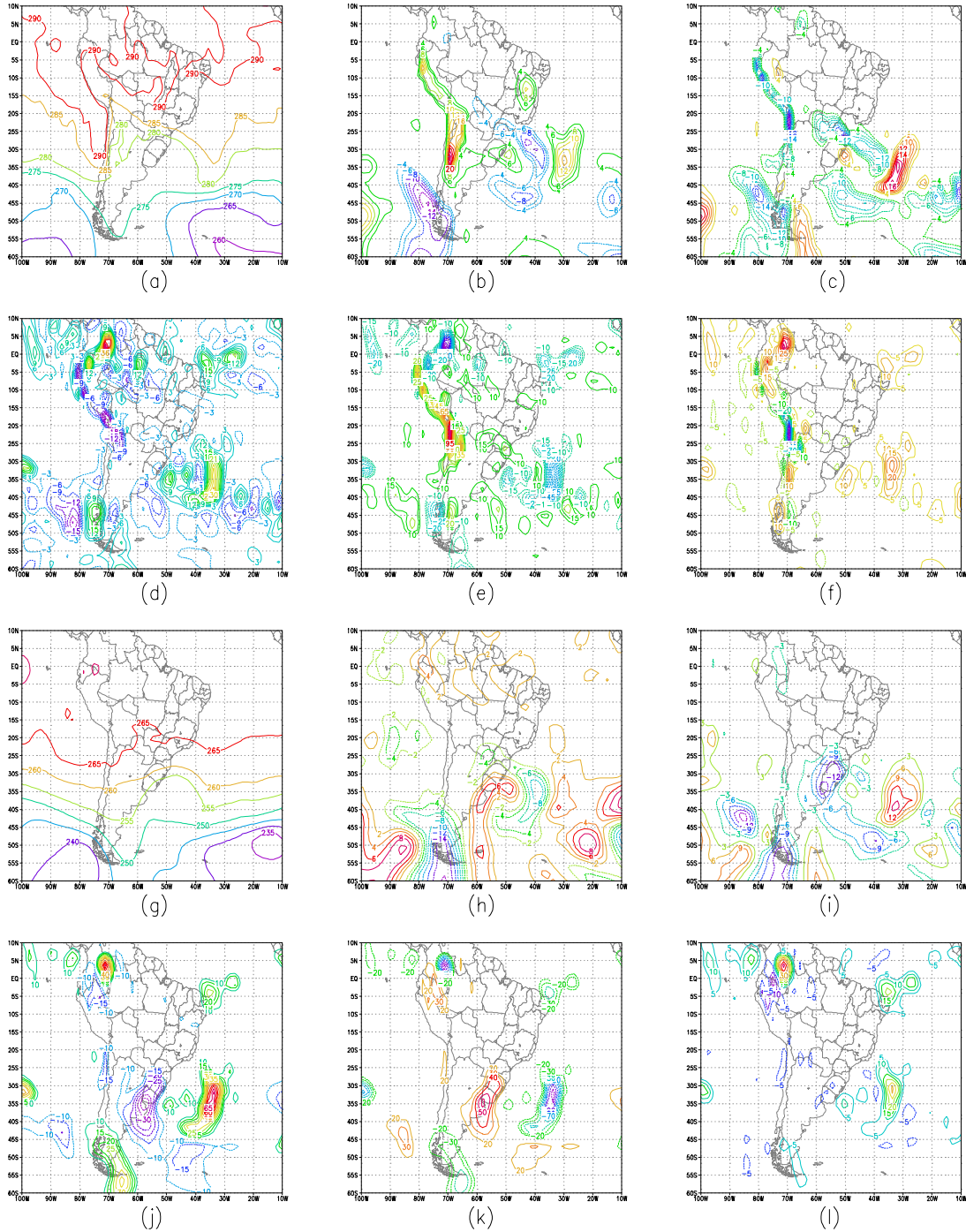


Fig. 4.46 - Balanço de Calor para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Previsão de 72 horas (99052712 para 99053012): Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 500 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

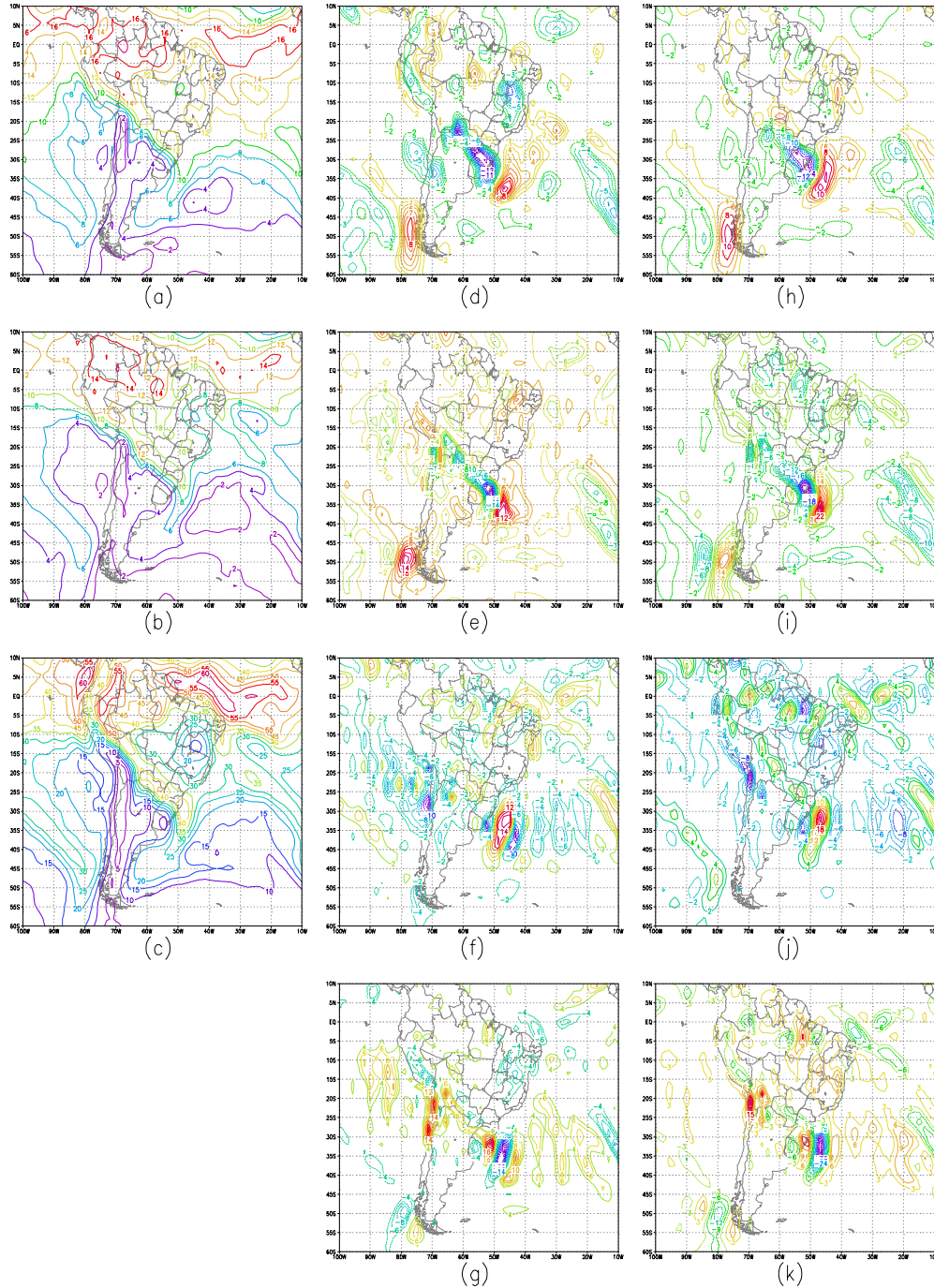


Fig. 4.47 - Balanço de Umidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Previsão de 48 horas (99052712 para 99053012): (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg⁻¹]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg⁻¹]; (c) Água Precipitável [Kg m⁻²]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (g) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [g Kg⁻¹ dia⁻¹]; (k) Resíduo [g Kg⁻¹ dia⁻¹]

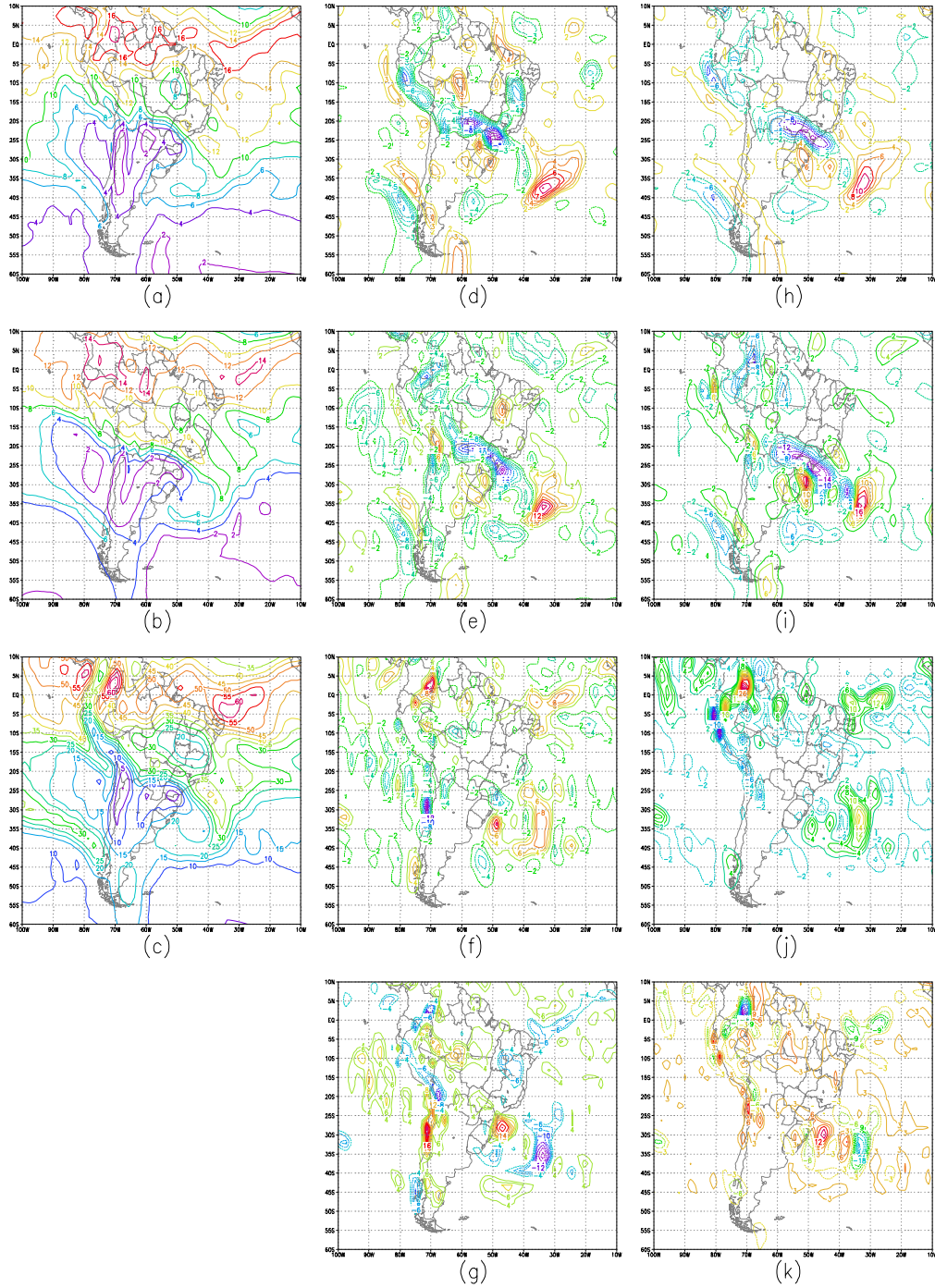


Fig. 4.48 - Balanço de Umidade para o Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses. Previsão de 72 horas (99052712 para 99053012): (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg^{-1}]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg^{-1}]; (c) Água Precipitável [Kg m^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (g) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]

4.5.3 EPISÓDIO 3: EL NIÑO

Os termos da equação da vorticidade apresentam diferenças significativas comparando-se as análises (Fig. 4.17 - 4.20) e previsões (Fig. 4.49 - 4.52) para os níveis de 850 e 200 hPa, já em 24 horas. Tanto a intensidade quanto a posição dos núcleos dos termos da equação não são bem previstos pelo modelo. À medida que o prazo de previsão aumenta, diminui-se ainda mais a precisão da configuração dos campos.

A comparação entre as análises (Fig. 4.21 e 4.22) e previsões (Fig. 4.53 e 4.54), dos termos da equação termodinâmica, indica que o modelo não apresenta bom desempenho para os níveis de 850 e 200 hPa. Em quase todos os dias de previsão, verifica-se que o modelo tem deficiência em prever a posição e intensidade dos campos. Para o termo de resíduo, nota-se que na região do Oceano Pacífico Equatorial, o modelo consegue simular razoavelmente as fontes e sumidouros de calor, até 72 horas.

Embora o modelo apresente boa previsão para as variáveis umidade específica e água precipitável em quase todos os horários, os termos da equação de conservação de umidade específica não são bem previstos (comparando com as análises - Fig. 4.23 e 4.24). Já em 24 horas, observa-se diferenças significativas em 925 e 850 hPa, tanto no que diz respeito à posição como à intensidade dos centros (Fig. 4.55 e 4.56). Com relação ao resíduo, verifica-se que apenas em 48 horas, o modelo conseguiu simular os sumidouros de umidade na região do Pacífico Equatorial.

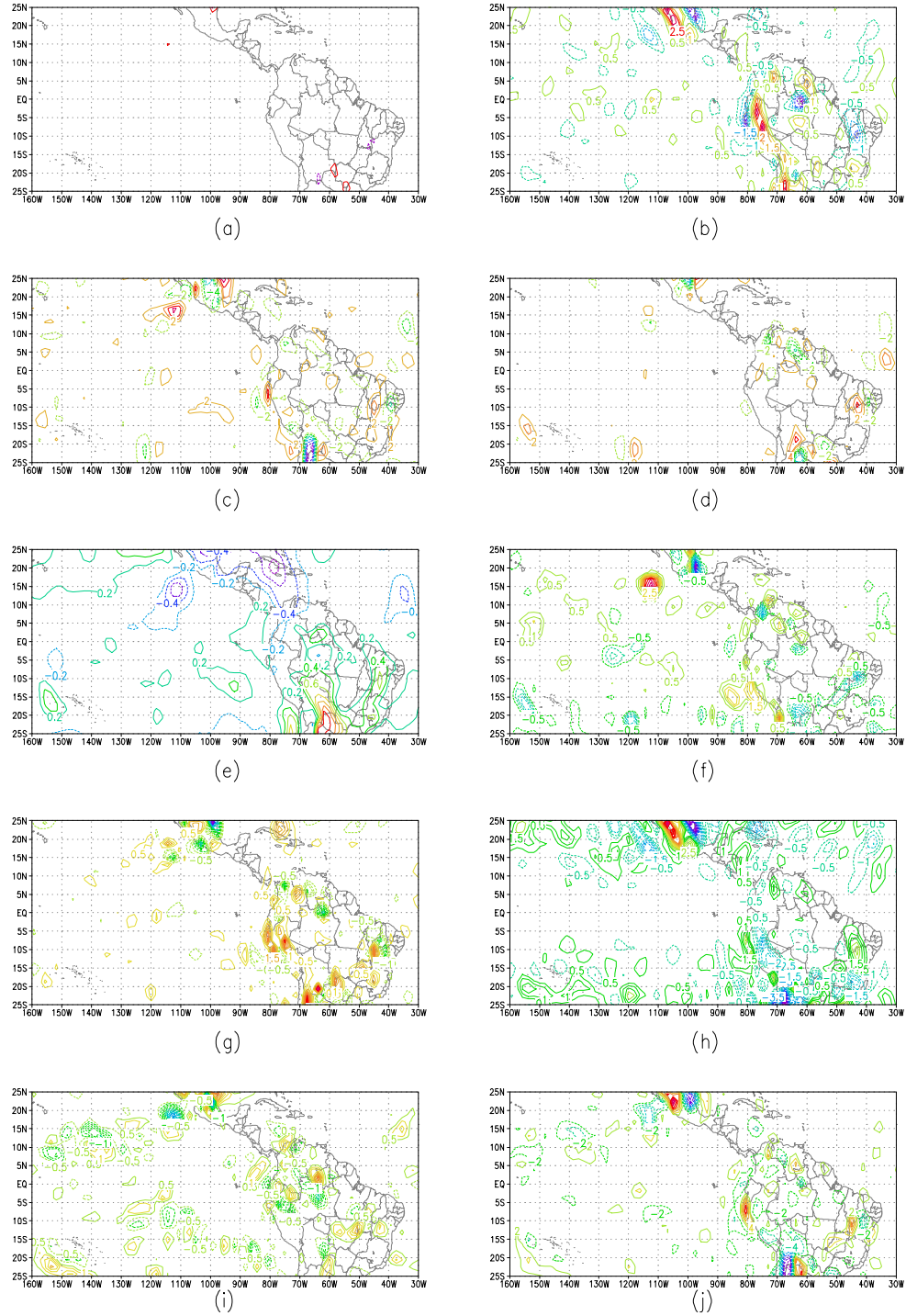


Fig. 4.49 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 850 hPa. Previsão de 24 horas (97122412 para 97122512): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

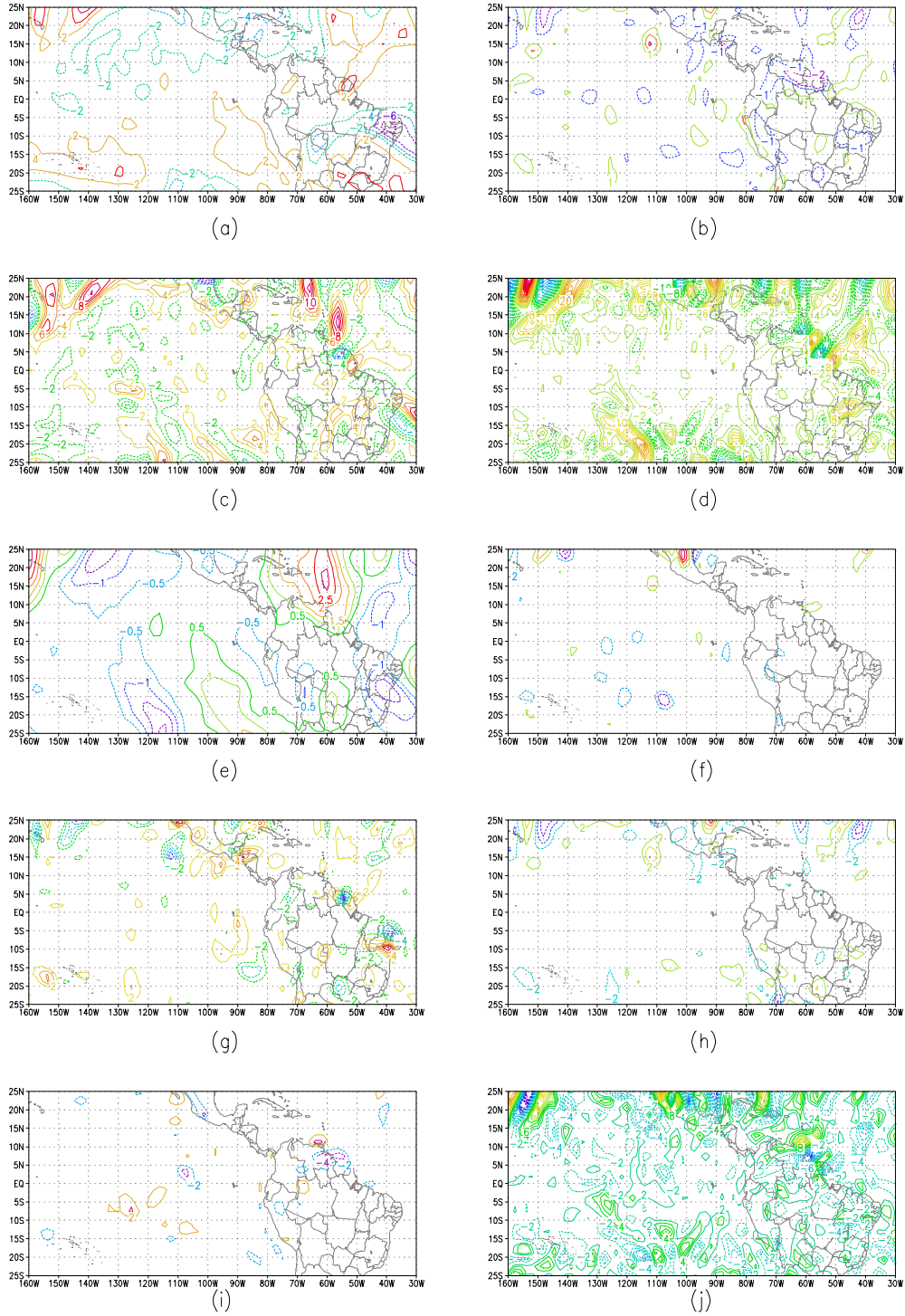


Fig. 4.50 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 200 hPa. Previsão de 24 horas (97122412 para 97122512): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega\partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi\nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f\nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla\omega \times \partial\vec{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

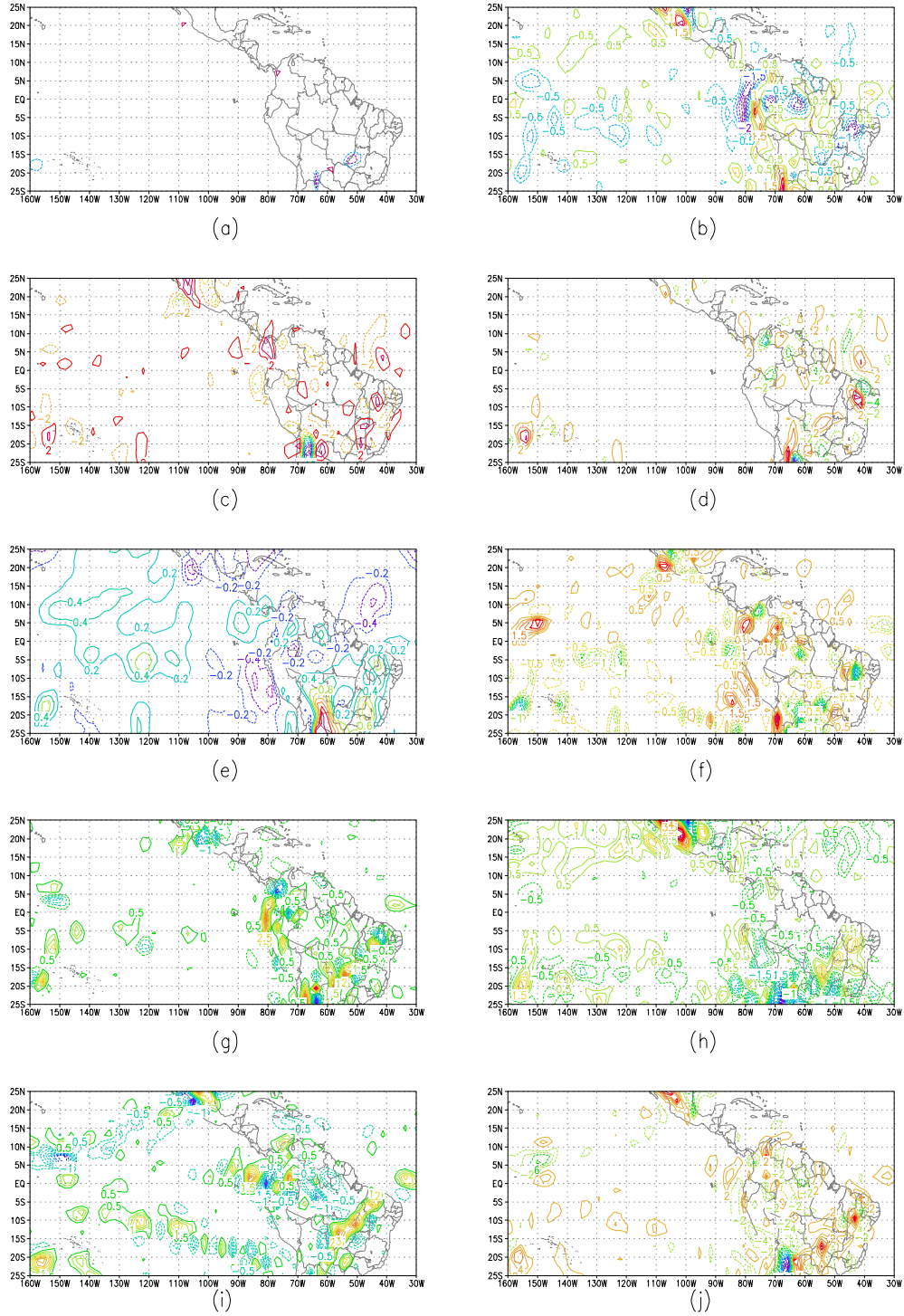


Fig. 4.51 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 850 hPa. Previsão de 48 horas (97122412 para 97122612): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\vec{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \vec{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\vec{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \vec{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

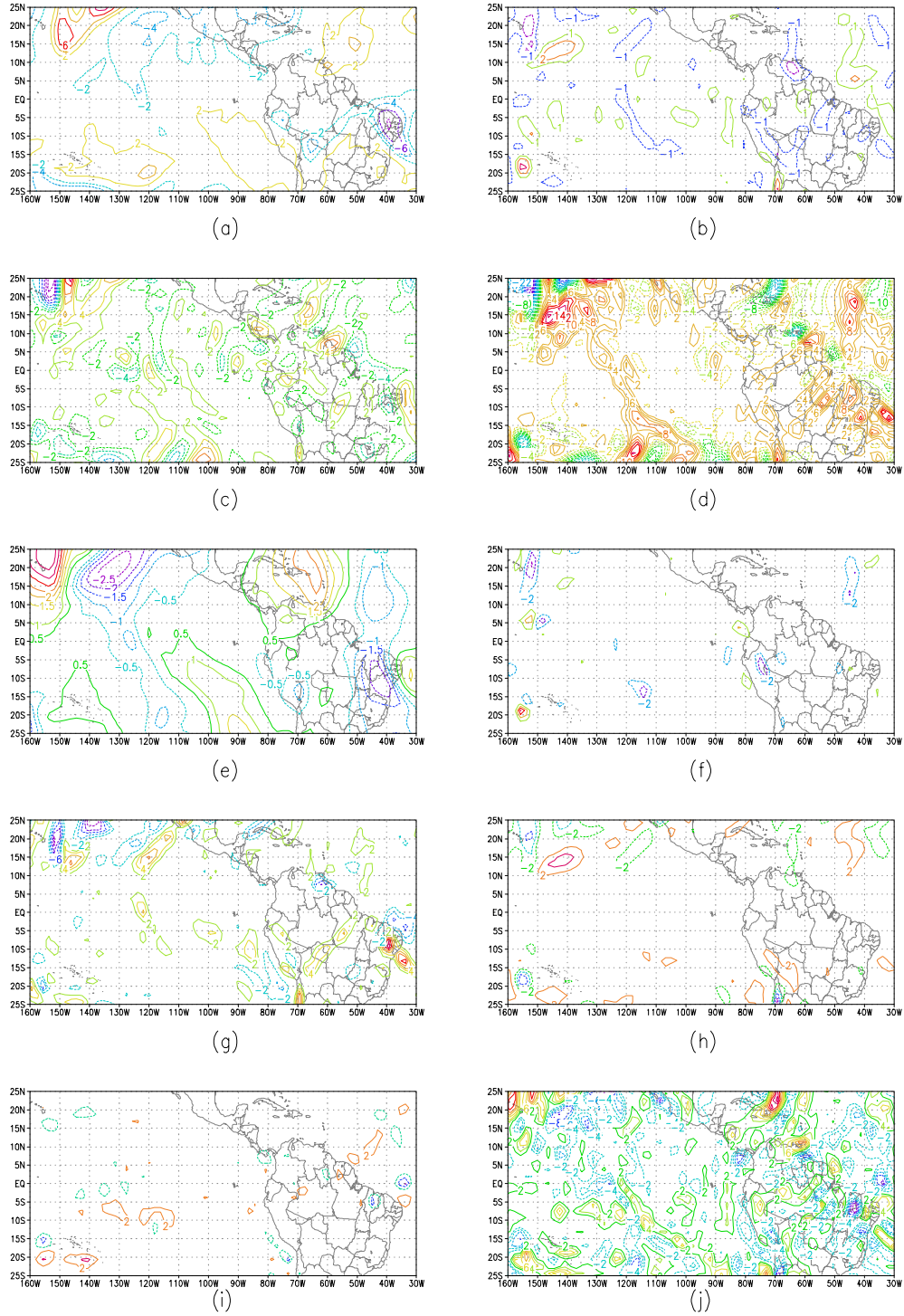


Fig. 4.52 - Balanço de Vorticidade para o Episódio El Niño, em 200 hPa. Previsão de 48 horas (97122412 para 97122612): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla \omega \times \partial \bar{V} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

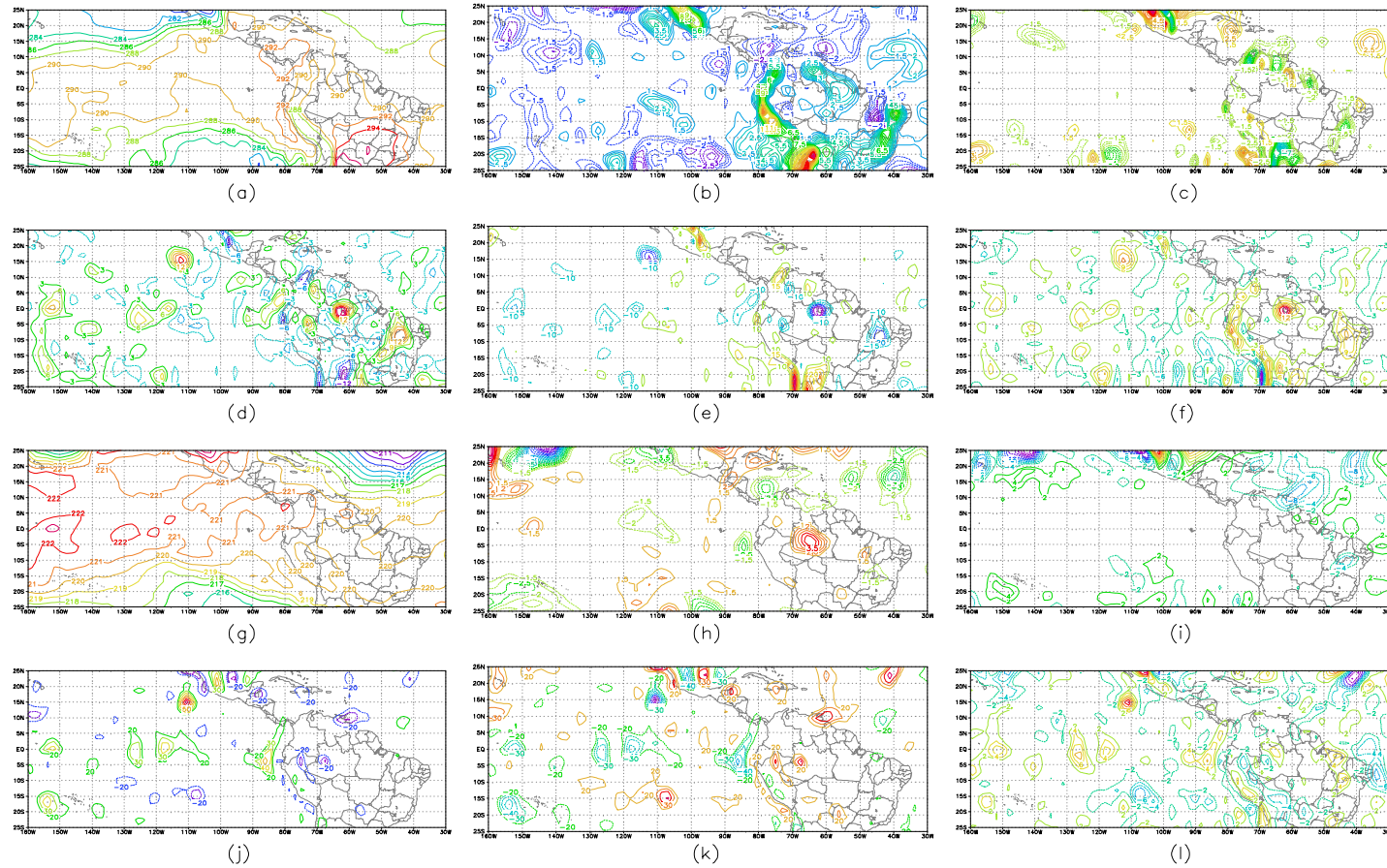


Fig. 4.53 - Balanço de Calor para o Episódio El Niño. Previsão de 24 horas (97122412 para 97122512): Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

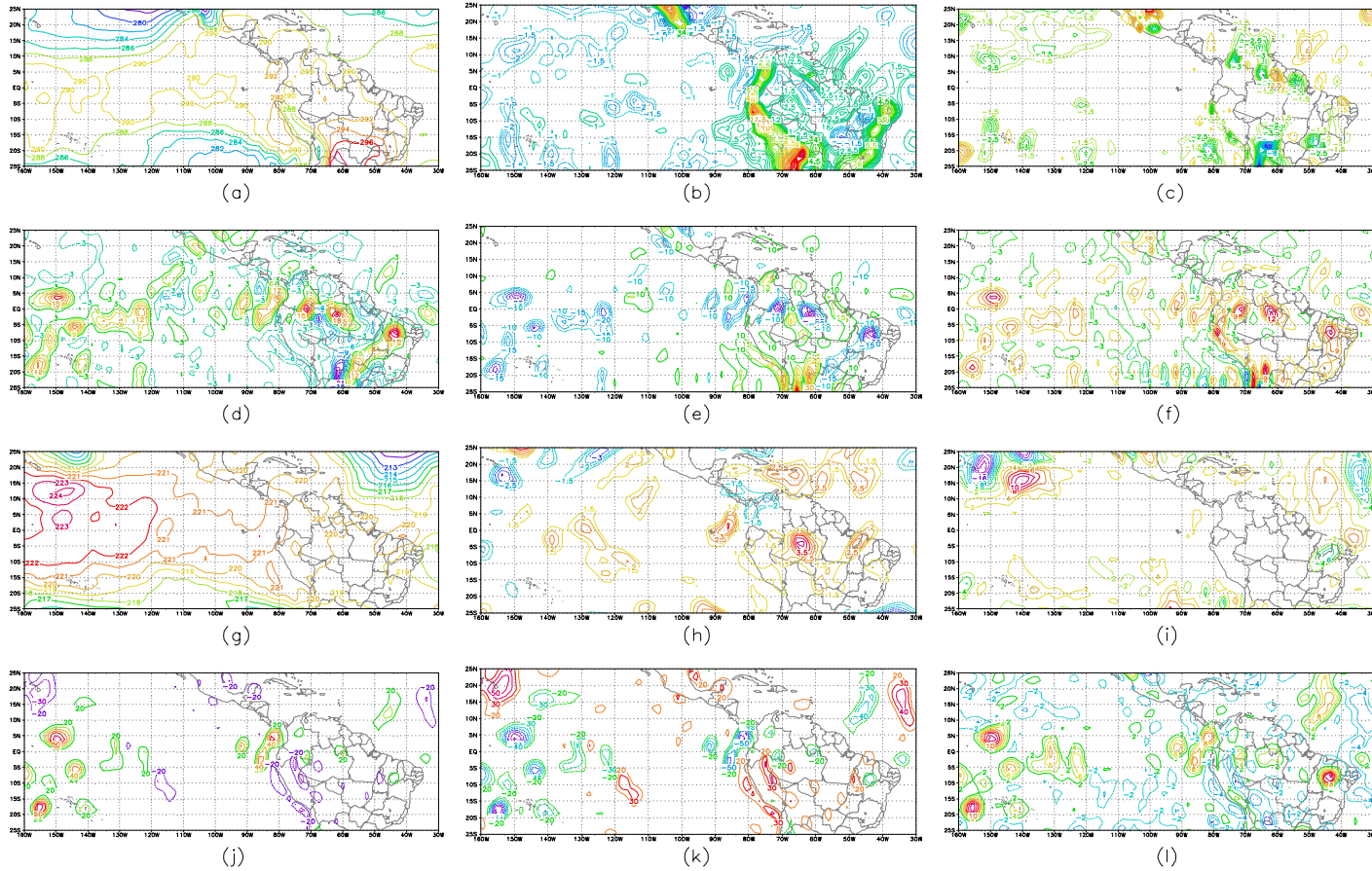


Fig. 4.54 - Balanço de Calor para o Episódio El Niño. Previsão de 48 horas (97122412 para 97122612): Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

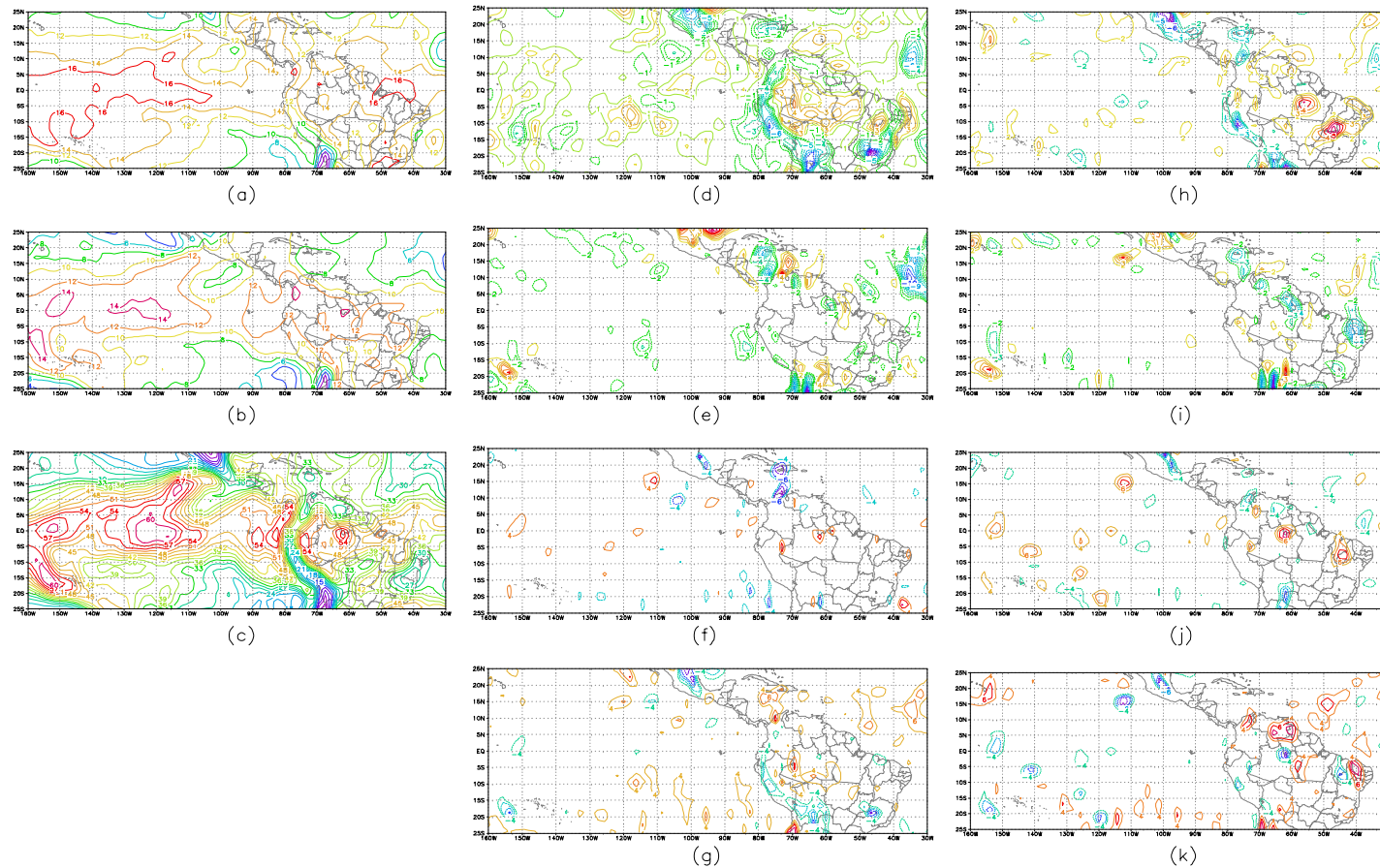


Fig. 4.55 - Balanço de Umidade para o Episódio El Niño. Previsão de 24 horas (97122412 para 97122512): (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg^{-1}]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg^{-1}]; (c) Água Precipitável [Kg m^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (g) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]

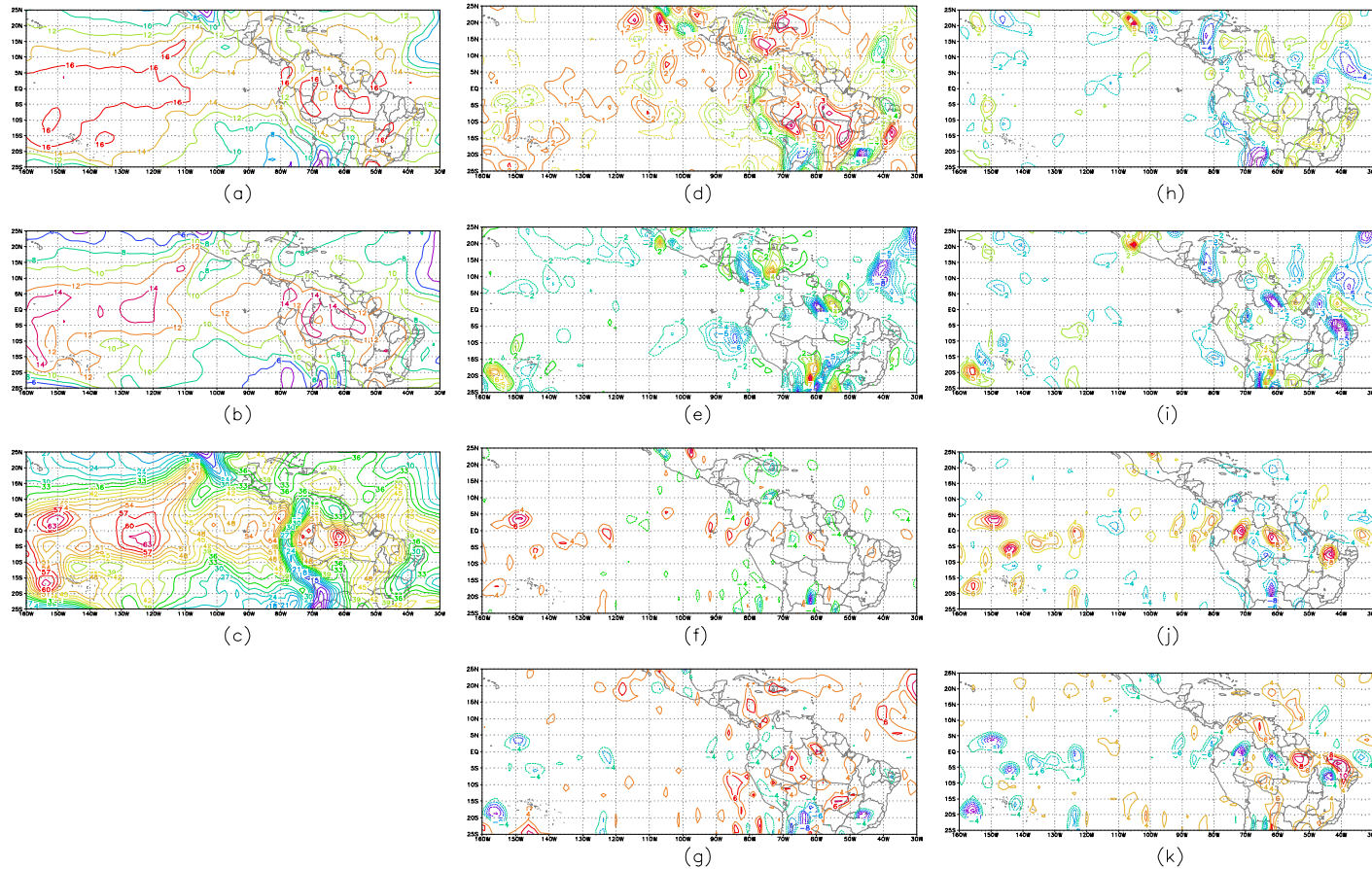


Fig. 4.56 - Balanço de Umidade para o Episódio El Niño. Previsão de 48 horas (97122412 para 97122612): (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg^{-1}]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg^{-1}]; (c) Água Precipitável [Kg m^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (g) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{dia}^{-1}$]

4.5.4 EPISÓDIO 4: LA NIÑA

Os termos da equação da vorticidade não são bem previstos pelo modelo nos níveis de 850 e 200 hPa (Fig. 4.57 - 4.60). O modelo não previu bem as posições dos campos e, além disso, prevê alguns centros não configurados na análise. A intensidade e sinal dos campos também são previstos com erros, visto que em alguns pontos de grade o modelo subestima ou superestima os valores encontrados na análise (Fig. 4.25 - 4.28).

Em 850 hPa (Fig. 4.61 e 4.62), observa-se que o modelo não apresenta boa previsão dos termos da equação da termodinâmica. Nas previsões de 24 e 48 horas, o modelo tende a superestimar os termos, e deslocar alguns núcleos. A partir de 48 horas, as previsões apresentam muitos erros na intensidade, sinal e posição dos campos. No nível de 200 hPa, observa-se para o resíduo, que o modelo consegue simular os sumidouros de calor que aparecem na região próxima ao equador, sobre o Oceano Pacífico, na previsão de 24 horas. As demais previsões não apresentaram resultados muito satisfatórios.

Em 925 hPa (Fig. 4.63 e 4.64), o modelo apresenta muita deficiência em prever os termos da equação de conservação de umidade, em comparação com as análises (Fig. 4.31 e 4.32). Praticamente em todos os termos o modelo prevê centros que não existem na análise e, em alguns pontos os sinais são opostos ao da análise. Apenas alguns campos previstos apresentam posição e intensidade corretas.

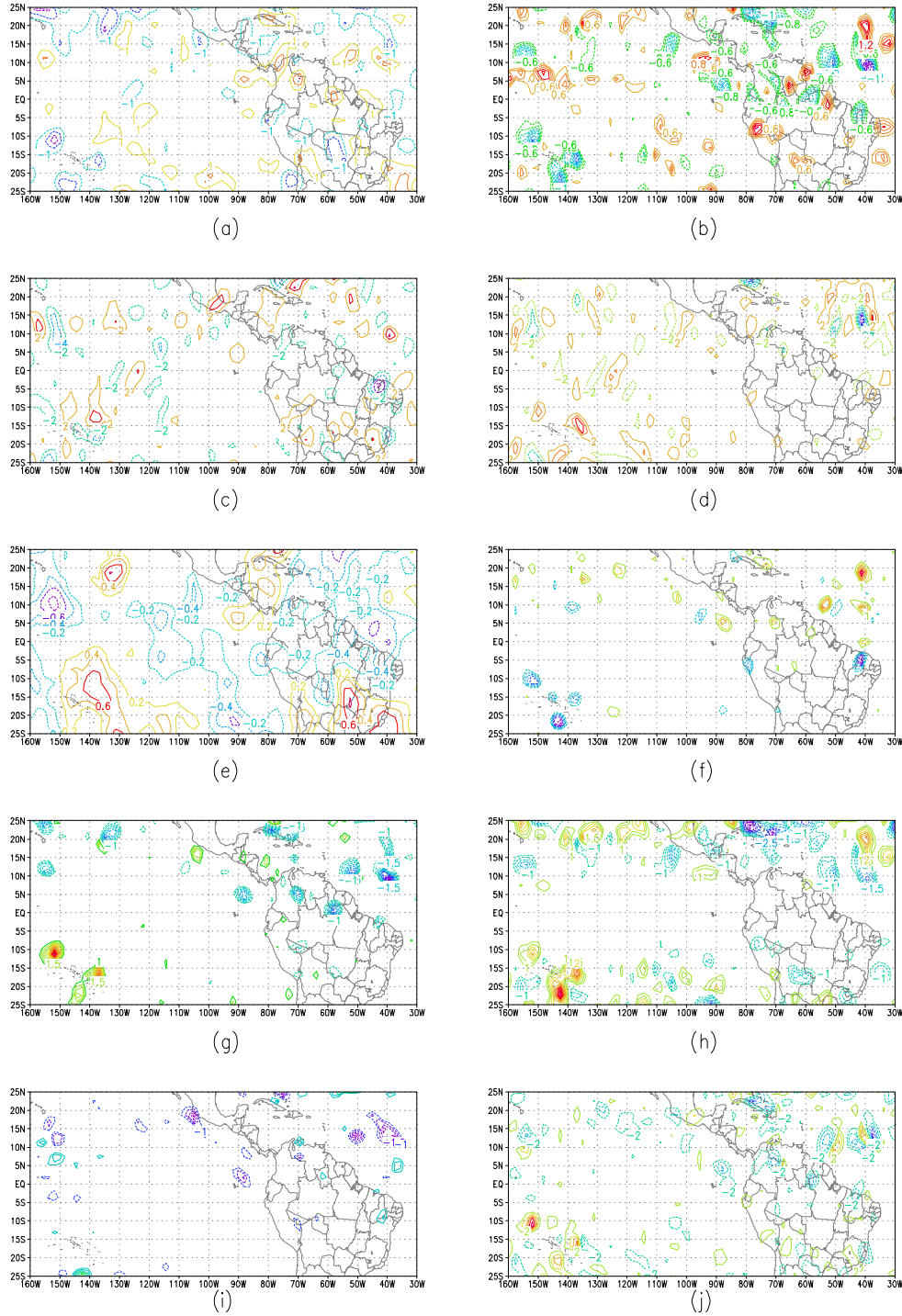


Fig. 4.57 - Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 850 hPa. Previsão de 24 horas (99011512 para 99011612): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{\mathbf{V}}_H \cdot \nabla \xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial \xi / \partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{\mathbf{k}} \cdot (\nabla \omega \times \partial \bar{\mathbf{V}} / \partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

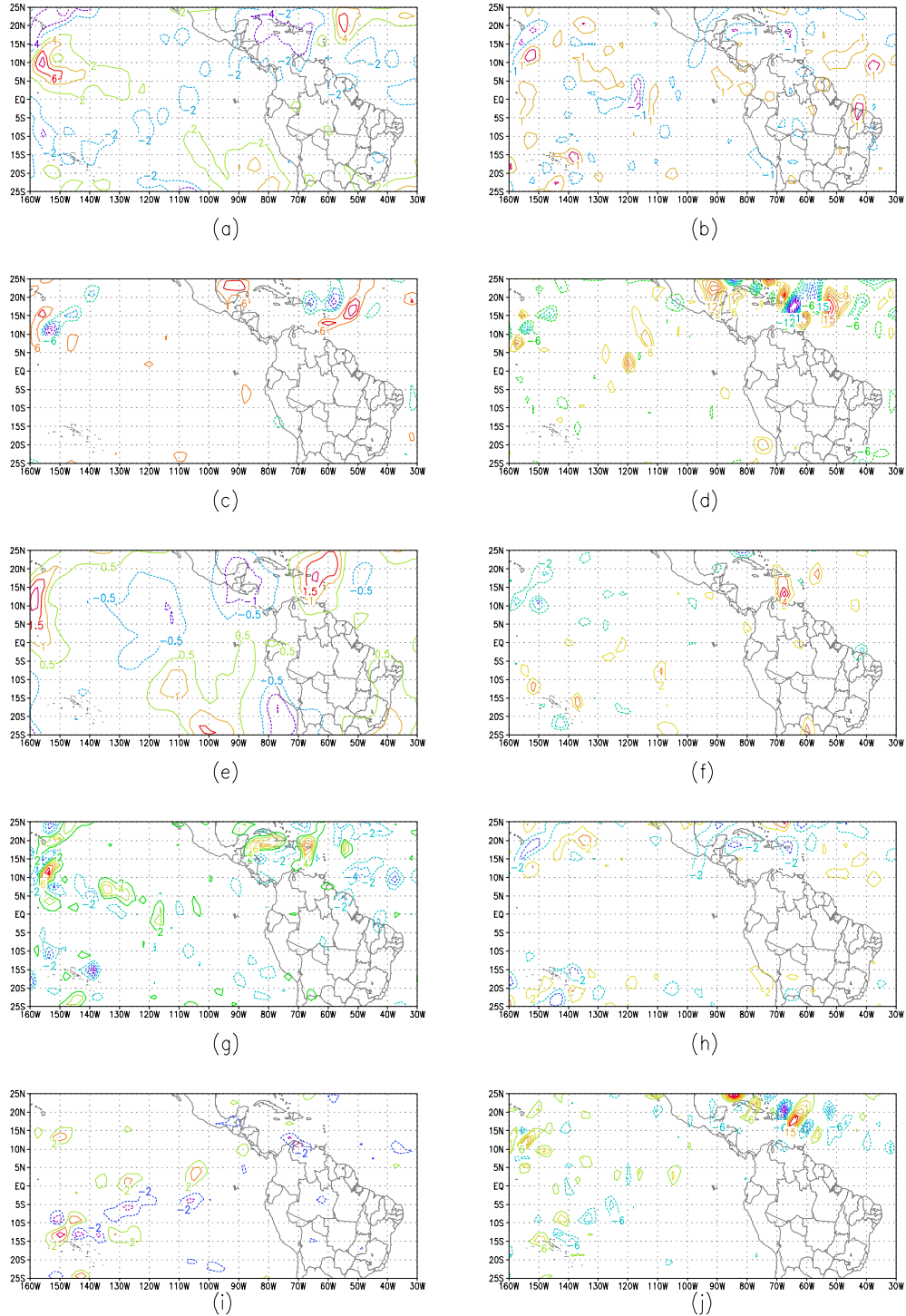


Fig. 4.58 - Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 200 hPa. Previsão de 24 horas (99011512 para 99011612): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{\mathbf{V}}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{\mathbf{k}} \cdot (\nabla \omega \times \partial \bar{\mathbf{V}}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

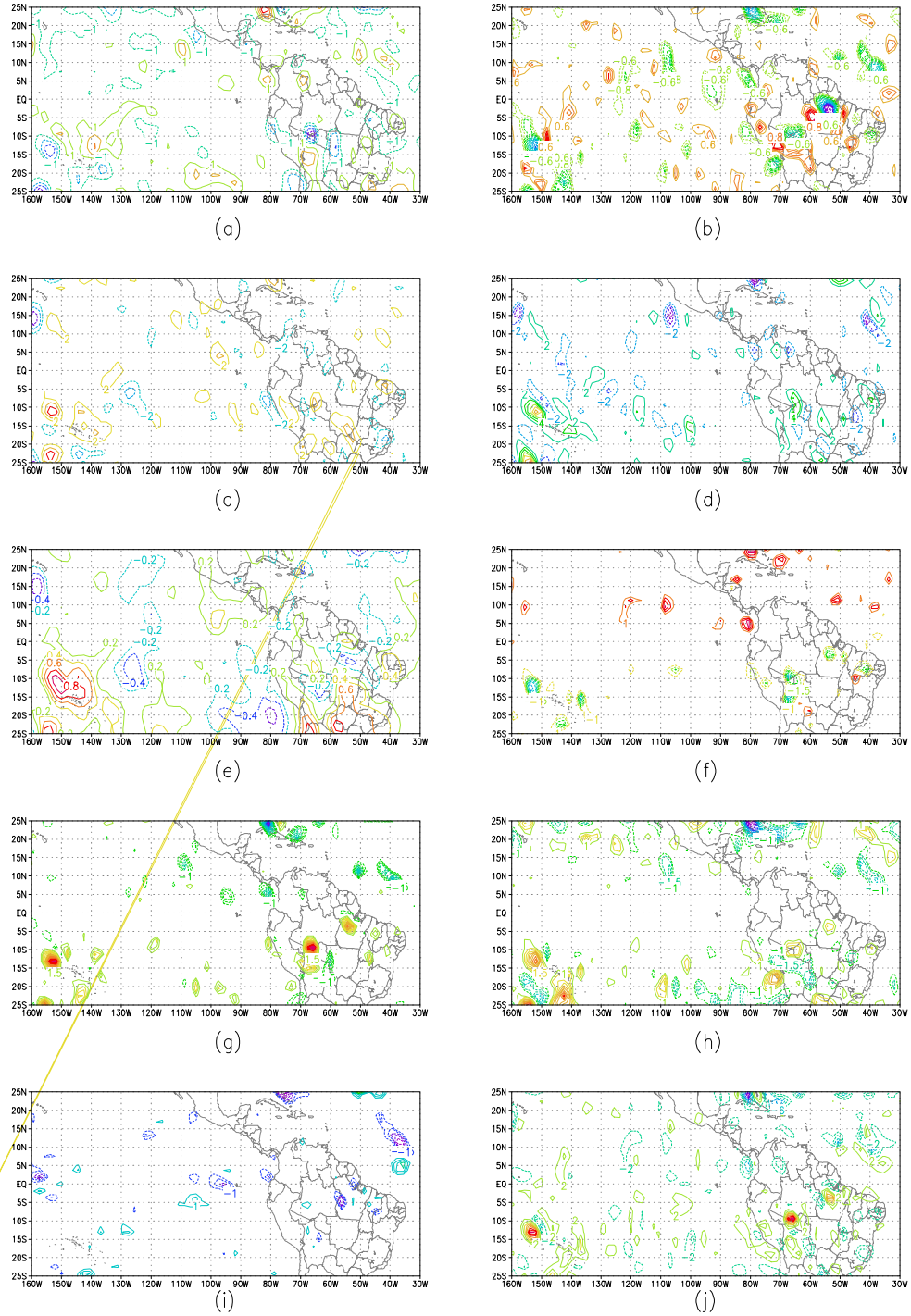


Fig. 4.59 - Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 850 hPa. Previsão de 48 horas (99011512 para 99011712): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{\mathbf{V}}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega \partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f \nabla \cdot \bar{\mathbf{V}}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{\mathbf{k}} \cdot (\nabla \omega \times \partial \bar{\mathbf{V}}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

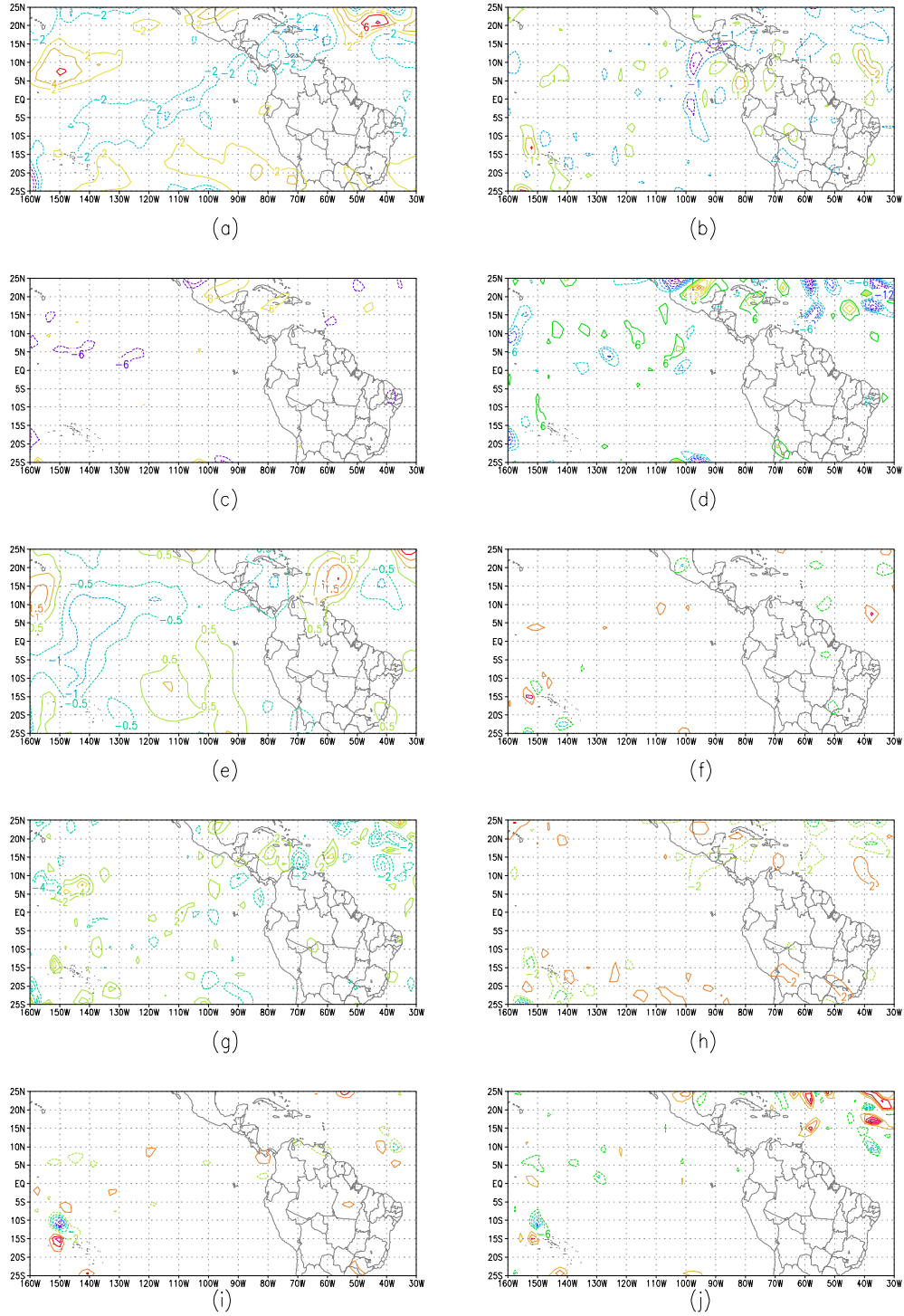


Fig. 4.60 - Balanço de Vorticidade para o Episódio La Niña, em 200 hPa. Previsão de 48 horas (99011512 para 99011712): (a) Vorticidade Relativa [dia^{-1}]; (b) Divergência [dia^{-1}]; (c) $\partial\xi/\partial t$ [Hz dia^{-1}]; (d) $-\bar{V}_H \cdot \nabla\xi$ [Hz dia^{-1}]; (e) $-\beta v$ [Hz dia^{-1}]; (f) $-\omega\partial\xi/\partial p$ [Hz dia^{-1}]; (g) $\xi\nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (h) $f\nabla \cdot \bar{V}$ [Hz dia^{-1}]; (i) $\bar{k} \cdot (\nabla\omega \times \partial\bar{V}/\partial p)$ [Hz dia^{-1}]; (j) Resíduo [Hz dia^{-1}]

* Os valores das figuras estão multiplicados por 10^5 .

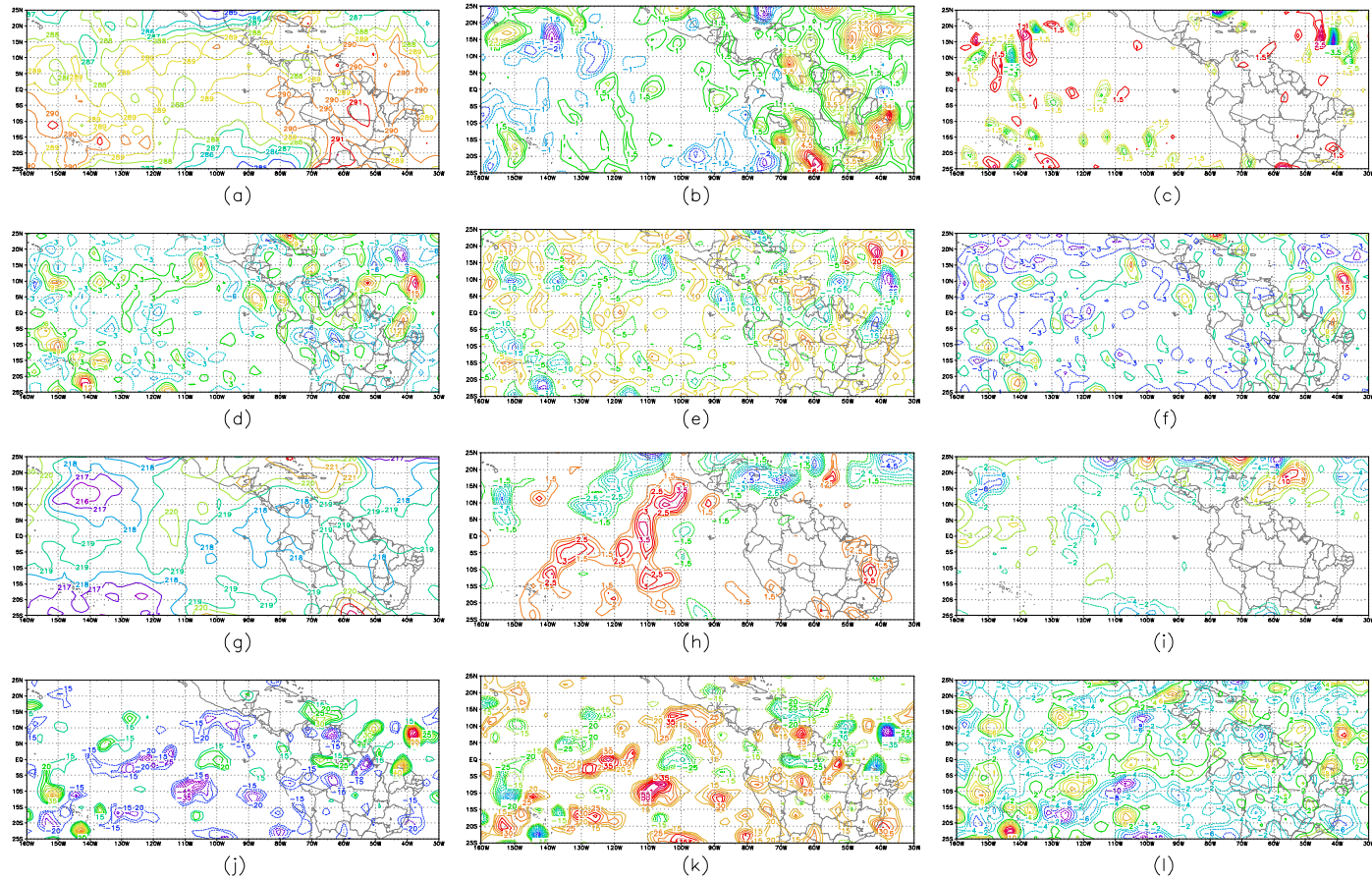


Fig. 4.61 - Balanço de Calor para o Episódio La Niña. Previsão de 24 horas (99011512 para 99011612): Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

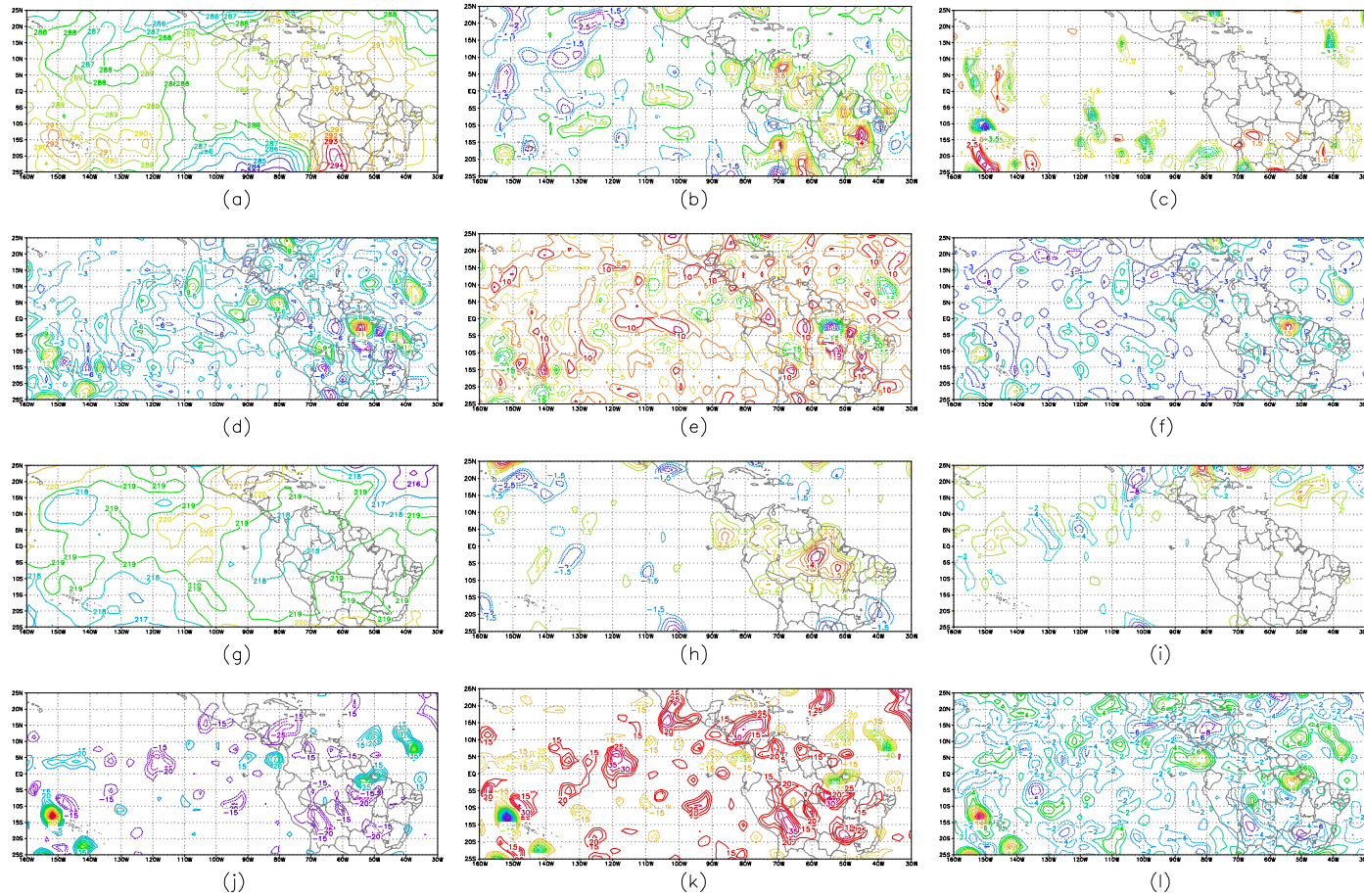


Fig. 4.62 - Balanço de Calor para o Episódio La Niña. Previsão de 48 horas (99011512 para 99011712): Nível 850 hPa: (a) Temperatura [K]; (b) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (c) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (d) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (e) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (f) Resíduo [K dia⁻¹]. Nível 200 hPa: (g) Temperatura [K]; (h) $\partial T/\partial t$ [K dia⁻¹]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla T$ [K dia⁻¹]; (j) $-\omega \partial T/\partial p$ [K dia⁻¹]; (k) $-\omega/c_p \cdot \partial \phi/\partial p$ [K dia⁻¹]; (l) Resíduo [K dia⁻¹]

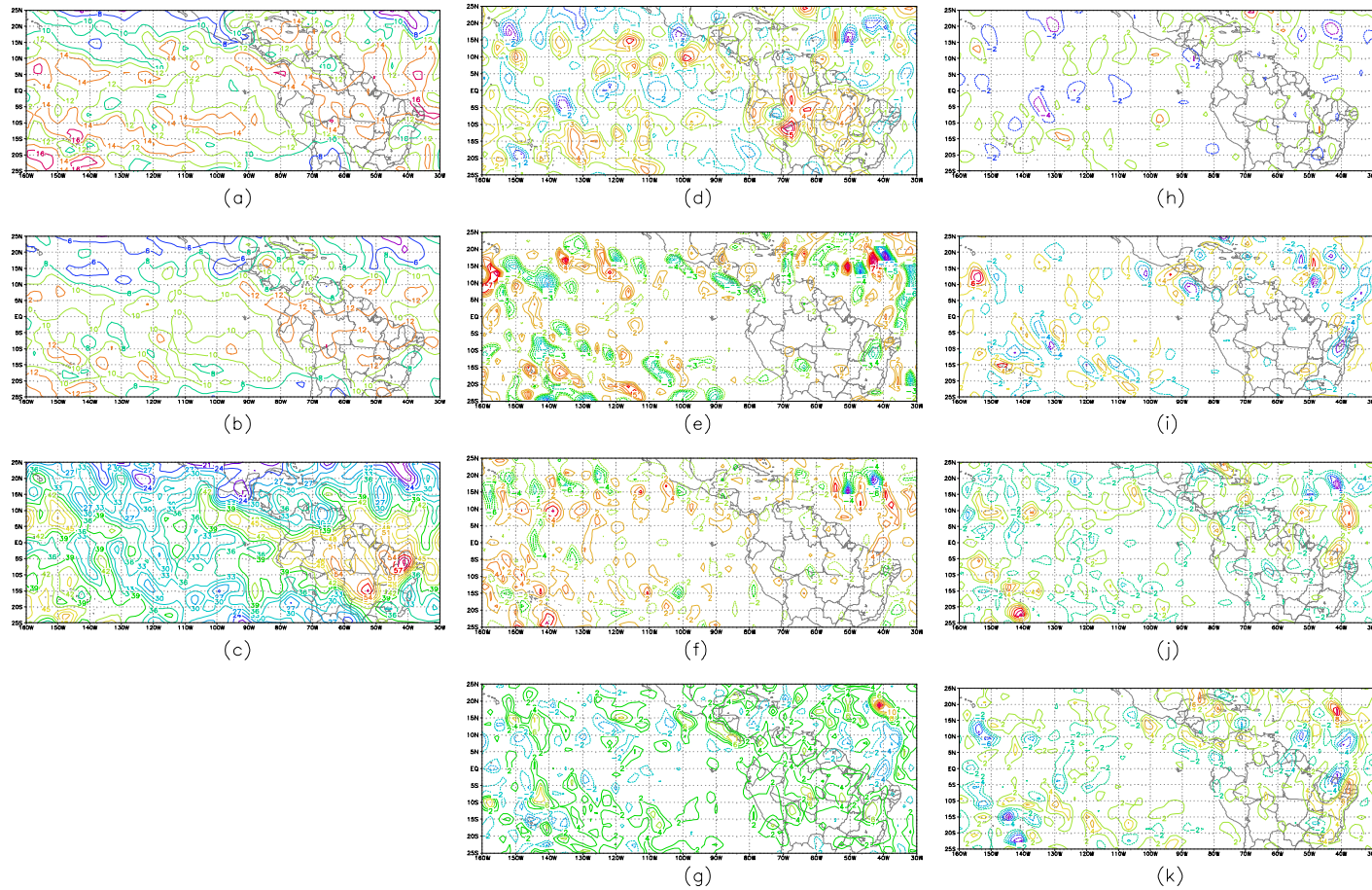


Fig. 4.63 - Balanço de Umidade para o Episódio El Niño. Previsão de 24 horas (99011512 para 99011612): (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg^{-1}]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg^{-1}]; (c) Água Precipitável [Kg m^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (g) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]

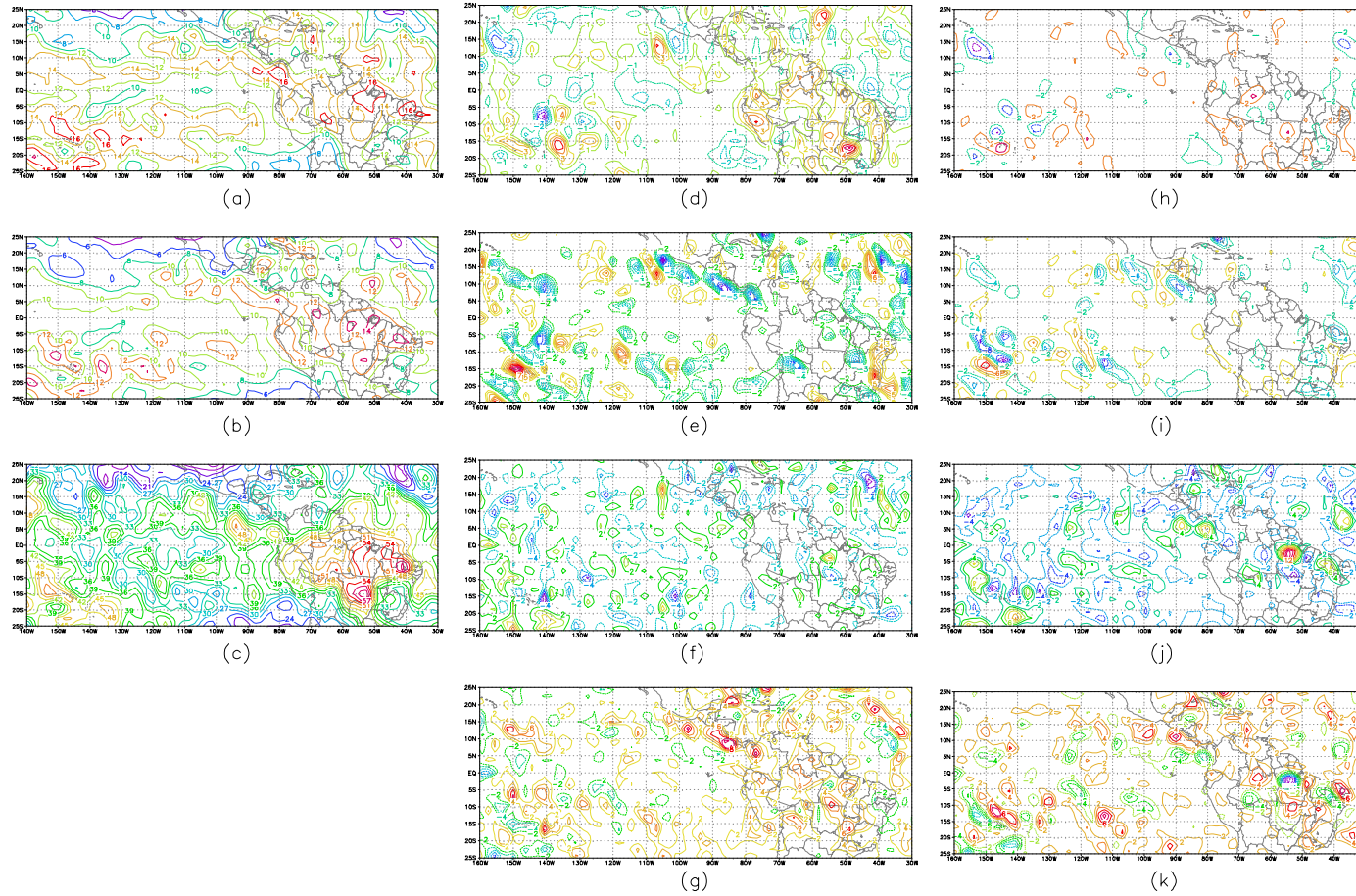


Fig. 4.64 - Balanço de Umidade para o Episódio La Niña. Previsão de 48 horas (99011512 para 99011712): (a) Umidade Específica (925 hPa) [g Kg^{-1}]; (b) Umidade Específica (850 hPa) [g Kg^{-1}]; (c) Água Precipitável [Kg m^{-2}]; Nível 925 hPa: (d) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (e) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (f) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (g) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]. Nível 850 hPa: (h) $\partial q/\partial t$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (i) $-\vec{V} \cdot \nabla q$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (j) $-\omega \partial q/\partial p$ [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]; (k) Resíduo [$\text{g Kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$]

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 CONCLUSÕES

Os balanços das equações de vorticidade, termodinâmica e conservação de umidade foram estudados em quatro situações meteorológicas distintas: 1) Episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Alta da Bolívia (17 a 23 de março de 1997); 2) Episódio de Ciclogênese e Sistema Frontal (28 de maio de 03 de junho de 1999); 3) Episódio de El Niño (25 a 31 de dezembro de 1997); 4) Episódio de La Niña (16 a 22 de janeiro de 1999).

Utilizando as análises do NCEP para o modelo global, foram calculados os termos das equações e avaliada a contribuição de cada termo para o balanço, procurando identificar a partir do resíduo, as “fontes” ou “sumidouros” de vorticidade, calor e umidade.

Para o caso de ZCAS e AB, a análise dos termos da equação da vorticidade mostra que em 850 hPa no início da ZCAS (dias 17 e 18), o termo de estiramento é o que mais contribui para o resíduo. À medida que a ZCAS tende a desintensificar-se, os termos de advecção vertical de vorticidade e torção exercem maior influência no resíduo. Nas latitudes ao sul de 40° S, o termo de advecção horizontal é o que melhor explica o resíduo. Em 200 hPa, o resíduo é melhor explicado pelo termo de advecção horizontal de vorticidade, que indica a produção de tendência positiva na vorticidade, ou seja advecção de vorticidade anticiclônica a leste do eixo da crista (Fig. 3.3).

Os termos da equação da termodinâmica indicam que as advecções verticais de temperatura e geopotencial dominam o balanço ao longo do período enquanto que os demais termos influenciam somente em algumas regiões. Este resultado está de acordo

com o obtido por Paulino (1995), para as estimativas do balanço de calor sobre regiões convectivamente ativas no continente sul-americano.

Para a equação do balanço de umidade, observa-se que em ambos os níveis, 925 e 850 hPa, os termos de tendência local e advecção horizontal de umidade tendem a se compensar em vários pontos de grade. O resíduo sobre o continente sul-americano é explicado pelo termo de tendência local de vortacidade, enquanto que na região do Oceano Atlântico, onde a banda de nebulosidade se estende, o termo que mais contribui para o resíduo é a advecção vertical de umidade. Observa-se que, em geral, sobre o continente o resíduo é positivo, enquanto que na região da ZCAS, o resíduo é negativo, indicando um sumidouro de umidade que pode estar associado ao fato da umidade estar sendo advectada para os níveis mais altos ou à condensação, visto que esta é uma região convectiva.

No Episódio Sistemas Frontais e Ciclogêneses, observa-se padrões distintos entre baixos e altos níveis para a equação da vortacidade. Em 925 hPa, na região da ciclogênese, o termo de estiramento exerce uma maior influência no resíduo, enquanto que no nível de 200 hPa, o termo de advecção horizontal de vortacidade é o que mais contribui para o resíduo.

Nos níveis de 850 e 500 hPa, o resíduo do balanço da equação da energia termodinâmica, na região do vórtice ciclônico é negativo e, deve-se principalmente aos termos de advecção vertical de temperatura e advecção vertical de geopotencial (espessura). Os núcleos de resíduo negativo, de forma geral, estão associados às regiões de grande atividade convectiva. A região ao sul de 25° S é caracterizada por forte advecção horizontal de temperatura que contribui substancialmente para o resíduo nesta região.

Da análise dos termos da equação de conservação de umidade, conclui-se que o resíduo em ambos os níveis, 925 e 850 hPa, é basicamente explicado pelo termo de advecção

vertical de umidade, que define próximo ao litoral do Rio Grande do Sul um núcleo de resíduo negativo (sumidouro de umidade) e núcleos positivos na Região Amazônica e Paraguai (fontes de umidade).

No caso de El Niño, da análise dos termos da equação da vorticidade em 850 hPa, conclui-se que na região do Pacífico Equatorial Central os termos de advecção vertical de vorticidade e torção tendem a explicar melhor o resíduo, apesar de terem uma ordem de grandeza menor que os termos de tendência local e advecção horizontal de vorticidade. Isto pode estar relacionado ao fato de que o aquecimento do oceano proporciona um maior cisalhamento do vento e regiões de intenso movimento vertical. Sobre o Continente, o termo de tendência local exerce maior influência no resíduo.

Na região entre o equador e 5° N, na vizinhança da posição média da ITCZ, os valores do resíduo são negativos, indicando que há dissipação de vorticidade. Em 200 hPa, nota-se que esta configuração do resíduo tende a se repetir, porém, há também a contribuição do termo de advecção horizontal de vorticidade para o resíduo na região do Oceano Pacífico Equatorial.

Estes resultados estão de acordo com os estudos realizados por Hodur e Fein (1977) no Pacífico Oeste Tropical, na região da ITCZ, que indicam resíduos negativos na vizinhança da posição média da ITCZ (950 hPa), devido ao acúmulo de vorticidade relativa positiva na escala sinótica, e resíduos positivos em 200 hPa, devido ao acúmulo de vorticidade negativa. Eles obtiveram que a posição média de ITCZ e o resíduo estão relacionados na troposfera e que o termo de advecção vertical de escala subgrade é dominante no resíduo, o que fisicamente significa que o não balanço de vorticidade relativa positiva produzida por processos de grande escala na baixa troposfera é transferido para a alta troposfera pela convecção de escala subgrade associada à ITCZ.

Para a equação da termodinâmica, verifica-se que, em 850 e 200 hPa, os termos relativos à advecção vertical de temperatura e geopotencial são os que mais contribuem

para o resíduo na região do Oceano Pacífico Equatorial Central, que pode ser explicado pelo aumento do fluxo de calor sensível do oceano para a atmosfera. Os termos de tendência local de temperatura e advecção horizontal são relativamente pequenos, não exercendo muita influência no resíduo.

Os termos da equação da conservação da umidade indicam que em ambos os níveis, 925 e 850, o termo de advecção vertical de umidade é o que exerce maior influência sobre o resíduo na região do El Niño e, que os valores, em geral, são negativos próximo ao equador. Sobre o continente, o que se verifica é uma maior contribuição dos termos de tendência local e advecção horizontal de umidade.

No episódio de La Niña, a avaliação dos termos da equação da vorticidade mostra padrões semelhantes de resíduo aos obtidos no caso de El Niño, porém com sinais opostos. Neste caso, em ambos os níveis, 850 e 200 hPa, o resíduo deve-se principalmente aos termos de tendência local e advecção horizontal de vorticidade, visto que os ventos (alísios) encontram-se mais fortes nesta região. Próximo ao equador, o resíduo apresenta valores negativos enquanto que em torno de 5° N, os valores tendem a ser positivos.

Para a equação da energia termodinâmica, observa-se que nos níveis de 850 e 200 hPa, os termos relativos à advecção vertical de temperatura e geopotencial são dominantes no balanço, explicando o termo de resíduo na região do La Niña. Além disso, verifica-se que em 850 hPa, os valores positivos próximo ao equador indicam a presença de fontes de calor, enquanto em 200 hPa, os valores são negativos, definindo sumidouros de calor.

A análise dos termos da equação da conservação de umidade mostra que na região do Oceano Pacífico Equatorial, o resíduo é basicamente explicado pelo termo de advecção vertical de umidade, nos níveis de 925 e 850 hPa. Os valores do resíduo próximo ao equador são, em geral, positivos, indicando a presença de fontes de umidade, enquanto

que em torno de 5° N, os valores tendem a ser negativos na faixa convectivamente ativa associada à ZCIT.

Na Tabela 5.1 a seguir é apresentada uma síntese das principais conclusões obtidas da análise dos termos individuais das equações de balanço.

Na seção 4.5 foi avaliado o desempenho do modelo em simular a evolução dos termos das equações. Para os episódios 1 e 2 que correspondem aos casos de ZCAS e AB, e Ciclogênese e Sistema Frontal respectivamente, o modelo apresentou melhor desempenho nas previsões de até 72 horas. Os episódios de El Niño e La Niña não são bem previstos pelo modelo, apresentando diferenças significativas já em 24 horas.

Em analogia ao discutido por Bitencourt (1996), pode-se dizer que a deficiência do modelo global em prever os termos das equações de vorticidade, calor e umidade está relacionada ao fato destes termos apresentarem um comportamento semelhante ao de variáveis derivadas.

O desempenho inferior do modelo para os episódios de El Niño e La Niña deve estar relacionado com a menor quantidade de dados nesta região.

TABELA 5.1 SÍNTESE DAS CONCLUSÕES DA ANÁLISE DOS TERMOS INDIVIDUAIS DOS BALANÇOS

	ZCAS E ALTA DA BOLÍVIA	SISTEMAS FRONTAIS E CICLOGÊNESES	EL NIÑO	LA NIÑA
Termos que mais contribuem para o resíduo	$(\xi + f)\nabla \cdot \vec{V}; -\omega \frac{\partial \xi}{\partial p} e$ $\bar{k} \cdot \left(\nabla \omega \times \frac{\partial \vec{V}}{\partial p} \right), \text{ em } 850\text{hPa};$ $-\vec{V} \cdot \nabla \xi, \text{ em } 200 \text{ hPa.}$ $-\omega \frac{\partial T}{\partial p} e - \frac{\omega}{c_p} \frac{\partial \phi}{\partial p}.$ $-\omega \frac{\partial q}{\partial p}.$	$(\xi + f)\nabla \cdot \vec{V}, \text{ em } 925 \text{ hPa}$ $-\vec{V} \cdot \nabla \xi, \text{ em } 200 \text{ hPa}$ $-\omega \frac{\partial T}{\partial p} e - \frac{\omega}{c_p} \frac{\partial \phi}{\partial p}.$ $-\omega \frac{\partial q}{\partial p}.$	$-\omega \frac{\partial \xi}{\partial p} e \bar{k} \cdot \left(\nabla \omega \times \frac{\partial \vec{V}}{\partial p} \right),$ em 850hPa; $-\vec{V} \cdot \nabla \xi, \text{ em } 200 \text{ hPa.}$ $-\omega \frac{\partial T}{\partial p} e - \frac{\omega}{c_p} \frac{\partial \phi}{\partial p}.$ $-\omega \frac{\partial q}{\partial p}.$	$\frac{\partial \xi}{\partial t} e - \vec{V} \cdot \nabla \xi;$ $-\omega \frac{\partial T}{\partial p} e - \frac{\omega}{c_p} \frac{\partial \phi}{\partial p}.$ $-\omega \frac{\partial q}{\partial p}.$
Fontes / Sumidouros	Fontes de umidade sobre o continente; Sumidouros de umidade na zona de convergência.	Fontes de umidade na Região Amazônica e Paraguai; Fontes de calor e sumidouros de umidade próximo à região do vórtice ciclônico	Sumidouros de vorticidade próximo à posição da ITCZ; Sumidouros de umidade próximo ao equador.	Fontes de vorticidade em torno de 5°N e sumidouros próximo ao equador; Sumidouros de calor em 200 hPa e fontes de calor em 850 hPa; Fontes de umidade próximo ao equador e sumidouros de umidade em torno de 5°N.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visto que os termos de advecção vertical em escala subgrade nas regiões de intensa atividade convectiva são componentes importantes no estudo dos balanços de vorticidade, calor e umidade sugere-se para trabalhos futuros:

- o emprego de modelos com maior resolução horizontal e vertical;
- a incorporação de outras parametrizações de escala subgrade que representem melhor os efeitos relacionados à convecção;
- um estudo mais detalhado da estrutura vertical dos balanços de vorticidade, calor e umidade;
- o cálculo dos balanços de vorticidade, calor e umidade para outros fenômenos sobre a região da América do Sul e em domínios mais amplos, bem como para um maior número de episódios de um mesmo fenômeno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anthes, R. A. A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. **Monthly Weather Review**, v. 105, n. 3, p. 270-300, 1977.
- Bitencourt, D. P. **Desempenho das previsões de variáveis simples e derivadas obtidas pelo modelo global do CPTEC/COLA para alguns casos significativos ocorridos sobre o centro-sul do Brasil**. São José dos Campos. 138p. (INPE-6407-TDI/617) Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996.
- Bonatti, J. P. Modelo de circulação geral do CPTEC. [on line]. **Climanálise Especial 10 anos**, v.11, número especial, ref. 26, 5p., out. 1996.
<<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/bonatti.html>>. 13 fev. 1999.
- Casarin, D.P.; Kousky, V.E. Precipitation a Anomalies in the Southern part of Brazil and Variations of the Atmospheric Circulation. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 1, p. 83-90, 1986.
- Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. São José dos Campos, v. 12, n. 3, mar.1997a. 47p.
- Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. São José dos Campos, v. 12, n. 12, dez. 1997b. 45p.
- Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. [on line]. São José dos Campos, v. 14, n. 1, jan. 1999a.
<<http://www.cptec.inpe.br/cgi-bin/climalis.cgi?mes=01&ano=99>> 27 jan 2000.
- Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. [on line]. São José dos Campos, v. 14, n. 5, mai. 1999b.
<<http://www.cptec.inpe.br/cgi-bin/climalis.cgi?mes=05&ano=99>> 27 jan 2000.
- Dean, G. A. **The three dimensional wind structure over South America and associated rainfall over Brazil**. São José dos Campos, INPE, 1971 (LAFE –164).
- Fein, J. S. Global vorticity budget over the tropics and subtropics at 200-mb during Northern Hemisphere summer. **Pure Appl. Geophys.**, v. 115, n. 5-6, p. 1493-1500, 1977.

- Gan, M. A. **Ciclogêneses e ciclones sobre a América do Sul**. São José dos Campos. p. 221. (INPE – 5400 – TDI/479). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992.
- Gandu, A. W. **Modelagem numérica da resposta troposférica regional a fontes tropicais de calor**. São Paulo. p. 209. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo - Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto Astronômico e Geofísico, 1993.
- Hodur, R. M.; Fein, J. S. A vorticity budget over the Marshall Islands during the spring and summer months. **Monthly Weather Review**, v. 105, n. 12, p. 1521-1526, Dez. 1977.
- Hoerling, M. P.; Johnson, D. R. An isentropic analysis of the wintertime vorticity exchange in relation to extratropical heat sources and sinks. **Tellus**, v. 43A, n. 2, p. 106-127, Mar. 1991.
- Johnson, D. R. et. al. Global and Regional Distributions of Atmospheric Heat Sources and Sinks During the GWE. In: Chang, C. P. and Krishnamurti, T. N., eds. **Monsoon Meteorology**. Oxford University Press, 1987. p. 271-297.
- Kayano, M. T. et. al. Tropical circulations and the associated rainfall anomalies during 2 contrasting years. **Journal of Climatology**, v. 8, n. 5, p. 477-488, Set-Out 1988.
- Kinter III, J. L. et. al. **The COLA atmosphere - biosphere general circulation model Volume 1: Formulation**. Calverton, MA,; Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies (COLA), 1997. Report n. 51. 44p.
- Kodama, Y. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ).1. Characteristics of subtropical frontal zones. **J. Meteorol. Soc. Jpn.**, v. 70, n. 4, p. 813-836, Ago. 1992.
- Kousky, V. E.; Kayano, M. T. A climatological study of the tropospheric circulation over the Amazon region. **Acta Amazônica**, v. 11, n. 4, p. 743-758, 1981.
- Kousky, V. E. et. al. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v. 36A, n. 5, 490-504, 1984.

- Kuo, H. L. On formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 22, n. 1, p. 40-63, 1965.
- Li, C.; Yanai, M. The onset and interannual variability of the Asian summer monsoon in relation to land-sea thermal contrast. **Journal of Climate**, v. 9, n. 2, p. 358-375, Fev. 1996.
- Mendonça, A. M. **Desempenho do modelo global CPTEC/COLA durante episódios de ZCAS, utilizando os esquemas de convecção profunda tipo Kuo e Arakawa-Schubert Relaxada**. São José dos Campos. 114p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.
- Nicholls, N. El Niño-Southern Oscillation and rainfall variability. **Journal of Climate**, v. 1, n. 4 p. 418-420, Abr. 1988.
- Oliveira, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia**. São José dos Campos. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1986.
- Paulino, L. E. B. **Balances de calor e umidade em grande escala na América do Sul - situações convectivas no verão**. São Paulo. 98p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo - Departamento de Meteorologia do Instituto Astronômico e Geofísico, 1995.
- Pedigo, C. P.; Vincent, D. G. Tropical precipitation rates during SOP - 1, FGGE, estimated from heat and moisture budgets. **Monthly Weather Review**, v. 118, n. 3, p. 542 - 556, Mar. 1990.
- Philander, S. G. **El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation**. San Diego, California: Academic Press, Inc., 1990. 293p.
- Rao, V. B.; Hada, K. Characteristics of rainfall over Brazil – annual variations and connections with the southern oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990.
- Rasmusson, E. M.; Wallace, J. M. Meteorological aspects of the El Niño/Southern Oscillation. **Science**, v. 222, n. 4629, p. 1195-1202, 1983.

- Reed, R. J.; Johnson, R. H. The vorticity budget of synoptic scale wave disturbances in the tropical western Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 31, n. 7, p. 1784-1790, Out. 1974.
- Ropelewski, C. F.; Halpert, M. S. Global and regional scale precipitation associated with El Niño/Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, Ago 1987.
- Sardeshmukh, P. D.; Hoskins, B. J. Vorticity balances in the tropics during the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation event. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, v. 111, n. 468, p. 261-278, 1985.
- Sardeshmukh, P. D.; Held, I. M. The vorticity balance in the tropical upper troposphere of a general circulation model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 41, n. 5, p. 768-778, Mar. 1984.
- Satyamurty, P.; Rao, V. B. Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Climanálise**, v. 3, n. 3, p. 31-35, Mar. 1988.
- Schaack, T. K.; Johnson, D. R.; Wei, M. Y. The three-dimensional distribution of atmospheric heating during the GWE. **Tellus**, v. 42A, p. 305 - 327, 1990.
- Silva Dias, M.A.F. **Balço de vorticidade em mesoescala: algumas aplicaões**. São Paulo. 118p. Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo - Departamento de Meteorologia do Instituto Astronômico e Geofísico, 1987.
- Silva Dias, P.L. et. al. As chuvas intensas de fevereiro de 1988: circulação global e previsibilidade. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 5., Rio de Janeiro, 1988. **Anais**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1988. v. 2, p. IX.6-IX.10.
- Stull, R. B. **An introduction to boundary layer meteorology**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1988. 666p.
- Virji, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. **Monthly Weather Review**, v. 109, n. 3, p. 599-610, Mar. 1981.
- Virji, H. An estimate of the summertime tropospheric vorticity budget over South America. **Monthly Weather Review**, v. 110, p. 217-224, Mar. 1982.

Virji, H.; Kousky, V. E. Regional and global aspects of a low latitude frontal penetration in Amazonas and associated tropical activity. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, 1., São José dos Campos, 1983. **Preprints**. Boston: AMS, 1983. p. 215-220.

Wei, M. Y.; Johnson, D. R.; Townsend, R. D. Seasonal distributions of diabatic heating during the First GARP Global Experiment. **Tellus**, v. 35A, n. 4, p. 241-255, 1983.

Yanai, M.; Esbensen, S.; Chu, J. Determination of bulk properties of tropical cloud clusters from large - scale heat and moisture budgets. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 30, n. 4, p. 611-627, 1973.

Yanai, M.; Tomita, T. Seasonal and interannual variability of atmospheric heat sources and moisture sinks as determined from NCEP - NCAR Reanalysis. **Journal of Climate**, v. 11, n. 3, p. 463-482, Mar. 1998.

APÊNDICE A

SCRIPTS PARA O CÁLCULO DOS BALANÇOS DE VORTICIDADE, CALOR E UMIDADE

A.1 SCRIPT QUE CALCULA O BALANÇO DE VORTICIDADE

```
'reinit'  
  
dirscr='/home/renata/scripts/'  
rec=read(dirscr"arq")  
lin=sublin(rec,2)  
data=subwrd(lin,1)  
ext=subwrd(lin,2)  
say 'data='data  
say 'ext='ext  
  
if (ext='fct')  
'open /public/renata/dados/previsao.ctl'  
else  
'open /public/renata/dados/analise.ctl'  
endif  
  
'set mpdset brmap_mres'  
  
'set lon -200.625 0'  
'set lat -69.375 39.375'  
  
deltat=6*3600  
'define dia=24*3600'  
'define aa=6.37e6'  
'define pi=2*asin(1)'  
'define rd=pi/180'  
'define tom=2*pi/dia'  
'define beta=tom/aa'  
'define clat=cos(lat*rd)'  
'define slat=sin(lat*rd)'  
'define dx=cdiff(lon,x)*rd'  
'define dy=cdiff(lat,y)*rd'  
  
'set fwrite /home/renata/binctl/vort'ext'_ 'data'.bin'  
'set gxout fwrite'
```

```

t=1
while(t <= 28)

'set t 't

say 'calculando para t='t

t1=t-1
t2=t+1
delt=2*deltat

if (t = 1)
t1=1
delt=deltat
endif

if (t = 28)
t2=28
delt=deltat
endif

****calcula e escreve o termo de tendência de vorticidade****

l=1
while(l <= 17)
'set z 'l
'define tvort'l'=-dia*(vort(t='t2')-vort(t='t1'))/'delt"
'd tvort'l"
l=l+1
endwhile

****calcula e escreve o termo de advecção horizontal de vorticidade****

l=1
while(l <= 17)
'set z 'l
'define ahvort'l'=-dia*((uvel*cdiff(vort,x))/(clat*dx) + (vvel*cdiff(vort,y))/dy)/aa'
'd ahvort'l"
l=l+1
endwhile

l=1
while(l <= 17)
'set z 'l
'define betav'l'=-dia*beta*clat*vvel'
'd betav'l"
l=l+1

```

```
endwhile
```

```
***calcula e escreve o termo de adveccao vertical de vorticidade***
```

```
l=1
while(l <= 17)
l1=l-1
l2=l+1
if (l = 1)
l1=1
endif

if (l = 17)
l2=17
endif
'set z 'l1
'define p1=lev*100'
'set z 'l2
'define p2=lev*100'
'set z 'l
'define avvort'l'=-dia*omeg*((vort(z='l2')-vort(z='l1'))/(p2-p1))'
'd avvort'l"
l=l+1
endwhile
```

```
***calcula e escreve o termo de estiramento ou divergência***
```

```
l=1
while(l <= 17)
'set z 'l
'define ervort'l'=dia*vort*divg'
'd ervort'l"
l=l+1
endwhile

l=1
while(l <= 17)
'set z 'l
'define efvort'l'=dia*tom*slat*divg'
'd efvort'l"
l=l+1
endwhile
```

```
***calcula e escreve o termo de torção***
```

```
l=1
while(l <= 17)
```

```

l1=l-1
l2=l+1
if (l = 1)
l1=1
endif
if (l=17)
l2=17
endif
'set z 'l1
'define p1=lev*100'
'define u1=uvel'
'define v1=vvel'
'set z 'l2
'define p2=lev*100'
'define u2=uvel'
'define v2=vvel'
'set z 'l
'define towort'l'=dia*(((u2-u1)/(p2-p1))*cdiff(omeg,y)/dy) -
((v2-v1)/(p2-p1))*cdiff(omeg,x)/(clat*dx))/aa'

'd towort'l'
l=l+1
endwhile

****calcula e escreve o resíduo****

l=1
while(l <= 17)
'define resi'l'=twort'l'-ahvort'l'-betav'l'-avvort'l'+ervort'l'+efvort'l'+towort'l'
'd resi'l'
l=l+1
endwhile

t=t+1
endwhile

'disable fwrite'
'quit'

```

A.2 SCRIPT QUE CALCULA O BALANÇO DE CALOR

```
'reinit'

dirscr='/home/renata/scripts/'
rec=read(dirscr"arq)
lin=sublin(rec,2)
say 'lin='lin
data=subwrd(lin,1)
ext=subwrd(lin,2)
say 'data='data
say 'ext='ext

if (ext='fct')
'open /public/renata/dados/previsao.ctl'
else
'open /public/renata/dados/analise.ctl'
endif

'set mpdset brmap_mres'

'set fwrite /home/renata/binctl/temp'ext'_ 'data'.bin'
'set gxout fwrite'

'set lon -200.625 0'
'set lat -69.375 39.375'

deltat= 6*3600
'define dia=24*3600'
'define aa=6.37e6'
'define pi=2*asin(1)'
'define rd=pi/180'
'define g=9.80655'
'define clat=cos(lat*rd)'
'define slat=sin(lat*rd)'
'define dx=cdiff(lon,x)*rd'
'define dy=cdiff(lat,y)*rd'

t=1
while(t <= 28)

'set t 't

say 'calculando para t='t
```

```

t1=t-1
t2=t+1
delt=2*deltat

```

```

if (t = 1)
t1=1
delt=deltat
endif
if (t = 28)
t2=28
delt=deltat
endif

```

****calcula e escreve o termo de tendência de temperatura****

```

l=1
while(l <= 17)
'set z 'l
'define ttemp'l'=dia*(temp(t='t2')-temp(t='t1'))/'delt"
'd ttemp'l"
l=l+1
endwhile

```

****calcula e escreve o termo de advecção horizontal de temperatura****

```

l=1
While(l <= 17)
'set z 'l
'define ahtemp'l'=-dia*((uvel*cdiff(temp,x))/(clat*dx) + (vvel*cdiff(temp,y))/dy)/aa'
'd ahtemp'l"
l=l+1
endwhile

```

****calcula e escreve o termo de advecção vertical de temperatura****

```

l=1
while(l <= 17)
l1=l-1
l2=l+1
if (l = 1)
l1=1
endif
if (l = 17)
l2=17
endif
'set z 'l1

```



```

'define p1=lev*100'
'set z 'l2
'define p2=lev*100'
'set z 'l
'define avtemp'l'=-dia*(omeg)*((temp(z='l2')-temp(z='l1'))/(p2-p1))'
'd avtemp'l"
l=l+1
endwhile

```

****calcula e escreve o termo de advecção de espessura****

```

l=1
while(l <= 17)
l1=l-1
l2=l+1
if (l = 1)
l1=1
endif
if (l = 17)
l2=17
endif
'set z 'l1
'define p1=lev*100'
'set z 'l2
'define p2=lev*100'
'set z 'l
'define aesp'l'=-dia*g*(omeg/1004)*((zgeo(z='l2')-zgeo(z='l1'))/(p2-p1))'
'd aesp'l"
l=l+1
endwhile

```

****calcula e escreve o resíduo****

```

l=1
while(l <= 17)
'define resi'l'=ttemp'l'-ahtemp'l'-avtemp'l'-aesp'l"
'd resi'l"
l=l+1
endwhile

```

t=t+1

```

endwhile
'disable fwrite'
'quit'

```

A.3 SCRIPT QUE CALCULA O BALANÇO DE UMIDADE

```
'reinit'  
  
dirscr='/home/renata/scripts/'  
rec=read(dirscr"arq")  
lin=sublin(rec,2)  
data=subwrd(lin,1)  
ext=subwrd(lin,2)  
say 'data='data  
say 'ext='ext  
  
if (ext='fct')  
'open /public/renata/dados/previsao.ctl'  
else  
'open /public/renata/dados/analise.ctl'  
endif  
  
'set mpdset brmap_mres'  
  
'set fwrite /home/renata/binctl/umes'ext'_ 'data'.bin'  
'set gxout fwrite'  
  
'set lon -200.625 0'  
'set lat -69.375 39.375'  
  
deltat=6*3600  
'define dia=24*3600'  
'define aa=6.37e6'  
'define pi=2*asin(1)'  
'define rd=pi/180'  
'define clat=cos(lat*rd)'  
'define slat=sin(lat*rd)'  
'define dx=cdiff(lon,x)*rd'  
'define dy=cdiff(lat,y)*rd'  
  
t=1  
while(t <= 28)  
'set t 't  
  
say 'calculando para t='t  
  
t1=t-1  
t2=t+1  
delt=2*deltat
```

```

if (t = 1)
t1=1
delt=deltat
endif
if (t = 28)
t2=28
delt=deltat
endif

```

****calcula e escreve o termo de tendência de umidade****

```

l=1
while(l <= 17)
'set z 'l
'define tumes'l'=dia*(umes(t='t2')-umes(t='t1'))/'delt"
'd tumes'l"
l=l+1
endwhile

```

****calcula e escreve o termo de advecção horizontal de umidade****

```

l=1
While(l <= 17)
'set z 'l
'define ahumes'l'=-dia*((uvel*cdiff(umes,x))/(clat*dx) + (vvel*cdiff(umes,y))/dy)/aa'
'd ahumes'l"
l=l+1
endwhile

```

****calcula e escreve o termo de advecção vertical de umidade****

```

l=1
while(l <= 17)
l1=l-1
l2=l+1
if (l = 1)
l1=1
endif
if (l = 17)
l2=17
endif
'set z 'l1
'define p1=lev*100'
'set z 'l2

```

```

'define p2=lev*100'
'set z 'l
'define avumes'l'=-dia*omeg*((umes(z='l2')-umes(z='l1'))/(p2-p1))'
'd avumes'l"
l=l+1
endwhile

****calcula e escreve o resíduo****

l=1
while(l <= 17)
'define resi'l'=tumes'l'-ahumes'l'-avumes'l"
'd resi'l"
l=l+1
endwhile

t=t+1

endwhile
'disable fwrite'
'quit'

```