



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Meteorologia

AVALIAÇÃO DO MODELO ETA DURANTE EPISÓDIOS DE ZCAS

FERNANDA ARAUJO CERQUEIRA

Orientadoras: Prof^a. D^{ra}. Claudine Pereira Dereczynski

D^{ra}. Chou Sin Chan (CPTEC/INPE)

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da UFRJ
como requisito necessário à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Rio de Janeiro, RJ

Fevereiro, 2006

AVALIAÇÃO DO MODELO ETA DURANTE EPISÓDIOS DE ZCAS

FERNANDA ARAUJO CERQUEIRA

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da
Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à
obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia

Aprovada por:

Prof^a. D^{ra}. Claudine Pereira Dereczynski
Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ

D^{ra}. Chou Sin Chan
DMD – CPTEC – INPE

Prof^o. D^f. Wallace Figueiredo Menezes
Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ

Prof^o. D^f. Edílson Marton
Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ

Rio de Janeiro, RJ

Fevereiro, 2006

Ficha Catalográfica:

Cerqueira, Fernanda Araujo

**“AVALIAÇÃO DO MODELO ETA DURANTE EPISÓDIOS DE
ZCAS”**

Rio de Janeiro, 2006

XV, pp 99. Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dissertação para obtenção do título de Bacharel em Meteorologia

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia primeiramente à Deus, pois Ele é simplesmente o meu Tudo. Dedico também aos meus pais e à minha irmã, pois, se hoje eu venci esta batalha, eles também venceram. Ao Eduardo, pois ele é a prova de que todos os meus conceitos sobre o amor estavam errados e que eu realmente posso ser feliz na vida pessoal e profissional ao mesmo tempo! À minha Mãezinha, um anjo que Deus pôs ao meu lado. Que me viu criança, chorando nas escadarias do CEFET e hoje, me vê adulta, concluindo o que ela sempre desejou pra mim. Dedico ao meu pai e à tia Glória, pois eles foram os meus maiores exemplos de perseverança! Dedico também ao Ernani (SIMEPAR), ao Ricardo (Calígula), aos meninos do PROJETA e ao Alessandro, pela grandiosa ajuda neste projeto. Ao Lucio, Guilherme e a Lu, pela companhia, idéias e risadas no laboratório. Ao professor Alfredo, por ter cedido a Tornado. Aos professores Isimar, Edílson e Wallace por terem me ensinado tanto! À Chou e Claudine, por terem sido mais que orientadoras e por terem me dado a chance de dedicar-me totalmente à Meteorologia, ... E em especial à Ela, pois sei que mesmo em outro plano, Ela está feliz por eu estar realizando esse sonho!

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela bolsa de iniciação científica que possibilitou meu maior aprendizado.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xiv
RESUMO	xvi
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO DA BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 - Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)	3
2.2 - Índices de instabilidade	7
3 - DADOS E METODOLOGIA	13
3.1- Dados Utilizados	13
3.2- Metodologia	14
3.2.1- Temperatura Potencial Equivalente (θ_e)	17
3.2.2- Divergência do Fluxo de Massa (conv) e Umidade (convw)	18
3.2.3- Índice de instabilidade por levantamento (ILEV)	18
3.2.4- Índice Total totals (ITT)	19

3.2.5-	Índice K	19
3.2.6-	Combinado de Convergência e K (CK)	20
3.2.7-	Combinado de Convergência e ILEV (CILEV)	20
3.2.8	Índice Combinado de Convergência e ITT (CITT)	21
3.2.9-	Análise dos índices	21
4 -	RESULTADOS	23
	Identificação de eventos de ZCAS e avaliação do Modelo Regional Eta em	
4.1-	escala sinótica	23
4.1.1-	Análise de imagens de satélite e avaliação dos campos de precipitação prevista pelo modelo regional Eta	23
4.1.2-	Avaliação dos campos de Ventos e Umidade Específica em 850 hPa, Temperatura Potencial Equivalente em 850 hPa e Ventos em 200 hPa previstos pelo Modelo Regional Eta	32
4.2-	Avaliação dos índices de instabilidade previstos pelo modelo Eta	41
4.2.1-	Avaliação qualitativa dos índices de instabilidade previstos pelo modelo Eta	42
4.2.2-	Análise objetiva dos índices de instabilidade previstos pelo modelo Eta	59
5 -	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS	66

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
ANEXO I: O Modelo Regional Eta	72
ANEXO II: Tabelas de contingência	77
ANEXO III: Programa para calcular a temperatura da parcela em 500 hPa a partir da superfície	95

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 3.1: Mapa com a área de estudo. 14
- Figura 4.1: (a) Imagem do satélite GOES, canal IR, dia 11/12/2002, 22:09 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 10 às 12Z e 12/12/2002, 12Z: (b) observada somente para o Brasil e (c) prevista pelo modelo Eta. 24
- Figura 4.2: (a) Imagem do satélite GOES, canal IR, dia 31/12/2002, 21:09 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 30/12/2002 às 12Z e 01/01/2003, 12Z: (b) observada somente para o Brasil; (c) prevista pelo modelo Eta. 25
- Figura 4.3: (a) Imagem do satélite GOES, canal IR, dia 13/01/2003, 20:09 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 12/01/2003 às 12Z e 14/01/2003, 12Z: (b) observada somente para o Brasil; (c) prevista pelo modelo Eta. 26
- Figura 4.4: (a) Imagem do satélite GOES, canal IR, dia 25/01/2003, 04:09 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 23/01/2003 às 12Z e 25/01/2003, 12Z: (b) observada somente para o Brasil; (c) prevista pelo modelo Eta. 27
- Figura 4.5: (a) Imagem do satélite METEOSAT, canal IR, dia 07/02/2004, 20:00 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 06/02/2004 às 12Z e 08/02/2004, 12Z: (b) observada somente para o Brasil; (c) prevista pelo modelo Eta. 28
- Figura 4.6: (a) Imagem do satélite METEOSAT, canal IR, dia 13/12/2004, 20:00 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 12/12/2004 às 12Z e 14/12/2004, 12Z: (b) observada somente para o Brasil; (c) prevista pelo modelo Eta. 29

- Figura 4.7: (a) Imagem do satélite METEOSAT, canal IR, dia 22/12/2004, 05:00 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 20/12/2004 às 12Z e 24/12/2004, 12Z: (b) observada somente para o Brasil; (c) prevista pelo modelo Eta. 30
- Figura 4.8: (a) Imagem do satélite METEOSAT, canal IR, dia 18/01/2005, 05:00 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 16/01/2005 às 12Z e 20/01/2005, 12Z: (b) observada somente para o Brasil; (c) prevista pelo modelo Eta. (c) prevista pelo modelo Eta. 31
- Figura 4.9: Linhas de corrente e umidade específica (g.kg^{-1}) ao nível de 850 hPa média da Reanálise do NCEP (figura da esquerda) e prevista pelo modelo Eta (figura da direita) para (a) Caso 1: 10/12/2002 - 00Z a 13/12/2002 - 00Z; (b) Caso 2: 30/12/2002 - 00Z a 02/01/2003 - 00Z; (c) Caso 3: 12/01/2003 - 00Z a 15/01/2003 - 00Z; (d) Caso 4: 23/01/2003 - 00Z a 26/01/2003 - 00Z; (e) Caso 5: 07/02/2004 - 00Z a 10/02/2004 - 00Z; (f) Caso 6: 12/12/2004 -00Z a 15/12/2004 -00Z; (g) Caso 7: 21/12/2004 - 00Z a 24/12/2004 - 00Z e h) Caso 8: 17/01/2005 -00Z a 20/01/2005 - 00Z. 32
- Figura 4.10: Temperatura Potencial equivalente média em 850hPa observada da Reanálise do NCEP (figura da esquerda) e prevista pelo modelo Eta (figura da direita) para (a) Caso 1: 10/12/2002 - 00Z a 13/12/2002 - 00Z; (b) Caso 2: 30/12/2002 - 00Z a 02/01/2003 - 00Z; (c) Caso 3: 12/01/2003 - 00Z a 15/01/2003 - 00Z; (d) Caso 4: 23/01/2003 - 00Z a 26/01/2003 - 00Z; (e) Caso 5: 07/02/2004 - 00Z a 10/02/2004 - 00Z; (f) Caso 6: 12/12/2004 -00Z a 15/12/2004 -00Z; (g) Caso 7: 21/12/2004 - 00Z a 24/12/2004 - 00Z e h) Caso 8: 17/01/2005 -00Z a 20/01/2005 -00Z. 35

- Figura 4.11: Linhas de corrente ao nível de 200 hPa média observada da Reanálise do NCEP (figura da esquerda) e prevista pelo modelo Eta (figura da direita) para (a) Caso 1: 10/12/2002 - 00Z a 13/12/2002 - 00Z; (b) Caso 2: 30/12/2002 - 00Z a 02/01/2003 - 00Z; (c) Caso 3: 12/01/2003 - 00Z a 15/01/2003 - 00Z; (d) Caso 4: 23/01/2003 - 00Z a 26/01/2003 - 00Z; (e) Caso 5: 07/02/2004 - 00Z a 10/02/2004 - 00Z; (f) Caso 6: 12/12/2004 - 00Z a 15/12/2004 - 00Z; (g) Caso 7: 21/12/2004 - 00Z a 24/12/2004 - 00Z e h) Caso 8: 17/01/2005 - 00Z a 20/01/2005 - 00Z. 38
- Figura 4.12: Caso 1 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 11/12/2002 às 12Z e 12/12/2002, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 11/12/2002 às 18Z: (c) Divergência de massa ($s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade ($g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}C$); (f) ITT ($^{\circ}C$); (g) K ($^{\circ}C$); (h) CILEV ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$). 42
- Figura 4.13: Caso 2 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 31/12/2002 às 12Z e 01/01/2003, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 31/12/2002 às 18Z: (c) Divergência de massa ($s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade ($g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}C$); (f) ITT ($^{\circ}C$); (g) K ($^{\circ}C$); (h) CILEV ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$). 45
- Figura 4.14: Caso 3 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 13/01/2003 às 12Z e 14/01/2003, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 13/01/2003 às 18Z: (c) Divergência de massa ($s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade 47

($\text{g.kg}^{-1}.\text{s}^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}\text{C}$); (f) ITT ($^{\circ}\text{C}$); (g) K ($^{\circ}\text{C}$); (h) CILEV ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$).

Figura 4.15: Caso 4 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 24/01/2003 às 12Z e 25/01/2003, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 24/01/2003 às 18Z: (c) Divergência de massa ($\text{s}^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade ($\text{g.kg}^{-1}.\text{s}^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}\text{C}$); (f) ITT ($^{\circ}\text{C}$); (g) K ($^{\circ}\text{C}$); (h) CILEV ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$).

Figura 4.16: Caso 5 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 07/02/2004 às 12Z e 08/02/2004, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 07/02/2004 às 18Z: (c) Divergência de massa ($\text{s}^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade ($\text{g.kg}^{-1}.\text{s}^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}\text{C}$); (f) ITT ($^{\circ}\text{C}$); (g) K ($^{\circ}\text{C}$); (h) CILEV ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$).

Figura 4.17: Caso 6 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 13/12/2004 às 12Z e 14/12/2004, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 13/12/2004 às 18Z: (c) Divergência de massa ($\text{s}^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade ($\text{g.kg}^{-1}.\text{s}^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}\text{C}$); (f) ITT ($^{\circ}\text{C}$); (g) K ($^{\circ}\text{C}$); (h) CILEV ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$).

Figura 4.18: Caso 7 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 21/12/2004 às 12Z e 22/12/2004, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 21/12/2004 às 18Z: (c) Divergência de massa ($\text{s}^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade

($\text{g.kg}^{-1}.\text{s}^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}\text{C}$); (f) ITT ($^{\circ}\text{C}$); (g) K ($^{\circ}\text{C}$); (h) CILEV ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$).

Figura 4.19: Caso 8 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 17/01/2005 às 12Z e 18/01/2005, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 17/01/2005 às 18Z: (c) Divergência de massa ($\text{s}^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade ($\text{g.kg}^{-1}.\text{s}^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}\text{C}$); (f) ITT ($^{\circ}\text{C}$); (g) K ($^{\circ}\text{C}$); (h) CILEV ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}\text{C}.\text{s}^{-1}$).

Figura 4.20: Taxas de acerto (T_{ac}) e de alarme falso (T_{af}), em porcentagem (%), para $\text{prec} > 0,5$ mm, $\text{prec} > 30$ mm, conv_frac , conv_forte , convw_frac , convw_forte , $\text{ilev} < -3$, $\text{ilev} < -6$, $\text{itt} > 42$, $\text{itt} > 48$, $\text{k} > 30$, $\text{K} > 36$, $\text{cilev} > 10$, $\text{cilev} > 16$, $\text{citt} < -42$, $\text{citt} < -75$, $\text{ck} < -30$ e $\text{ck} < -50$: a) caso 1; b) caso 2; c) caso 3; d) caso 4; e) caso 5; f) caso 6; g) caso 7 e h) caso 8.

Figura A1: Grade horizontal E de Arakawa. 72

Figura A2: Sistema de coordenada vertical do Eta e distribuição das variáveis do modelo na vertical. 74

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Datas das condições iniciais utilizadas para cada caso estudado.	14
Tabela 3.2: Períodos utilizados para computar os totais pluviométricos e para o cálculo das médias das variáveis vento em 850 e 200 hPa, umidade específica em 850 hPa e temperatura potencial equivalente em 850 hPa.	16
Tabela 3.3: Valores de ILEV e seus significados.	19
Tabela 3.4: Valores de CK e seus significados.	20
Tabela 3.5: Valores de CILEV e seus significados.	20
Tabela 3.6: Valores de CITT e seus significados.	21
Tabela 3.7: Tabela de contingência.	21
Tabela 3.8: Tabela de valores para comparação.	22
Tabelas de Contingência: ANEXO II	77

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB	Alta da Bolívia
ACA	Atividade Convectiva da Amazônia
AS	América do Sul
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
CA	Cordilheira dos Andes
CAPE	Energia Potencial Convectiva Disponível
CILEV	Índice Combinado de Convergência e ILEV
CITT	Índice Combinado de Convergência e ITT
CK	Índice Combinado de Convergência e índice K
CNE	Cavado do Nordeste
FGVP	Força devido ao gradiente vertical de pressão
FL	Flutuabilidade
HN	Hemisfério Norte
HS	Hemisfério Sul
IL	Índice Levantado
ILEV	Índice de Instabilidade por Levantamento
IS	Índice de Showalter
ITT	Índice Total Totals
JST	Jato Subtropical
K	Índice K
LAPS	Esquema de parametrização terra-ar (Land-Air Parametrization Scheme)
LAPSE RATE	Taxa de variação da temperatura do ambiente com a altura

NCAPE	CAPE normalizada
NCE	Nível de convecção espontânea
NCL	Nível de condensação por levantamento
NPE	Nível de perda de empuxo
OSU	Oregon State University
ROLE	Radiação de Onda Longa Emergente
SWEAT	Severe Weather Threat/Ameaça de Tempestades Severas
Tac	Taxa de acerto
Taf	Taxa de alarme falso
TKE	Energia Cinética Turbulenta
TSM	Temperatura à Superfície do Mar
VCN	Vórtice Ciclônico do Nordeste
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIS	Zona de Convergência do Índico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCPS	Zona de Convergência do Pacífico Sul
ZCS	Zona de Convergência Subtropicais
ZFB	Zona Frontal de Baiu

RESUMO

Neste trabalho é realizada uma avaliação do Modelo Regional Eta, com resolução espacial de 40x40 km, durante oito eventos de ZCAS ocorridos entre os anos de 2002 e 2005. O objetivo é identificar as limitações do modelo para prever eventos de chuvas intensas, considerando-se as escalas sinótica e regional. Índices de instabilidade são utilizados com a expectativa de auxiliar a previsão dos máximos de precipitação geralmente observados durante episódios de ZCAS. Os resultados mostraram que o modelo apresenta bom desempenho na previsão da localização da faixa de precipitação associada à ZCAS, contudo ele não é capaz de prever os máximos isolados de precipitação embebidos neste cinturão. O modelo também apresentou um bom desempenho na previsão dos sistemas tipicamente presentes nos eventos de ZCAS, tais como: vórtices ciclônicos nos baixos níveis, acompanhados por convergência de umidade e confluência dos ventos sobre o continente; máximo de umidade específica sobre o continente orientado na direção NW-SE; forte gradiente meridional de temperatura potencial equivalente ao sul da ZCAS e presença da Alta da Bolívia e do cavado do Nordeste nos altos níveis. A faixa de máxima umidade específica apresentou-se mais ampla (menor gradiente). A magnitude da faixa de umidade específica e a crista de Θ_e na região da ZCAS apresentaram-se superestimadas pelo modelo em todos os casos. Os índices de instabilidade utilizados neste trabalho (conv, convw, ilev, itt, k e ck, cilev e citt) mostraram-se ineficientes para prever episódios de chuvas intensas durante eventos de ZCAS. Uma possível explicação para tais resultados é o fato da ZCAS, apesar de ser uma região de intensa atividade convectiva, apresentar características homogêneas, onde os gradientes de temperatura e umidade já foram reduzidos desde o início de sua formação. Outra possibilidade seria a baixa resolução do modelo em detectar condições mais intensas de instabilidade, e portanto, alguns limiares adotados para os índices podem estar muito altos e/ou inadequados para a resolução do modelo utilizada ou para a região estudada.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é caracterizada por uma banda de atividade convectiva que se estende desde a Região Amazônica até o Oceano Atlântico numa direção noroeste-sudeste (NW-SE) (Kousky, 1988). Este sistema é típico dos meses de verão (de novembro a março), quando a convecção tropical mais acentuada contribui para a geração e manutenção do fenômeno (Kodama, 1992). A ZCAS pode permanecer estacionária por vários dias sobre uma mesma região, provocando intensificação das chuvas nas regiões frequentemente afetadas (Região Sudeste, Brasil central, norte do Paraná e o sul do Estado da Bahia). Além do caráter de estacionaridade da ZCAS, gerando chuvas contínuas, a formação de células convectivas embebidas neste cinturão promovem episódios de chuvas intensas e de curta duração. Para se ter uma idéia da gravidade dos eventos chuvosos provocados por episódios de ZCAS nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil, apenas no período de 10 de janeiro a 8 de março de 2004, as chuvas causaram deslizamentos de terra com 230.000 desabrigados e 161 mortes, totalizando prejuízos materiais de 117 milhões de dólares (<http://www.dartmouth.edu/~floods/Archives/2004sum.html>).

A previsão de ocorrência dessas tempestades localizadas tem sido objeto de intensas pesquisas meteorológicas, pois permite que um alerta seja emitido com suficiente antecedência à defesa civil e população em geral, para tomadas de providências que reduzam os possíveis prejuízos. Nestas pesquisas, tem-se tentado encontrar relações entre a ocorrência de tempestades e as circulações de grande escala ou de mesoescala nas quais as células convectivas estão imersas. Nesse sentido, foram e ainda estão sendo definidos uma série de índices de instabilidade, ou seja, parâmetros numéricos de cálculo objetivo, baseados na análise dos perfis verticais de temperatura, umidade e vento.

A determinação dos índices de instabilidades pode ser feita graficamente através de diagramas termodinâmicos, ou através do uso das equações apropriadas com auxílio de computador, que, além da maior precisão nos resultados, permite analisar grande quantidade de observações identificando, assim, regiões favoráveis ou desfavoráveis ao desenvolvimento de sistemas convectivos. Por esses índices estarem sendo concebidos, em sua maioria, para latitudes médias e para o Hemisfério Norte, ainda há muita

discussão e pesquisas em torno de seus parâmetros e limiares, a fim de adaptá-los ao ambiente atmosférico do Brasil.

O presente trabalho tem como objetivo, avaliar o desempenho do Modelo Regional Eta em situações de eventos de ZCAS, tanto em escala sinótica quanto em escala regional. Índices de instabilidade serão utilizados com a expectativa de que suas previsões possam auxiliar indiretamente na previsão da localização dos máximos de precipitação, geralmente encontrados na região da ZCAS.

No capítulo 2, é feita uma revisão da literatura sobre a ZCAS que é o fenômeno de grande escala, associado com os episódios de chuvas intensas estudados neste trabalho. Ainda neste capítulo, é feita uma revisão sobre a aplicação dos índices de instabilidades no Brasil, apresentando, exemplos de alguns trabalhos anteriormente publicados. A descrição das fontes de dados, bem como a metodologia aplicada neste estudo são tratados no capítulo 3. Os resultados encontram-se no capítulo 4 e finalmente no capítulo 5 são apresentadas as considerações finais, conclusões e recomendações.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica dividida em duas partes: na primeira, encontra-se a conceituação do fenômeno ZCAS e na segunda uma revisão sobre a aplicação dos índices de instabilidades no Brasil.

2.1 Zona de Convergência do Atlântico Sul

A ZCAS é um fenômeno típico de verão na América do Sul (AS), caracterizada principalmente pelo caráter estacionário da banda de nebulosidade por pelo menos quatro dias, podendo permanecer por até vinte dias consecutivos. Por consequência, verifica-se uma elevação no regime de chuvas das regiões afetadas.

Esse fenômeno pode se formar durante a primavera, verão e início do outono (Kousky, 1988), porém seu período de atuação ocorre principalmente nos meses do verão (Kodama, 1992).

Em relação ao posicionamento da ZCAS, Quadro (1994) mostra que esta estaciona-se predominantemente sobre a região Sudeste, Brasil Central, norte do Paraná e o sul do estado da Bahia. Ainda segundo o mesmo autor, dentro de uma mesma estação, a ZCAS pode apresentar variações no seu posicionamento, estacionando-se em regiões mais ao norte do continente durante o mês de dezembro e tendendo ao estacionamento mais ao sul até o fim do verão.

Satyamurti e Rao (1988) mencionam a existência de três regiões de intensa atividade convectiva no HS, sendo que cada uma está ligada, em sua extremidade noroeste, a uma zona de convergência. Uma nas proximidades da Indonésia (Zona de Convergência do Pacífico Sul - ZCPS), uma na América do Sul (ZCAS) e outra associada à Bacia do Congo (Zona de Convergência do Índico Sul - ZCIS).

Kodama (1992) confirma a existência de ZCAS e da ZCPS no HS e observa a Zona Frontal de Baiu (ZFB) no HN, as quais denomina Zona de Convergência Subtropicais (ZCS). Essas ZCSs têm características em comum: i) são sistemas semi-estacionários; ii) estão associadas à forte atividade convectiva no lado oeste e com uma alta subtropical de pressão no lado leste; iii) têm estrutura baroclínica e regiões convectivamente instáveis; iv) estão associadas com o jato subtropical (JST) dos altos

níveis da troposfera. No caso da ZCAS, a forte atividade convectiva é encontrada na Amazônia e a alta subtropical, é a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

Quadro (1994) descreve como características mais marcantes observadas nos campos analisados:

- i) Convergência de umidade em baixos e médios níveis na região de estabelecimento da ZCAS;
- ii) No escoamento em 500hPa, a presença de um cavado sobre a costa leste da América do Sul (AS) orientado na mesma direção que a ZCAS. Este cavado, por sua vez, encontra-se associado a uma faixa de movimento vertical ascendente também com orientação NW/SE e localizada na média troposfera;
- iii) Campo de temperatura potencial equivalente (Θ_e), em 500hPa, caracterizado pela presença de uma crista na região da ZCAS e um intenso gradiente de Θ_e ao sul da faixa de nebulosidade convectiva. Este gradiente define a separação entre a massa quente e úmida oriunda dos trópicos e a massa fria e seca procedente das latitudes média e altas e
- iv) Faixa de movimento anticiclônico em altos níveis caracterizando as regiões típicas para a manifestação do fenômeno.

A ZCAS ainda pode ter seu posicionamento, intensidade e até a sua própria manifestação ou não, influenciada pelos seguintes fenômenos:

- i) Atividade convectiva na Amazônia (ACA): segundo Kalnay et al. (1986) e Figueroa e Silva Dias (1990), esta se mostra mais eficaz para a produção da ZCAS, durante os meses de verão, do que as forçantes topográficas. Figueroa (1990), usando um modelo de equações primitivas, sugere que explosões convectivas sobre o Brasil Central e sul da Amazônia são responsáveis pela formação da ZCAS e Figueroa (1997),

mostrou ainda que, na ausência da convecção tropical sobre a AS, a ZCAS não se estabelece;

- ii) Cordilheira dos Andes (CA): os alísios são forçados a girar para o sul, contribuindo para a convergência de umidade na região da ZCAS. Satyamurti e Rao (1988), usando um modelo barotrópico de equações primitivas, observaram no escoamento em 500hPa a presença de um cavado semi-permanente e de grande escala, gerado pelos Andes, próximo à costa leste da América do Sul (AS) com direção NW-SE, servindo como recipiente dos sistemas de baixa pressão e vórtices de mesoescala por períodos longos, permitindo a manifestação da ZCAS;
- iii) A presença nos altos níveis, durante o verão austral, da Alta da Bolívia (AB) e de um cavado (CNE) ou vórtice ciclônico (VCN) sobre o Nordeste do Brasil e oceano adjacente. Figueroa (1997) sugere que um acoplamento entre a AB, a ZCAS e o VCN pode existir sem a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), todavia este pode influenciar na intensidade deste sistema;
- iv) Jato Subtropical (JST): a presença do JST em ar superior caracteriza a estrutura baroclínica da ZCAS (Kodama, 1993);
- v) Sistemas frontais: a penetração de sistemas frontais no continente sul-americano que interagem com a ACA gerando um só sistema alinhado desde o sul da Amazônia até o Oceano Atlântico Subtropical (Quadro, 1994). Estes sistemas são responsáveis também pela organização da convecção no Brasil Central e podem formar ou realimentar a ZCAS (Kousky 1988);

- vi) Alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS): influi no posicionamento da ZCAS, contribuindo para a convergência do ar tropical com o extratropical gerando uma região de forte instabilidade termodinâmica entre as duas massas (Satyamurti e Rao, 1988);
- vii) Zona de Convergência Intertropical (ZCIT): a ZCAS é ligeiramente deslocada para nordeste quando a convecção na ZCIT é enfraquecida (Figuerola, 1997);
- viii) Dipolo de anomalia de ROLE: é encontrado o padrão de dipolo no campo de anomalia de ROLE entre as regiões Sudeste (valores negativos) e sul (valores positivos) do Brasil, este padrão foi constatado por Casarin e Kousky (1986). O dipolo de anomalia ROLE constata que veranicos no extremo sul do Brasil estão correlacionados negativamente com a intensa atividade convectiva na região onde se localiza a ZCAS (Casarin e Kousky 1986);
- ix) Temperatura da superfície do mar (TSM): Nobre (1988) sugere a influência da TSM na Atlântico Tropical Sul no posicionamento e intensidade da ZCAS, baseado no alinhamento da mesma com a região de forte gradiente de TSM;
- x) Teleconexões entre a ZCPS e ZCAS: segundo Casarin e Kousky (1986), esta influência pode acontecer através de um trem de ondas de latitudes médias entre 25°W e 45°W, onde a energia associada às oscilações intrasazonais é transportada do Pacífico Sul até o Atlântico Sul. No momento em que a ZCAS atinge seu máximo de convecção, o campo de ROLE em uma superposição das bandas de 30-70 e 20-30 dias pode indicar um reforço na convecção da ZCAS e uma desintensificação da ZCPS, segundo Marton (2000);

- xi) Convecção na África: Figueroa (1997) verifica que para o caso de a convecção na África estar ausente ou fraca, os ventos de leste são intensificados na região norte da ASAS e intensificasse a convergência próxima à região sul da Bahia. Com isso, a ZCAS é intensificada na faixa subtropical (20°-30°S) e
- xii) El Niño: contribui negativamente para a manifestação da ZCAS (Quadro, 1994), inibindo a sua ocorrência ou afastando-a de sua região preferencial;

2.2 Índices de instabilidade

A previsão de ocorrência de tempestades localizadas tem sido objeto de intensas pesquisas meteorológicas. Nestas pesquisas, tem-se tentado encontrar relações entre a ocorrência de tempestades e as circulações de grande escala ou de mesoescala nas quais as células convectivas estão imersas. Nesse sentido, foram e ainda estão sendo definidos uma série de índices de instabilidade, ou seja, parâmetros numéricos de cálculo objetivo, baseados na análise dos perfis verticais de temperatura, umidade e vento. Por esses índices estarem sendo concebidos, em sua maioria, para latitudes médias e para o Hemisfério Norte, ainda há muita discussão e pesquisas em torno de seus parâmetros e valores limiares, a fim de adaptá-los ao ambiente atmosférico do Brasil.

A determinação destes índices de instabilidades pode ser feita graficamente através de diagramas termodinâmicos, ou através do uso das equações apropriadas, que, além da maior precisão nos resultados, permite analisar grande quantidade de observações identificando, assim, regiões favoráveis ou desfavoráveis ao desenvolvimento de sistemas convectivos. A título de previsão tem-se tentado encontrar relações entre a ocorrência de tempestades e as circulações de grande escala ou de mesoescala, nas quais as células convectivas estão imersas. Neste sentido, o cálculo de índices de instabilidades desempenha um papel singular.

Para apreciarmos o valor prático da informação meteorológica fornecida pelos parâmetros indicativos de tempo severo, é necessário primeiro inseri-los em um contexto dinâmico. Para isto, consideremos primeiramente a componente vertical da

equação de momento em um sistema Boussinesq, desprezando-se o termo de difusão turbulenta:

$$\frac{Dw}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial z} - g \frac{\rho'}{\rho} \quad (2.1)$$

onde:

w = componente vertical da velocidade

g = aceleração da gravidade

ρ = densidade do ar

p = pressão atmosférica

As barras indicam um estado básico em equilíbrio hidrostático e os apóstrofos o campo de perturbação. Os dois termos do lado direito da equação 2.1 indicam as principais forçantes que modulam as correntes verticais dentro de células convectivas: a força devido ao gradiente vertical de pressão (FGVP) e a flutuabilidade (FL), respectivamente.

Deste modo, os parâmetros de tempo severo em latitudes médias têm sido concebidos para ressaltar, em essência, ambientes em escala sinótica e em mesoescala com altos valores de instabilidade convectiva e de cisalhamento vertical do vento.

Segue abaixo uma revisão física de alguns parâmetros de tempo severo:

- i) Índice de Showalter (IS) - Um dos primeiros índices de instabilidades desenvolvidos foi o IS, uma função apenas da temperatura do ar em 850 e 500 hPa, da temperatura do ponto de orvalho em 850 hPa e da temperatura da parcela em 500 hPa. Várias propostas apareceram para modificar o IS de maneira a apresentar uma melhor descrição da umidade nas camadas baixas. Este índice é definido por:

$$IS = T_{500} - T_{p500} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.2)$$

onde:

T_{500} = temperatura do ar ambiente em 500 hPa

T_{p500} = temperatura de uma parcela de ar em 500 hPa (ambas em $^\circ\text{C}$) após ascender – via curva adiabática seca, e úmida após a saturação – a partir do nível de 850 hPa

De acordo com a equação 2.2, quanto mais próximo ou abaixo de zero for IS, maior a instabilidade atmosférica.

- ii) Índice Levantado (IL) ou Índice de Instabilidade por Levantamento (ILEV) – Galway (1956) propôs uma modificação do IS onde, originalmente, T_{500} é a temperatura do ar ambiente em 500 hPa e T_{P500} é a temperatura de uma parcela de ar em 500 hPa (ambas em °C) após ascender – via curva adiabática seca, e úmida após a saturação – a partir da superfície com a temperatura máxima prevista para o dia em questão e a razão de mistura média para os primeiros 900m da sondagem. Este índice é definido por:

$$ILEV = T_{500} - T_{p500} [^{\circ}C] \quad (2.3)$$

Usualmente os valores desse índice são mais negativos que os de Showalter.

- iii) Índice K – Este índice é definido por:

$$K = T_{850} - T_{500} + Td_{850} - DEP_{700} [^{\circ}C] \quad (2.4)$$

onde:

T = temperatura do ambiente

Td = temperatura do ponto de orvalho

DEP = depressão do bulbo úmido (temperatura do ar menos temperatura do bulbo úmido - em °C)

Os valores em subscrito são relacionados ao nível de pressão onde estas variáveis deverão ser obtidas. O índice K atinge valores máximos quando a taxa de variação vertical de temperatura é instável e com umidade em abundância até 700 hPa. Os valores diferem entre as literaturas. Segundo Henry (1987), valores acima de 30°C são considerados altos (alto potencial para ocorrência de tempestades), e acima de 40°C são extremamente altos (potencial extremo para instabilidades);

- iv) Índice Total Totals (ITT) - O ITT é definido como:

$$ITT = T_{850} + Td_{850} - 2.T_{500} [^{\circ}\text{C}] \quad (2.5)$$

onde:

T = temperatura do ar

Td = temperatura do ponto de orvalho

Os valores em subscripto são relacionados ao nível de pressão onde estas variáveis deverão ser obtidas. É usado para o cálculo do índice SWEAT. A grande limitação desse índice e do índice K é a dependência da umidade em 850 hPa (a umidade pode existir porém não atingir este nível). Quando a massa de ar é úmida e quente, esses índices dão interpretações semelhantes, mas quando o ar é mais frio e seco o ITT apresenta melhores resultados do que o K por dar um peso maior à presença do ar frio em 500 hPa. De uma forma geral, valores de ITT a partir de 40°C indicam situações favoráveis à ocorrência de tempestades, e acima de 50°C indicam chances de tempestades severas;

- v) Convective Available Potential Energy (CAPE) - A energia potencial da parcela se esta saísse nível de convecção espontânea (NCE) e alcançasse o topo da nuvem levando em conta apenas o empuxo é indicativa do quão instável está a atmosfera. Uma relação entre energia convectiva e a corrente ascendente máxima de uma nuvem de natureza convectiva pode ser obtida, permitindo fazer uso desta quantidade como parâmetro para a previsão de tempestades. O limite inferior da integração é o NCE, nível no qual a parcela condensaria caso sofresse convecção forçada, e o limite superior é o nível de perda de empuxo (NPE) onde a parcela, uma vez que atingido o NCE, continuaria em ascensão por um processo pseudo-adiabático até que no NPE a temperatura da parcela e do ambiente seria a mesma e a parcela não mais estaria instável.

$$CAPE = g \int_{NCE}^{NPE} \frac{\theta_v(z) - \overline{\theta_v}(z)}{\overline{\theta_v}(z)} dz \text{ [Jkg}^{-1}\text{]} \quad (2.7)$$

onde:

g = aceleração da gravidade

θ_v = temperatura potencial virtual desta parcela de ar

$\overline{\theta_v}$ = temperatura potencial virtual desta parcela de ar

$\overline{\theta_v}$ = temperatura potencial virtual do ambiente

Uma das alternativas à CAPE é a NCAPE que é a CAPE normalizada pela profundidade da camada entre o NCE e o NPE (Blanchard, 1998). Em geral, valores de CAPE acima de $1500 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ e de NCAPE entre 0,3 e 0,4 são considerados favoráveis à convecção.

Utilizando dados de sondagens do Aeroporto de Congonhas em São Paulo para dois períodos de eventos de chuvas intensas (12Z - 14/02/1979 à 12Z - 15/02/1979 e 00Z - 22/01/1980 à 00Z - 23/01/1980), Beneti e Silva Dias (1986) verificaram a ocorrência de instabilidades através de diversos índices (K, SWEAT, IS, IL e CAPE). Seus resultados mostraram que, em ambos casos, os índices K e SWEAT indicaram, segundo a metodologia utilizada, instabilidade atmosférica. O índice IS indicou, com exceção do dia 15/02/1979 12Z, instabilidade atmosférica para ambos os casos. Os índices ILEV e CAPE mostraram instabilidade somente para o segundo período.

Nascimento (2005), que utilizou dados de sondagens com objetivo de avaliar alguns índices de instabilidade em dois eventos de tempestades (00Z - 09/10/2003 em Foz do Iguaçu (PR) e 00Z - 11/10/2003 em Manaus (AM)), verificou que, em ambos os casos, a CAPE de superfície é alta, indicando forte instabilidade. O ILEV, para Foz do Iguaçu, indicou uma atmosfera muito instável. Em Manaus, os valores de ILEV também indicaram instabilidade, porém menos intensa que em Foz do Iguaçu. O K foi semelhante para os dois casos, indicando alto potencial para a ocorrência de tempestades.

Segundo Fogaccia e Pereira Filho (2000), que analisaram os eventos de chuva intensa dos dias 16/12/1997, 01 e 15/01/1998, 15/02/1998, 08/03/1998 e 04/02/1999, verificaram que na maioria dos eventos, o índice K indicou alto potencial para a ocorrência de tempestades, entretanto o índice de Showalter indicou ausência de tempestades severas ou tornados.

É de suma importância destacar o fato de que para que exista a formação de convecção profunda, produtora de chuvas intensas, em um determinado local é necessário à ocorrência simultânea de dois fatores determinantes neste local: 1) Condição termodinâmica favorável, normalmente denotada pela ocorrência de instabilidade termodinâmica na atmosfera; e 2) Efeito forçante ou “gatilho” para o disparo da convecção, que representa algum mecanismo que produza levantamento deste ar instável, de forma que a convecção seja iniciada.

Ou seja, é necessário que haja uma combinação entre a instabilidade atmosférica e a forçante para disparo da convecção em um determinado local, para que as células convectivas profundas se formem e produzam chuvas muito intensas de caráter local.

Desta maneira, combinar variáveis que denotem a instabilidade atmosférica com variáveis que representem um efeito forçante, e aprender o comportamento destas combinações, é uma opção bastante promissora em termos de se tentar prever locais de formação de sistemas convectivos.

Para a cidade de Cuiabá-MT, Lima (2005) verificou que, ao se analisar as variáveis “Índice K” e “convergência em baixos níveis” (que pode ser uma forçante bastante eficiente para o levantamento de ar e conseqüente disparo de convecção) de forma combinada, foi possível gerar resultados relevantes em termos de caracterizar as regiões de formação dos sistemas convectivos associados ao caso estudado (16/02/2004). Isto se deu de maneira que, nos locais onde ocorreu a coexistência de valores significativos de Índice K e convergência em baixos níveis, simultaneamente, foram locais muito próximos aos que as tempestades se formaram e provocaram as chuvas intensas observadas. É vale salientar também que nem todos os casos de convecção observada, o modelo RAMS foi capaz de simular em forma de chuva.

Desta forma, em situações e locais onde o modelo numérico não simular chuva (por possíveis dificuldades associadas as parametrizações de precipitação, por exemplo), mas o CK, previsto pelo modelo, apresentar valores favoráveis à formação de tempestades, o previsor terá uma informação a mais, de grande valor, para a sua tomada de decisão no momento da previsão e, desta forma, não ser surpreendido por chuvas “totalmente” não previstas.

CAPÍTULO 3

DADOS E METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os dados utilizados no trabalho e a metodologia utilizada para estudar os eventos de chuvas intensas, selecionados no período de 2002 a 2005 em associação com eventos de ZCAS.

3.1 Dados Utilizados

A seguir, são apresentadas os conjunto de dados utilizados, incluindo os dados convencionais e aqueles gerados por modelos de previsão numérica de tempo (PNT).

Dados Observacionais de Precipitação: Totais diários das estações de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), estações automáticas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Plataformas de Coleta de Dados – PCD) e estações de centros regionais, etc. Este conjunto de dados denominado “análise de precipitação do CPTEC” foi interpolado em uma grade de resolução $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ latitude-longitude e contém valores apenas para o território brasileiro.

Reanálise diária do NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996): Campos atmosféricos na resolução espacial de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ latitude-longitude e temporal de 6 em 6 horas. Foram utilizados dados de baixos (850 hPa), médios (500 hPa) e altos (200 hPa) níveis das seguintes variáveis: componentes zonal e meridional do vento, umidade específica e temperatura. Estes dados de reanálise resultam de uma combinação de dados observados e modelagem numérica e representam o estado da atmosfera mais próximo da observação.

Imagens dos satélites METEOSAT e GOES: Imagens de satélite no canal infravermelho, com frequência horária, foram utilizadas para determinar a posição da ZCAS e sistemas frontais em deslocamento pela região de estudo.

Dados do Modelo Regional Eta: Previsão com 48 h de antecedência (com relação à data do evento) do Modelo Regional Eta de resolução espacial de 40×40 km e com frequência de saída de 6 horas (ver anexo 1). O domínio do modelo abrange toda a América do Sul e Oceano Atlântico Sul. Ressalta-se que até 2003, as previsões do modelo Eta eram rodadas para até três dias e a partir de 2004, as previsões passaram a ser rodadas para até 7 dias. A tabela 1 apresenta as datas das rodadas do modelo Eta:

Tabela 3.1: Datas das condições iniciais utilizadas para cada caso estudado.

Caso	Data de ocorrência do evento	Data da condição inicial
1	12/12/2002 – 00 Z	10/12/2002 – 00 Z
2	01/01/2003 – 00 Z	30/12/2002 – 00 Z
3	14/01/2003 – 00 Z	12/01/2003 – 00 Z
4	25/01/2003 – 00 Z	23/01/2003 – 00 Z
5	08/02/2004 – 00 Z	06/02/2004 – 00 Z
6	14/12/2004 – 00 Z	12/12/2004 – 00 Z
7	22/12/2004 – 00 Z	20/12/2004 – 00 Z
8	18/01/2005 – 00 Z	16/01/2005 – 00 Z

3.2 Metodologia

Inicialmente foram selecionados para o presente estudo 8 casos de eventos de chuva intensa entre os anos de 2002 e 2005, ocorridos durante períodos de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Foi determinada uma área de estudo, onde será focalizada a avaliação do modelo em relação a algumas variáveis e índices de instabilidade. Esta área corresponde à 14°S-24°S de latitude e 40°W-50°W de longitude. A figura 3.1 mostra um mapa com a localização da área de estudo:

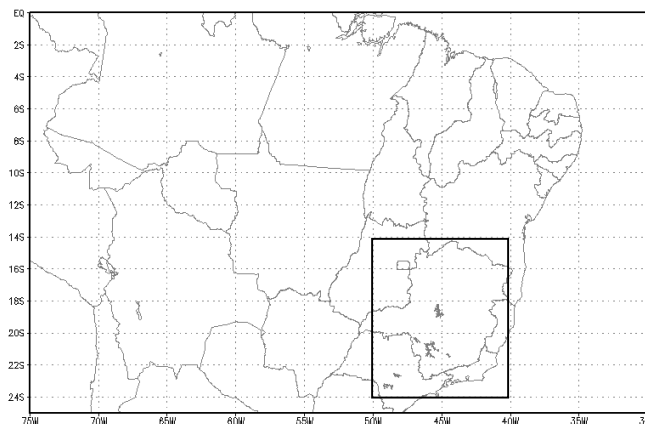


Figura 3.1: Mapa com a área de estudo.

Ressalta-se que, para a avaliação da precipitação, a área sobre o oceano não será considerada, uma vez que o conjunto de dados observacionais restringe-se às regiões continentais.

Para cada caso, foi feita inicialmente uma descrição do ambiente atmosférico de grande escala e uma avaliação qualitativa do modelo Eta nesta escala. Os dados utilizados nesta primeira etapa foram as imagens de satélite, a precipitação observada (Análise do CPTEC), as informações do Climanálise (CPTEC/INPE), a reanálise do NCEP-NCAR e as previsões do modelo Eta. Os campos atmosféricos avaliados na escala sinótica foram precipitação, componentes zonal e meridional do vento em 850 e 200 hPa, umidade específica em 850 hPa e temperatura potencial equivalente em 500 hPa. Com exceção da precipitação, em todos os campos, foi feita uma média dos horários de 00Z de 4 dias, uma vez que este é o número mínimo de dias de atuação do fenômeno, dentro do período da ZCAS. No caso da precipitação, foi utilizado os totais pluviométricos acumulados em 48 horas (incluindo o dia mais chuvoso). A tabela 3.2 apresenta a relação dos dias utilizados para computar os totais pluviométricos e para o cálculo das médias das demais variáveis:

Tabela 3.2: Períodos utilizados para computar os totais pluviométricos e para o cálculo das médias das variáveis vento em 850 e 200 hPa, umidade específica em 850 hPa e temperatura potencial equivalente em 850 hPa.

CASOS	MÉDIA	TOTAL PLUVIOMÉTRICO
1 (12/12/2002)	10/12/2002 - 00Z a 13/12/2002 - 00Z	11-12/12/2002
2 (01/01/2003)	30/12/2002 - 00Z a 02/01/2003 - 00Z	31/12/2002 – 01/01/2003
3 (14/01/2003)	12/01/2003 - 00Z a 15/01/2003 - 00Z	13-14/01/2003
4 (25/01/2003)	23/01/2003 - 00Z a 26/01/2003 - 00Z	24-25/01/2003
5 (08/02/2004)	07/02/2004 - 00Z a 10/02/2004 - 00Z	07-08/02/2004
6 (14/12/2004)	12/12/2004 -00Z a 15/12/2004 -00Z	13-14/12/2004
7 (22/12/2004)	21/12/2004 - 00Z a 24/12/2004 - 00Z	21-22/12/2004
8 (18/01/2005)	17/01/2005 -00Z a 20/01/2005 -00Z	17-18/01/2005

Após essa etapa foi feita uma avaliação do modelo Eta considerando-se alguns índices de instabilidade. Esses campos previstos pelo modelo foram avaliados qualitativamente através da distribuição espacial, e também quantitativamente através de análise estatística. Ressalta-se que estas avaliações foram feitas com base na ocorrência ou não de precipitação observada de forma a comparar condições favoráveis à precipitação com a sua ocorrência. Os campos avaliados, apenas sobre a região selecionada para estudo, foram precipitação acumulada somente em 24 horas, divergência de massa e de umidade em 900 hPa, índices de instabilidade (ILEV, ITT e K) e suas combinações com a convergência de massa em 900 hPa. Com exceção da precipitação, em todos os outros campos, foi analisado o horário das 18Z do dia anterior ao evento.

A seguir são apresentadas as definições das variáveis utilizadas no trabalho:

3.2.1 Temperatura Potencial Equivalente (θ_e)

A variável θ_e é definida a partir do seguinte processo: o ar de uma parcela é expandido pseudo-adiabaticamente até que todo o vapor d'água tenha condensado, liberando o seu calor latente, e toda a água líquida tenha precipitado. O ar então é comprimido adiabaticamente seco, até o seu nível padrão de pressão ($p_0=1000\text{hPa}$), alcançando o θ_e (Wallace e Hobbs, 1977). Essa temperatura se conserva para processos úmidos com ou sem precipitação, ou seja, é conservativa tanto para processos adiabáticos secos quanto para adiabáticos saturados. Essa temperatura representa essencialmente a soma da temperatura real do ar e o incremento de temperatura correspondente ao calor latente no vapor d'água (Saucier, 1969).

O campo desta variável revela o contraste de massas de ar, neste caso, a massa de ar tropical úmida e quente e a massa de ar seca e fria oriunda das altas latitudes. É uma variável bastante utilizada na identificação da ZCAS, pois a zona de convergência geralmente possui gradiente meridional de temperatura do ar menos intenso do que observado numa situação de sistema frontal, por exemplo. Entretanto, na presença da ZCAS é configurado um intenso gradiente de θ_e na baixa e média troposfera (Kodama 1992, Quadro 1994). O θ_e é uma variável de saída do modelo. Utilizou-se para o cálculo de θ_e a seguinte expressão (Bolton, 1980):

$$\theta_e = \theta \exp \left[\left(\frac{3376}{T_L} - 0,00254 \right) \cdot \left(r(1 + 0,81 \times 10^{-3} r) \right) \right] \quad (3.1)$$

$$T_L = \frac{1}{\frac{1}{T_d - 56} + \frac{\ln \left(\frac{T}{T_d} \right)}{800}} + 56 \quad (3.2)$$

$$r = \frac{q}{1 - q} \quad (3.3)$$

$$Td = \frac{243.5 \ln e - 448.8}{19.48 - \ln e} \quad (3.4)$$

$$e = (UR/100) * e_s \quad (3.5)$$

$$e_s = 6,112 \exp\left(\frac{17,67T}{T + 243,5}\right) \quad (3.6)$$

onde:

θ = temperatura potencial (K)

T_L = Temperatura do NCL (K)

r = razão de mistura (kg/kg)

T = temperatura do ar no nível onde deseja-se obter o θ_e (K)

T_d = Temperatura do ponto de orvalho (K)

q = umidade específica (kg/kg)

e = pressão de vapor

e_s = pressão de vapor de saturação

UR = umidade relativa

3.2.2 Divergência do Fluxo de Massa (conv) e Umidade (convw)

Utilizou-se as divergências do fluxo de massa e de umidade em 900 hPa dadas, respectivamente, por:

$$conv = \vec{\nabla} \cdot \vec{V} = \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right] \quad (3.4)$$

$$convw = \vec{\nabla} \cdot q\vec{V} = \left[\frac{\partial(qu)}{\partial x} + \frac{\partial(qv)}{\partial y} \right] \quad (3.5)$$

onde:

q = umidade específica

Em ambos, valores negativos estão associados à convergência e positivos à divergência do fluxo (massa ou umidade). Aos resultados foi multiplicado o valor de 10^5 para melhor visualização.

3.2.3 Índice de instabilidade por levantamento (ILEV)

Neste índice, definido no ítem 2.2, equação 2.3, devido a limitações dos dados utilizados, a temperatura máxima considerada foi a temperatura das 18Z e a razão de mistura média foi calculada entre os níveis de 1000 e 925 hPa. Segundo Galway (1956) valores negativos de ILEV indicam condições instáveis (i.e, a parcela de ar ascendente é

flutuante em níveis médios); ILEV abaixo de -5°C indica situação muito instável, e extremamente instável se abaixo de -10°C . Devido a estes valores terem sido projetado para regiões e para condições atmosféricas diferentes da apresentada aqui, no presente trabalho, consideraremos os valores citados na tabela abaixo (adaptado de AFWA, 1998):

Tabela 3.3: Valores de ILEV e seus significados.

Valores	$<0^{\circ}\text{C}$	$<-3^{\circ}\text{C}$	$<-7^{\circ}\text{C}$
Significado	condições instáveis	condições muito instáveis	condições extremamente instáveis

3.2.4 Índice Total totals (ITT)

O ITT, definido no item 2.2, equação 2.5, combina três informações básicas: a taxa de variação da temperatura do ambiente com a altura (Lapse Rate) de níveis médios, umidade ambiental em 850 hPa, e a temperatura ambiental em 500hPa. Segundo Miller (1972), valores de ITT a partir de 40°C indicam situações favoráveis a tempestades, e acima de 50°C indicam chances de tempestades severas. Na análise estatística, valores acima de 48°C foram considerados com chances de tempestades severas (adaptado de AFWA, 1998).

3.2.5 Índice K

O índice K, definido no item 2.2, equação 2.4, leva em conta a Lapse Rate de níveis médios (primeiros dois termos do lado direito da equação 2.4), a umidade em 850 hPa e o nível de secura da atmosfera em 700 hPa (último termo do lado direito da equação 2.4). Segundo George (1960), valores de K acima de 30°C são considerados altos (alto potencial para a ocorrência de tempestades), e acima de 40°C são extremamente altos (potencial extremo para tempestades). Na análise estatística, em virtude dos valores originais serem para regiões e fenômenos diferentes, valores acima de 36°C foram considerados extremamente altos (adaptado de AFWA, 1998).

3.2.6 Índice Combinado de Convergência e K (CK)

O índice CK foi definido por Lima (2005) como:

$$CK = conv * K \quad (3.8)$$

Onde *conv* representa a convergência de massa em baixos níveis utilizado neste trabalho como 900 hPa e K representa o índice K citado acima. Não há ainda uma estatística formulada em relação a valores de CK. Sendo assim, os valores citados na tabela abaixo foram sugeridos neste trabalho uma vez que eles foram testados a partir dos resultados apresentados nos campos de K, Convergência de Massa e do próprio índice CK:

Tabela 3.4: Valores de CK e seus significados.

Valores	$<-30^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$	$<-50^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$
Significado	Valores altos	Valores extremamente altos

O índice CK foi multiplicado por 10^5 , para melhor visualização.

3.2.7 Índice Combinado de Convergência e ILEV (CILEV)

Este índice foi definido neste trabalho para ser utilizado como:

$$CILEV = conv * ILEV \quad (3.9)$$

Onde *conv* representa a convergência em baixos níveis (900 hPa) e ILEV representa o índice de instabilidade por levantamento citado acima. Não há ainda uma estatística formada em relação a valores de CILEV. Sendo assim, os valores citados na tabela abaixo foram sugeridos neste trabalho uma vez que eles foram testados a partir dos resultados apresentados nos campos de ILEV, Convergência de Massa e do próprio índice CILEV:

Tabela 3.5: Valores de CILEV e seus significados.

Valores	$>10^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$	$>16^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$
Significado	condições instáveis	condições muito instáveis

O índice CILEV foi multiplicado por 10^5 , para melhor visualização.

3.2.8 Índice Combinado de Convergência e ITT (CITT)

Este índice foi definido neste trabalho para ser utilizado como:

$$CITT = conv * ITT \quad (3.10)$$

Onde *conv* representa a convergência em baixos níveis (900 hPa) e ITT representa o índice total citados acima. Não há ainda uma estatística formada em relação a valores de CITT. Sendo assim, os valores citados na tabela abaixo foram sugeridos neste trabalho uma vez que eles foram testados a partir dos resultados apresentados nos campos de ITT, Convergência de Massa e do próprio índice CITT:

Tabela 3.6: Valores de CITT e seus significados.

Valores	$<-42^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$	$<-75^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$
Significado	condições instáveis	condições muito instáveis

O índice CITT foi multiplicado por 10^5 , para melhor visualização.

3.2.9 Análise dos índices

A análise estatística foi elaborada com base em tabelas de contingência que fornecem uma medida do desempenho de um sistema de previsão através da relação entre as taxas de acerto e de alarme falso de um determinado evento (Swets, 1973):

Tabela 3.7: Tabela de contingência.

Observação do evento	Previsão do evento	
	Previsto	Não previsto
Ocorrido	Sucesso(SC)	Fracasso(FR)
Não ocorrido	Alarme Falso(AF)	Rejeição Correta (RC)

Definindo-se a Taxa de acerto (*Tac*) e a Taxa de alarme falso (*Taf*), como:

$$Tac = \frac{SC}{SC + FR} \quad (3.11)$$

$$Taf = \frac{AF}{AF + RC} \quad (3.12)$$

Ou seja, a taxa de acerto indica a proporção de eventos ocorridos, para os quais um alerta foi emitido corretamente, enquanto a taxa de alarme falso representa a proporção de eventos que não ocorreram e que um alerta foi emitido incorretamente.

Neste trabalho foram feitas avaliações dos índices citados acima previstos pelo modelo com relação a precipitação observada (Análise do CPTEC). A comparação foi feita levando-se em conta os valores observados em cada ponto de grade (resolução de 0,25° x 0,25°), e os valores previstos pelo modelo interpolados linearmente para os mesmos pontos de grade da observação. A área analisada foi apresentada na figura 3.1. Para cada um dos eventos, a tabela de contingência foi construída de acordo com os critérios definidos na tabela 3.7:

Tabela 3.8: Tabela de valores para comparação.

Variável	Precipitação Ocorrida	Variável Prevista
Precipitação Intensa	> 30 mm/dia	> 30 mm
Conv	> 30 mm/dia	< -1 s ⁻¹
Convw	> 30 mm/dia	< -20 s ⁻¹
ILEV	> 30 mm/dia	< -9 °C
ITT	> 30 mm/dia	> 48 °C
K	> 30 mm/dia	> 36 °C
CILEV	> 30 mm/dia	> 16 °C.s ⁻¹
CITT	> 30 mm/dia	< -75° C.s ⁻¹
CK	> 30 mm/dia	< -50° C.s ⁻¹

A partir das tabelas de contingência foram elaborados gráficos para cada caso com as taxas de acerto e alarme falso de cada variável citada na tabela acima de forma a resumir os resultados estatísticos de cada caso.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

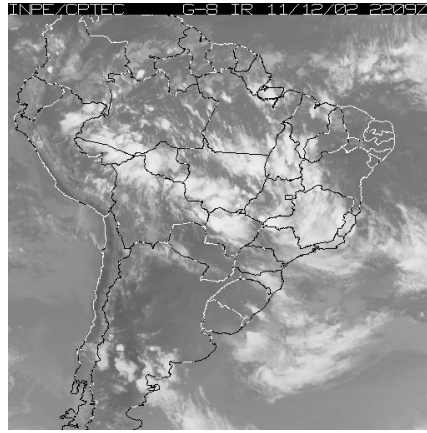
Neste capítulo são apresentados os resultados do trabalho, compreendendo avaliações do modelo Regional Eta durante os oito eventos de ZCAS estudados. As avaliações são elaboradas inicialmente em escala sinótica e a seguir a partir da utilização de índices de instabilidade.

4.1 Identificação de eventos de ZCAS e avaliação do Modelo Regional Eta em escala sinótica

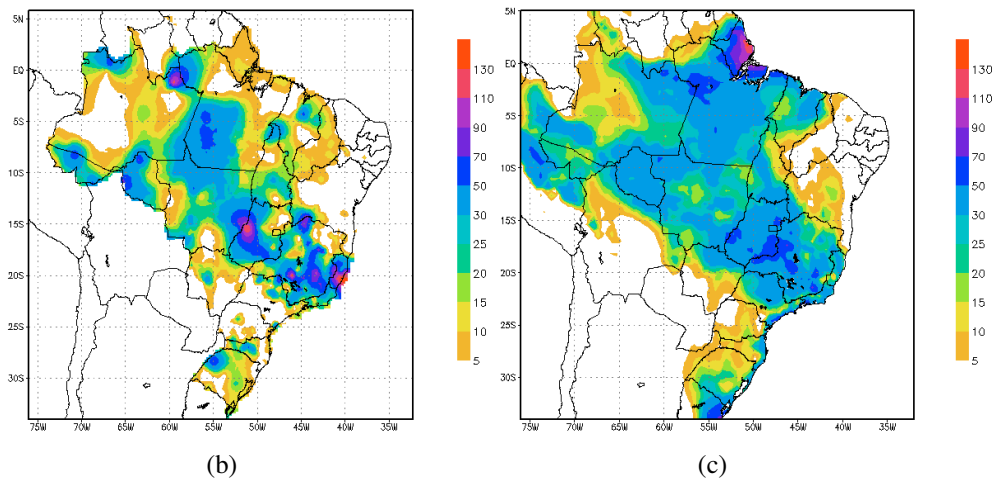
Nesta seção é feita a descrição sinótica do comportamento da ZCAS e a avaliação das previsões do modelo regional Eta para cada um dos oito eventos de chuvas intensas estudados. Ressalta-se que para caracterizar a ZCAS é necessário analisar imagens de satélites por vários dias, portanto, as imagens apresentadas neste trabalho foram escolhidas pelo fato delas serem a mais representativa de todas as imagens analisadas para o período de ZCAS de cada caso.

4.1.1 Análise de imagens de satélite e avaliação dos campos de precipitação prevista pelo modelo regional Eta

O caso 1 (12/12/2002) ocorreu durante um período de ZCAS estabelecida entre os dias 10 e 16 de dezembro de 2002. A região preferencial de atuação da banda de nebulosidade associada à ZCAS neste período foram as Regiões Norte, grande parte do Centro-Oeste e o Sudeste, incluindo a faixa oceânica na altura do litoral dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo (figura 4.1 a) . Nesta situação foi intensa a convecção nas regiões Centro Oeste e Sudeste (figura 4.1 b). O modelo conseguiu prever uma faixa de precipitação na região da ZCAS, com maiores intensidades sobre as regiões Centro Oeste e Sudeste, porém, o modelo não previu a localização e a intensidade dos máximos de precipitação, localizados no sul do Estado do Espírito Santo e também em parte de Goiás e Minas Gerais. O modelo previu um máximo de precipitação no Estado do Amapá que não foi observado (figura 4.1 c).



(a)

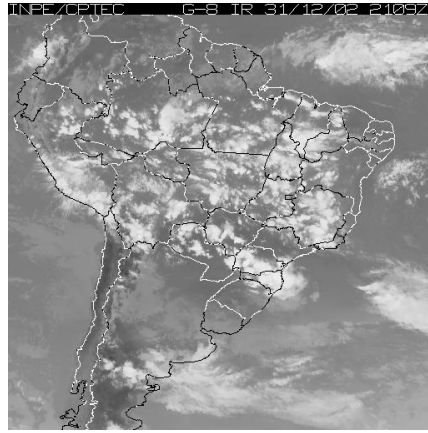


(b)

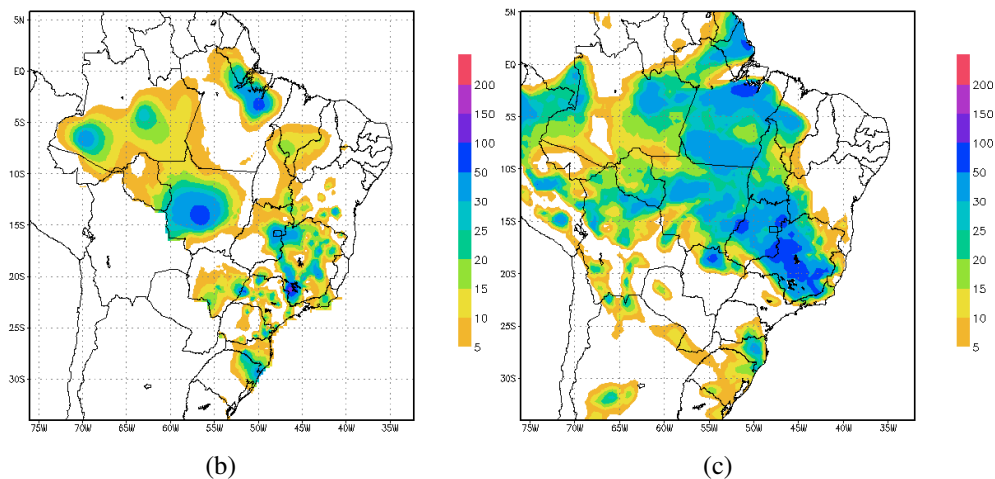
(c)

Figura 4.1: (a) Imagem do satélite GOES, canal IR, dia 11/12/2002, 22:09 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 10 às 12Z e 12/12/2002, 12Z: (b) observada somente para o Brasil e (c) prevista pelo modelo Eta.

O caso 2 (01/01/2003) ocorreu durante o período do fenômeno, a qual estava configurado entre os dias 27 de dezembro de 2002 e 07 de janeiro de 2003, atuando, aproximadamente nas mesmas regiões do caso anterior (caso 1) (figura 4.2 a e b). A formação da banda de nebulosidade, no início deste episódio, foi verificada a partir de incursões de cavados em baixos níveis, após a penetração de um sistema frontal. O modelo conseguiu prever uma faixa de precipitação na região da ZCAS, com maiores intensidades sobre as regiões Norte, Centro Oeste e Sudeste, porém, assim como no caso 1, o modelo não previu a localização e a intensidade dos máximos de precipitação, observados no sul do Estado de Minas Gerais e em parte do Mato Grosso. O modelo previu precipitação nos Estados de Goiás, Sudeste do Mato Grosso, Tocantins e Pará a qual não foi observado (figura 4.2 c).



(a)

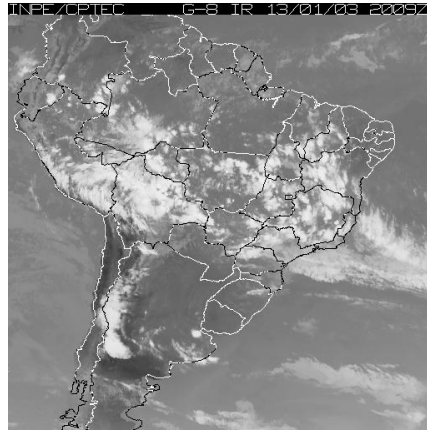


(b)

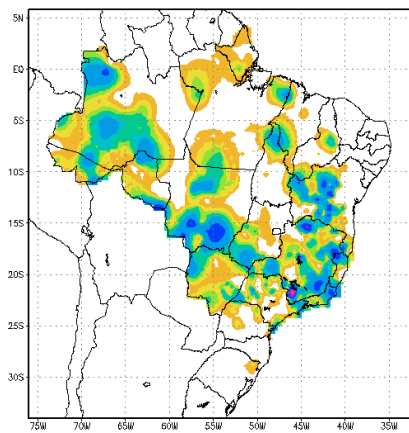
(c)

Figura 4.2: (a) Imagem do satélite GOES, canal IR, dia 31/12/2002, 21:09 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 30/12/2002 às 12Z e 01/01/2003, 12Z: (b) observada somente para o Brasil; (c) prevista pelo modelo Eta.

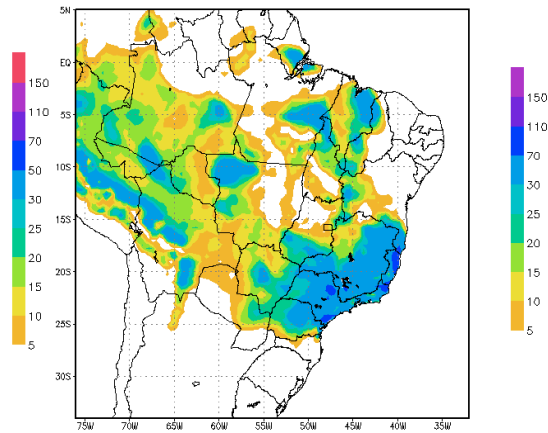
O caso 3 (14/01/2003) decorreu entre os dias 13 e 19 de janeiro de 2003, favorecendo o aumento da atividade convectiva principalmente sobre grande parte das Regiões Centro-Oeste e Sudeste, estendendo-se para o oceano na altura do litoral do Rio de Janeiro e Espírito Santo (figura 4.3 a e b). O modelo conseguiu prever uma faixa de precipitação na região da ZCAS, com maiores intensidades sobre as Regiões Centro Oeste e Sudeste, porém, mais uma vez, o modelo não previu a localização e a intensidade dos máximos de precipitação, que se concentraram sobre grande parte dos Estados de Minas Gerais, Mato Grosso e Bahia e também no norte dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. O modelo previu precipitação nos Estados do Paraná e Mato Grosso do Sul a qual não foi observado (figura 4.3 c).



(a)



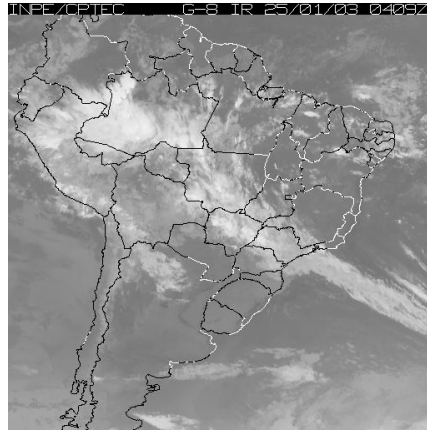
(b)



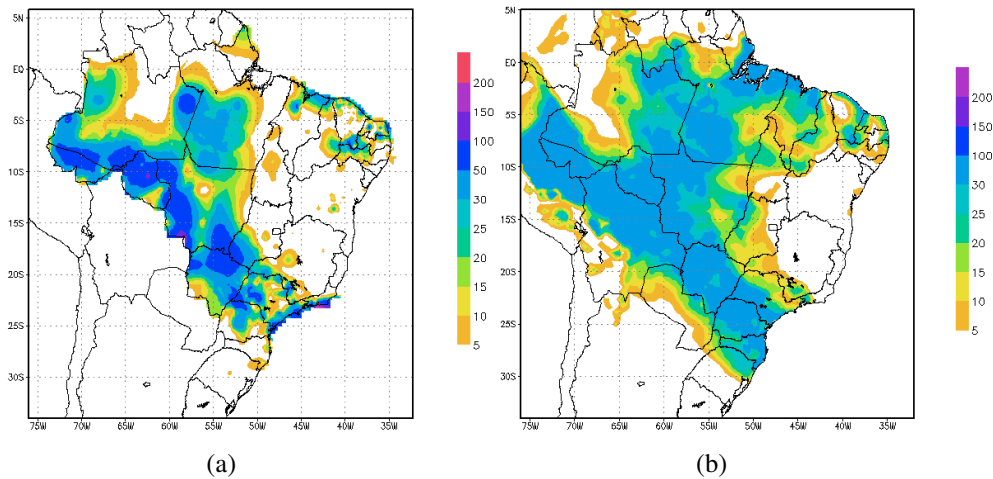
(c)

Figura 4.3: (a) Imagem do satélite GOES, canal IR, dia 13/01/2003, 20:09 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 12/01/2003 às 12Z e 14/01/2003, 12Z: (b) observada somente para o Brasil; (c) prevista pelo modelo Eta.

O caso 4 (25/01/2003) ocorreu durante um período de ZCAS que se manifestou entre os dias 25 de janeiro e 01 de fevereiro de 2003, provocando o aumento da atividade convectiva principalmente sobre grande parte das Regiões Centro-Oeste e Sudeste, incluindo também o oceano na altura dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro (figura 4.4 a e b). Ressalta-se que no início deste episódio a banda de nebulosidade foi mantida pelas incursões de frentes. O modelo conseguiu prever uma faixa de precipitação associada à ZCAS, porém com um desvio para sul na costa leste do Brasil. Contudo, o modelo não previu a localização e a intensidade dos máximos de precipitação, ocorridos sobre o litoral do Estado do Rio de Janeiro e sul do Mato Grosso (figura 4.4 c).



(a)

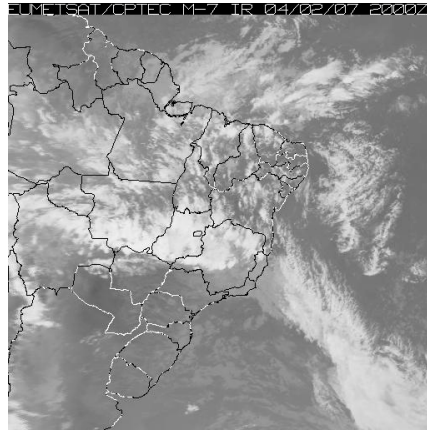


(a)

(b)

Figura 4.4: (a) Imagem do satélite GOES, canal IR, dia 25/01/2003, 04:09 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 23/01/2003 às 12Z e 25/01/2003, 12Z: (b) observada somente para o Brasil; (c) prevista pelo modelo Eta.

O caso 5 (08/02/2004) refere-se a um caso de chuvas intensas decorrido no período de atuação do fenômeno (07 a 11 de agosto de 2004). Na ocasião houve um aumento da atividade convectiva, principalmente sobre a Região Centro-Oeste, a fronteira de Minas Gerais com a Bahia e também sobre a Região Norte (figura 4.5 a e b). O modelo conseguiu prever uma faixa de precipitação na região da ZCAS, com maiores intensidades sobre as Regiões Centro Oeste e Sudeste, porém, assim como nos casos anteriores, o modelo não previu a localização e a intensidade dos máximos de precipitação, estabelecidos sobre o sul do Estado da Bahia e sobre parte dos Estados de Goiás, Mato Grosso e Pará (figura 4.5 c).



(a)

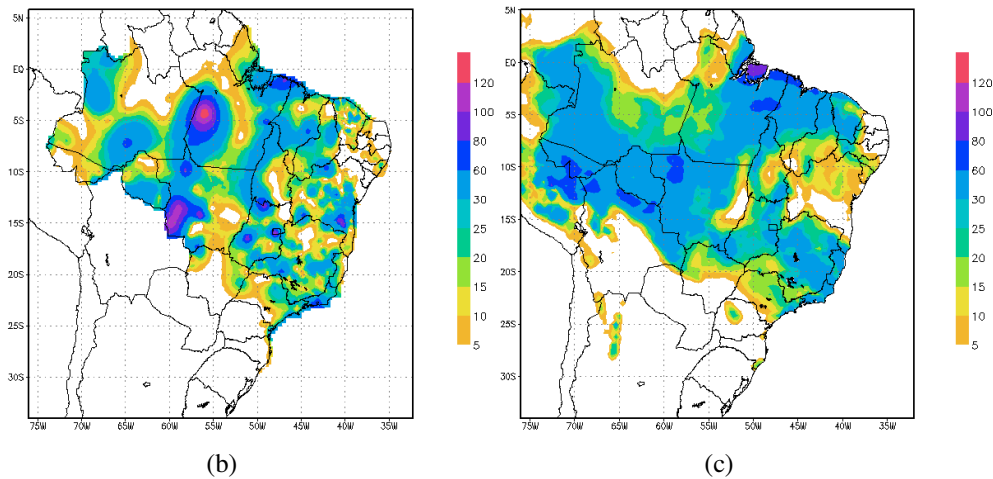


Figura 4.5: (a) Imagem do satélite METEOSAT, canal IR, dia 07/02/2004, 20:00 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 06/02/2004 às 12Z e 08/02/2004, 12Z: (b) observada somente para o Brasil; (c) prevista pelo modelo Eta.

No caso 6, ocorrido em 14/12/2004, a região preferencial de atuação da banda de nebulosidade associada à ZCAS (10 a 14/12/2004) foram as Regiões Sudeste e Centro-Oeste e o sul da Bahia (figura 4.6 a e b). A formação da banda de nebulosidade, no início deste episódio, foi verificada a partir de incursões de cavados em baixos níveis, após a penetração de um sistema frontal. O modelo conseguiu prever uma faixa de precipitação na região da ZCAS, porém, com uma curvatura maior do que a observada, fazendo com que a precipitação ficasse deslocada para o norte. O modelo conseguiu prever as maiores intensidades na Região Sudeste, mas não previu a localização e a intensidade dos máximos de precipitação ocorridos no sul do estado da Bahia e em parte dos Estados do Espírito Santo, Mato Grosso e Rondônia (figura 4.6 c).



(a)

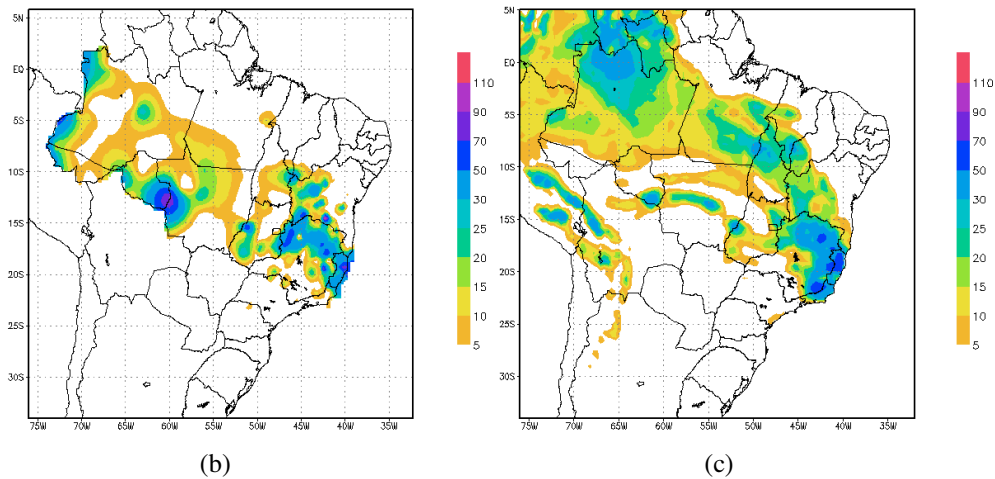
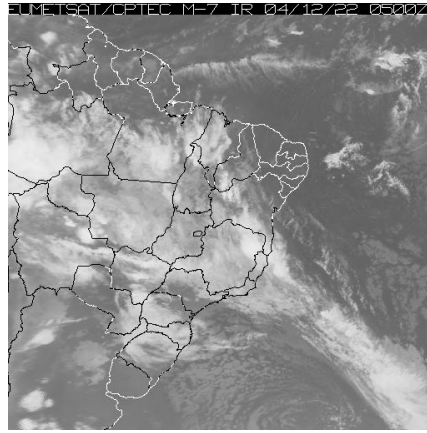
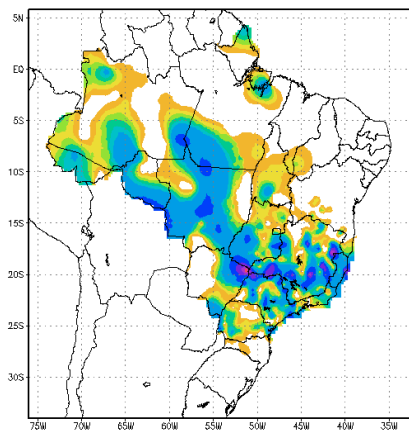


Figura 4.6: (a) Imagem do satélite METEOSAT, canal IR, dia 13/12/2004, 20:00 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 12/12/2004 às 12Z e 14/12/2004, 12Z: (b) observada somente para o Brasil; (c) prevista pelo modelo Eta.

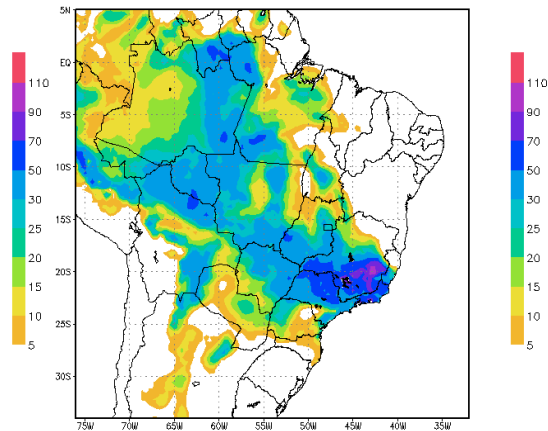
O caso 7 ocorreu em 22/12/2004 durante o evento que se configurou entre os dias 21 e 25 de dezembro de 2004. Na ocasião o aumento da atividade convectiva foi observado principalmente sobre as Regiões Sudeste e Centro-Oeste. A formação da banda de nebulosidade, no início deste episódio, foi verificada a partir de incursões de cavados em baixos níveis, após a penetração de um sistema frontal (figura 4.7 a e b). O modelo conseguiu prever uma faixa de precipitação na região da ZCAS, com maiores intensidades sobre as Regiões Centro Oeste e Sudeste, porém, assim como esperado, o modelo não previu a localização e a intensidade dos máximos de precipitação localizados sobre o litoral do Estado do Espírito Santo, em grande parte do estado de Minas Gerais e no norte dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul (figura 4.7 c).



(a)



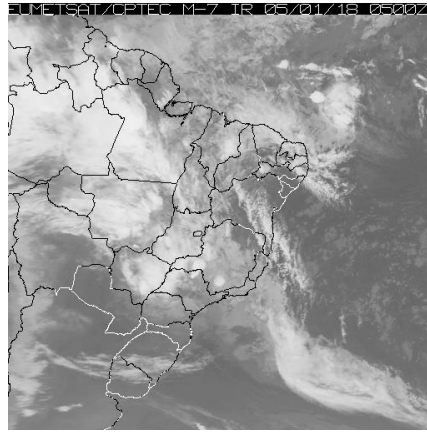
(b)



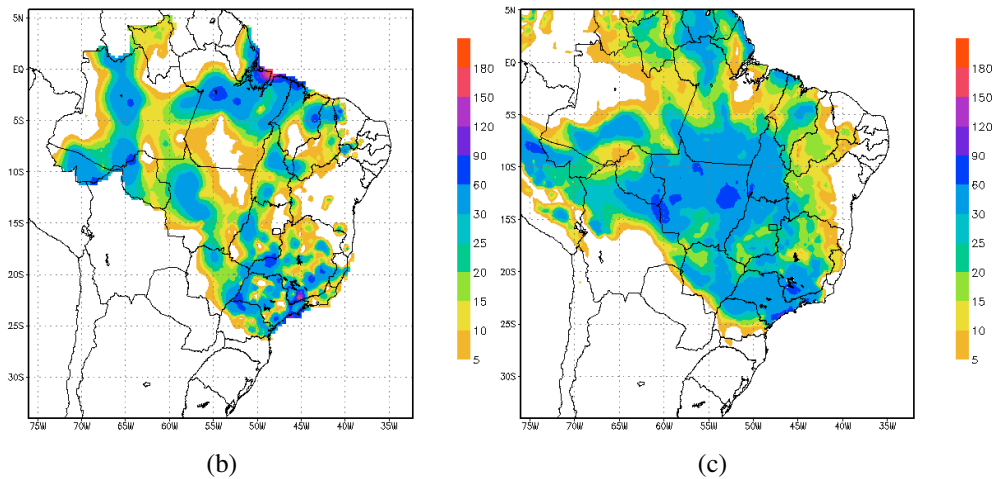
(c)

Figura 4.7: (a) Imagem do satélite METEOSAT, canal IR, dia 22/12/2004, 05:00 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 20/12/2004 às 12Z e 24/12/2004, 12Z: (b) observada somente para o Brasil; (c) prevista pelo modelo Eta.

Finalmente, o caso 8 (18/01/2005) ocorreu durante o período do fenômeno (16 a 20 de janeiro de 2005), com o aumento da atividade convectiva principalmente sobre a Região Sudeste, estendendo-se sobre o Oceano Atlântico Sul (figura 4.8 a e b). O modelo conseguiu prever uma faixa de precipitação na região da ZCAS, com maiores intensidades sobre a região Sudeste, porém, como esperado, o modelo não previu a localização e a intensidade do máximo de precipitação localizado sobre o sul do Estado de Minas Gerais (figura 4.8 c).



(a)



(b)

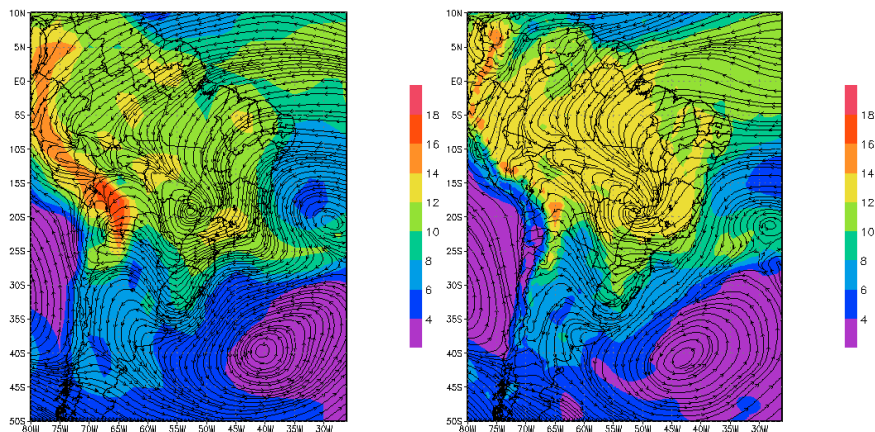
(c)

Figura 4.8: (a) Imagem do satélite METEOSAT, canal IR, dia 18/01/2005, 05:00 Z; Precipitação (mm) acumulada entre os dias 16/01/2005 às 12Z e 20/01/2005, 12Z: (b) observada somente para o Brasil; (c) prevista pelo modelo Eta.

De acordo com os resultados apresentados neste item nota-se que em todos os casos o modelo apresenta um bom desempenho na previsão da localização da faixa de precipitação associada à ZCAS, com apenas alguns desvios deste cinturão para sul (como por exemplo no caso 4) ou para norte (como por exemplo no caso 6). Por outro lado, como esperado, em todos os casos o modelo não foi capaz de prever os máximos isolados de precipitação embebidos na região da ZCAS.

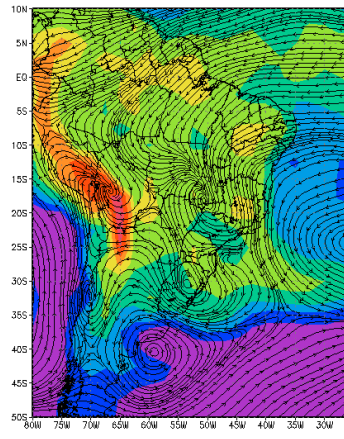
4.1.2 Avaliação dos campos de Ventos e Umidade Específica em 850 hPa, Temperatura Potencial Equivalente em 850 hPa e Ventos em 200 hPa previstos pelo Modelo Regional Eta

a) Ventos e umidade específica em 850 hPa – Os campos de linha de corrente e umidade específica em 850 hPa (figura 4.9) para os casos 1, 2, 3, 4, 6 e 7 mostram que o modelo previu corretamente a localização de uma região de confluência dos ventos juntamente com um centro de movimento ciclônico e uma faixa de máxima umidade específica em baixos níveis com orientação NW-SE coincidindo com a posição da ZCAS. Porém faixa de máxima umidade específica mostra-se mais larga, diminuindo o gradiente e sua magnitude específica é superestimada pelo modelo. Nos casos 5 (figura 4.9 e) e 8 (figura 4.9 h), o modelo previu o centro de movimento ciclônico ligeiramente deslocado para oeste. Além disso, no caso 5 a confluência dos ventos não está bem configurada, mostrando-se evidente somente próximo ao centro de movimento ciclônico.

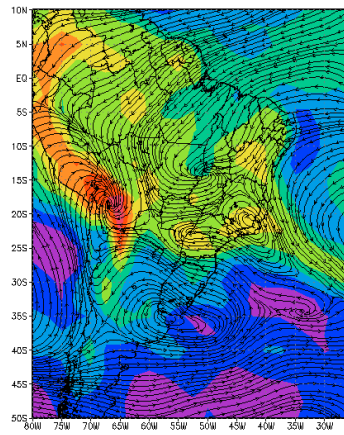
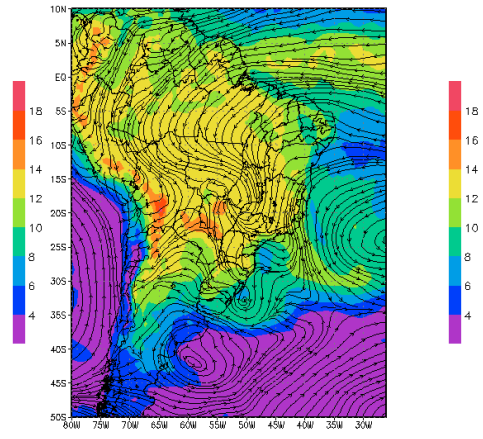


(a) Caso 1

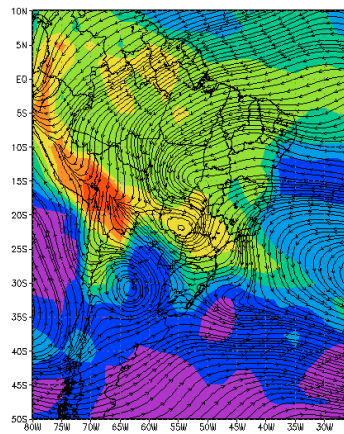
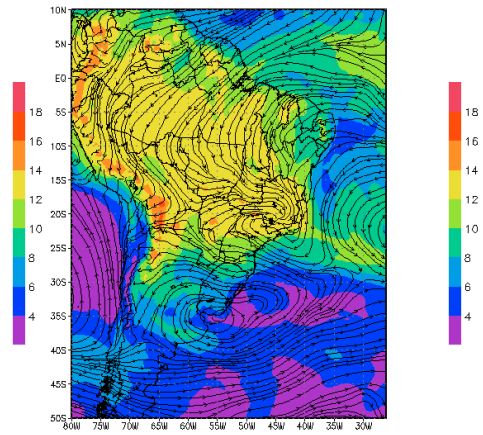
Figura 4.9: Linhas de corrente e umidade específica (g.kg^{-1}) ao nível de 850 hPa média da Reanálise do NCEP (figura da esquerda) e prevista pelo modelo Eta (figura da direita) para (a) Caso 1: 10/12/2002 - 00Z a 13/12/2002 - 00Z; (b) Caso 2: 30/12/2002 - 00Z a 02/01/2003 - 00Z; (c) Caso 3: 12/01/2003 - 00Z a 15/01/2003 - 00Z; (d) Caso 4: 23/01/2003 - 00Z a 26/01/2003 - 00Z; (e) Caso 5: 07/02/2004 - 00Z a 10/02/2004 - 00Z; (f) Caso 6: 12/12/2004 - 00Z a 15/12/2004 - 00Z; (g) Caso 7: 21/12/2004 - 00Z a 24/12/2004 - 00Z e h) Caso 8: 17/01/2005 - 00Z a 20/01/2005 - 00Z.



(b) Caso 2



(c) Caso 3



(d) Caso 4

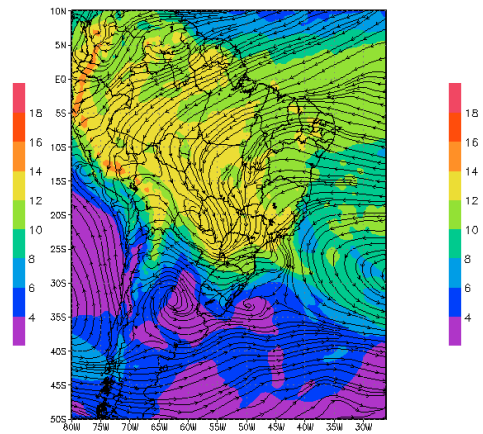
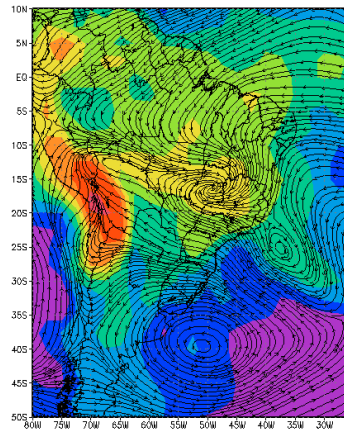
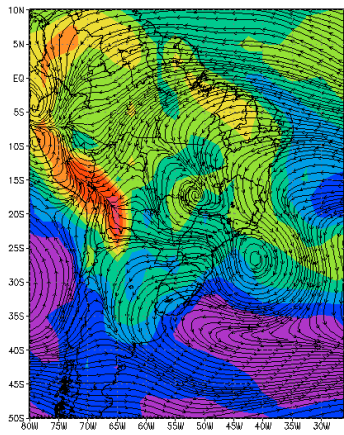
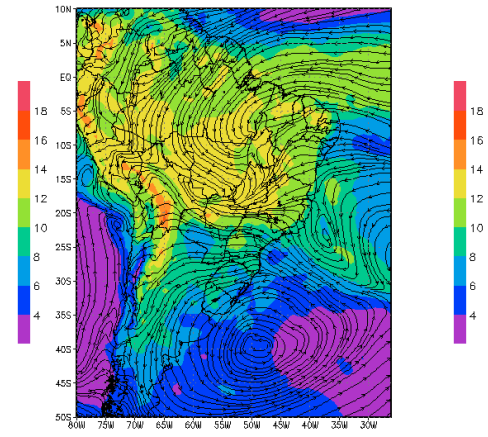


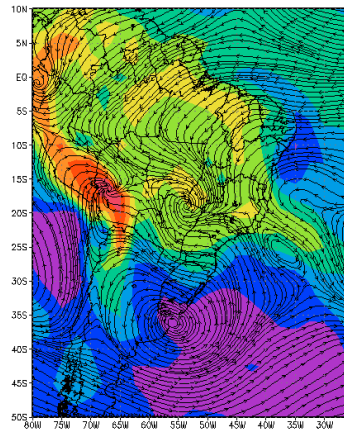
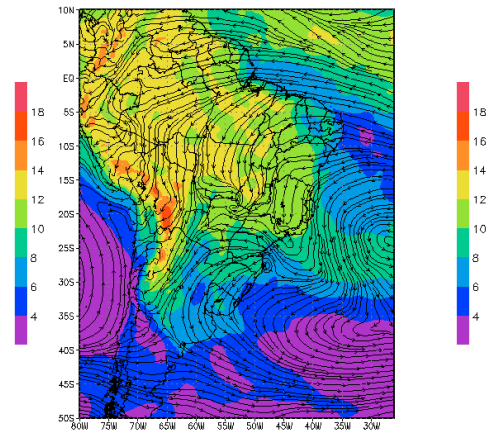
Figura 4.9: continuação.



(e) Caso 5



(f) Caso 6



(g) Caso 7

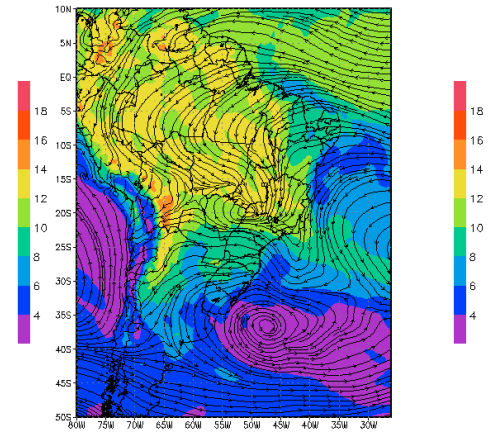
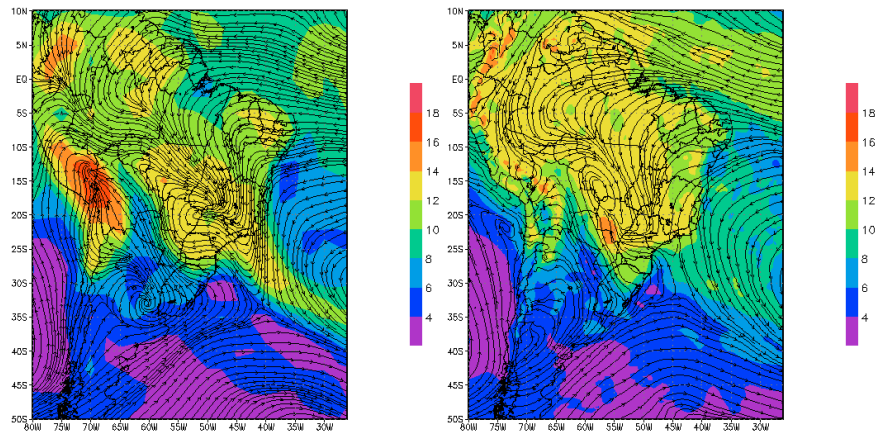


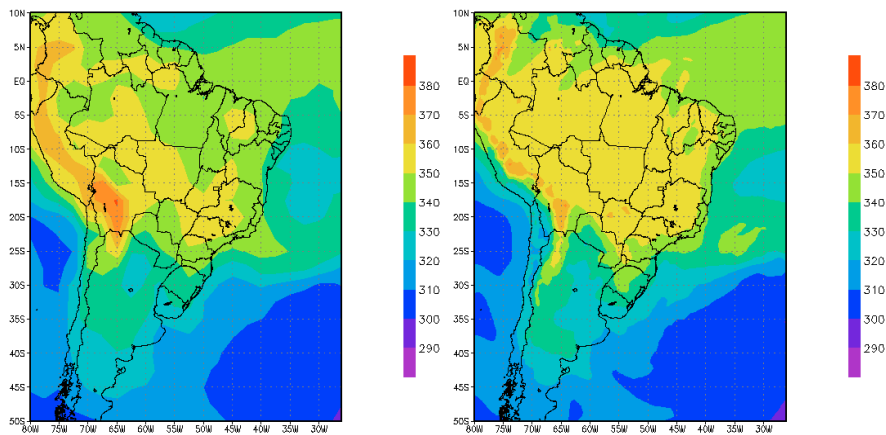
Figura 4.9: continuação.



(h) Caso 8

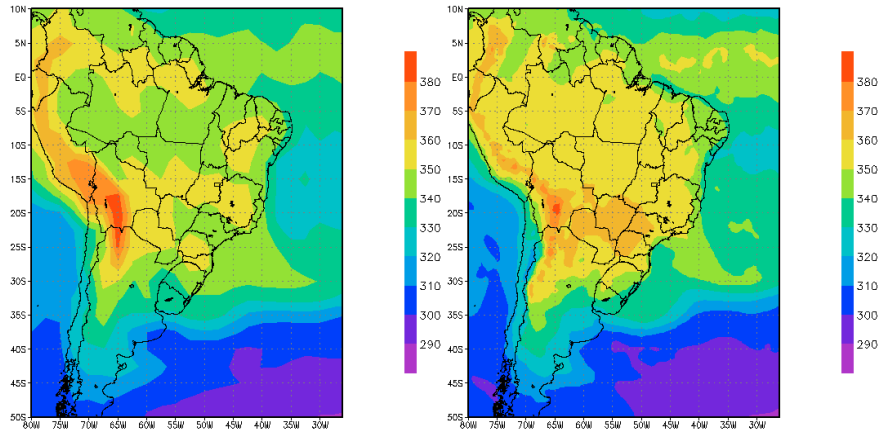
Figura 4.9: Final.

b) Temperatura Potencial Equivalente em 850 hPa – Nos campos de Θ_e em 850 hPa (figura 4.10) verifica-se que o modelo previu corretamente em todos os casos um intenso gradiente de Θ_e ao sul da faixa de nebulosidade convectiva e também a presença de uma crista neste campo na região da ZCAS, indicando a presença do ar quente e úmido das baixas latitudes em direção ao sul. Contudo, esta crista prevista apresenta-se com uma magnitude maior que a observada.

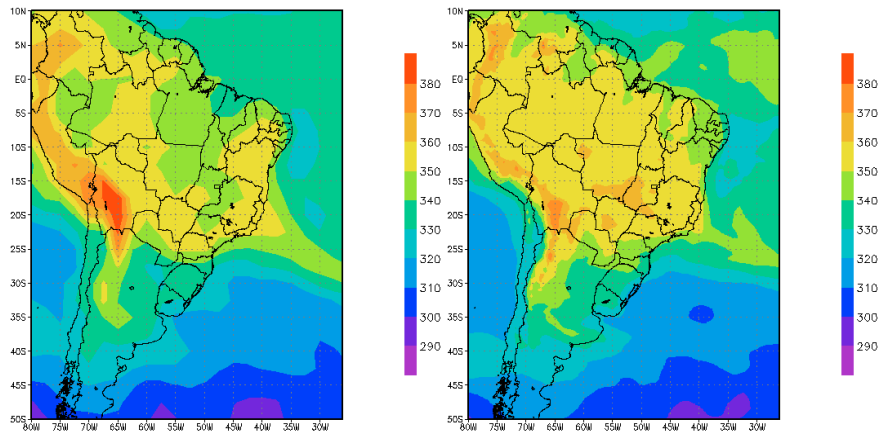


(a) Caso 1

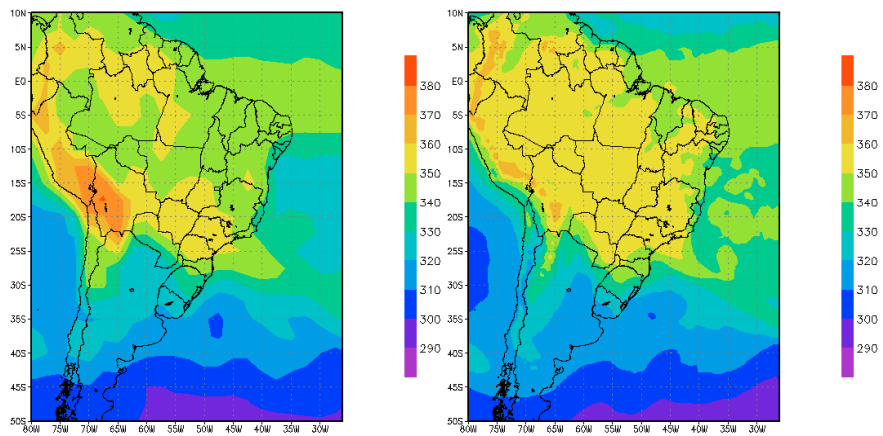
Figura 4.10: Temperatura Potencial equivalente média em 850hPa observada da Reanálise do NCEP (figura da esquerda) e prevista pelo modelo Eta (figura da direita) para (a) Caso 1: 10/12/2002 - 00Z a 13/12/2002 - 00Z; (b) Caso 2: 30/12/2002 - 00Z a 02/01/2003 - 00Z; (c) Caso 3: 12/01/2003 - 00Z a 15/01/2003 - 00Z; (d) Caso 4: 23/01/2003 - 00Z a 26/01/2003 - 00Z; (e) Caso 5: 07/02/2004 - 00Z a 10/02/2004 - 00Z; (f) Caso 6: 12/12/2004 -00Z a 15/12/2004 -00Z; (g) Caso 7: 21/12/2004 - 00Z a 24/12/2004 - 00Z e h) Caso 8: 17/01/2005 -00Z a 20/01/2005 -00Z.



(b) Caso 2

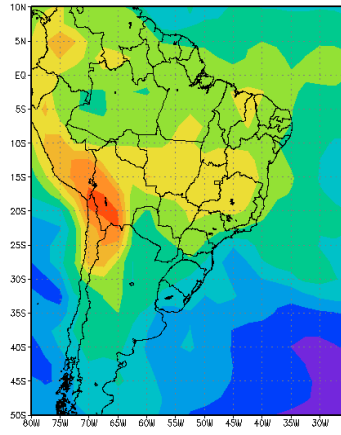


(c) Caso 3

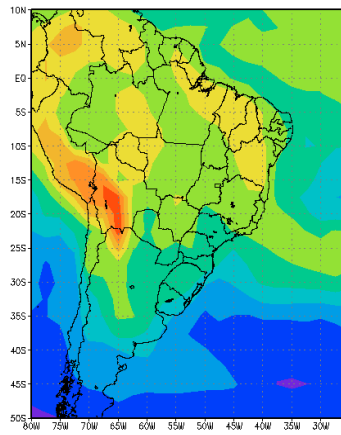
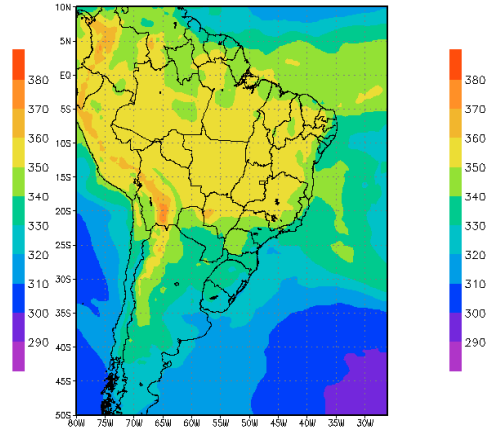


(d) Caso 4

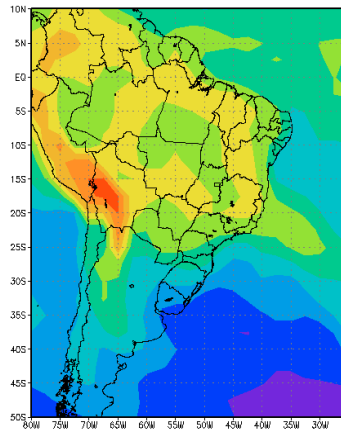
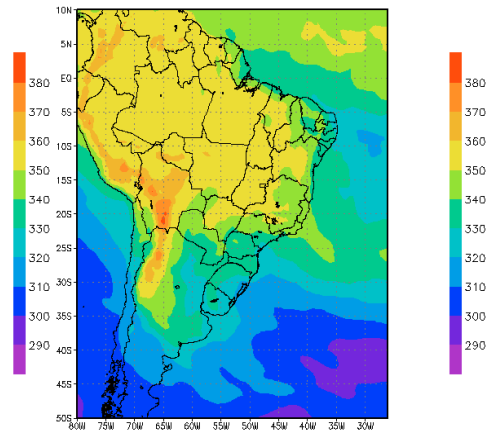
Figura 4.10: continuação.



(e) Caso 5



(f) Caso 6



(g) Caso 7

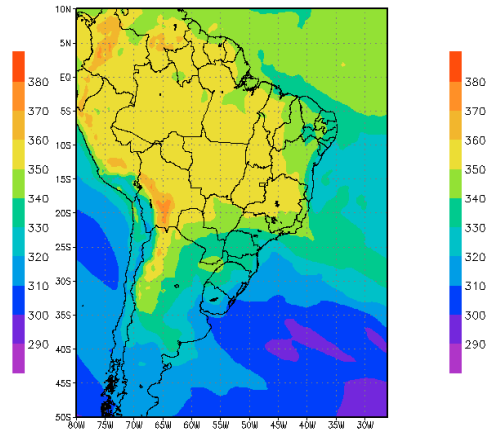
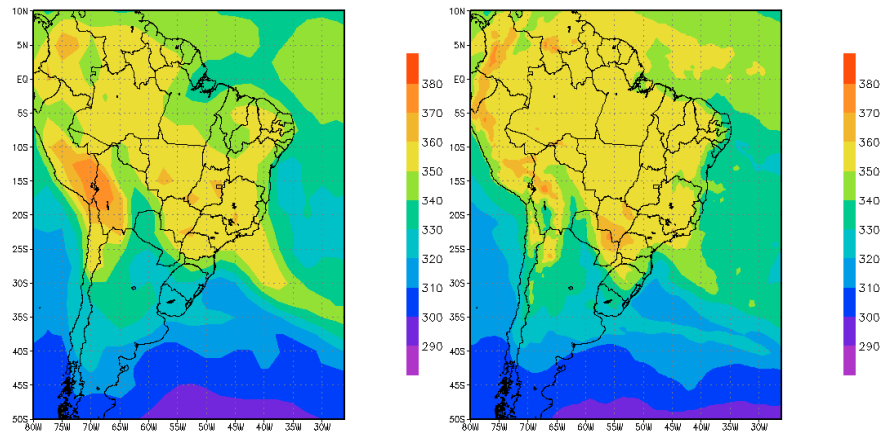


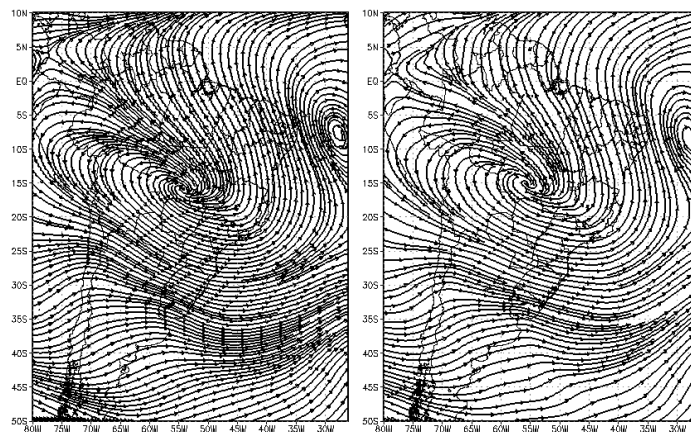
Figura 4.10: continuação.



(h) Caso 8

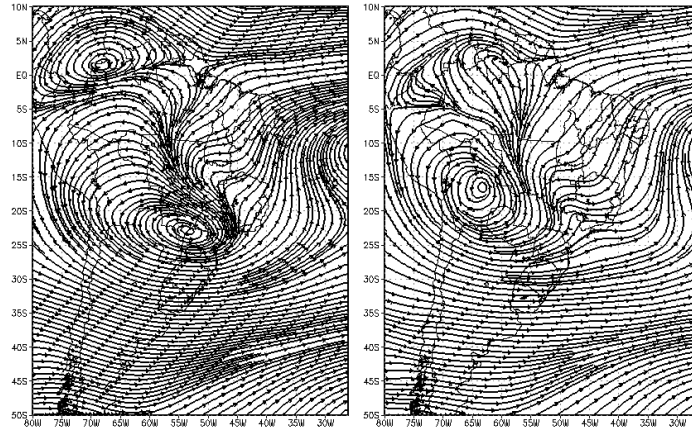
Figura 4.10: final.

c) Ventos em 200 hPa – Nos campos de linha de corrente em 200 hPa (figura 4.11) verifica-se que o modelo previu corretamente a localização da Alta da Bolívia e do Vórtice Ciclônico do Nordeste nos casos 1, 3, 4, 6, 7 e 8. No caso 2 (figura 4.11 b) a Alta da Bolívia foi prevista em sua posição climatológica, contudo, na ocasião, ela se encontrava de fato ao sul de tal região. No caso 5 (figura 4.11 e) o VCN foi previsto como um cavado e não como um vórtice fechado.

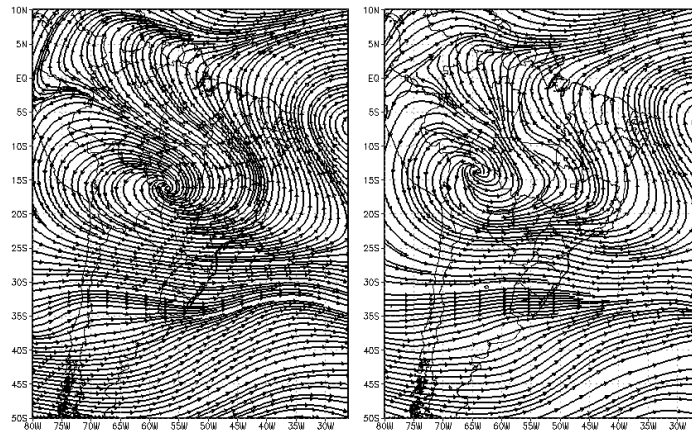


(a) Caso 1

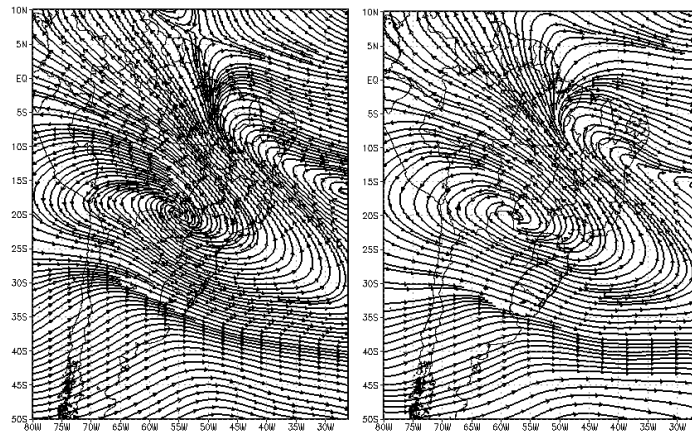
Figura 4.11: Linhas de corrente ao nível de 200 hPa média observada da Reanálise do NCEP (figura da esquerda) e prevista pelo modelo Eta (figura da direita) para (a) Caso 1: 10/12/2002 - 00Z a 13/12/2002 - 00Z; (b) Caso 2: 30/12/2002 - 00Z a 02/01/2003 - 00Z; (c) Caso 3: 12/01/2003 - 00Z a 15/01/2003 - 00Z; (d) Caso 4: 23/01/2003 - 00Z a 26/01/2003 - 00Z; (e) Caso 5: 07/02/2004 - 00Z a 10/02/2004 - 00Z; (f) Caso 6: 12/12/2004 - 00Z a 15/12/2004 - 00Z; (g) Caso 7: 21/12/2004 - 00Z a 24/12/2004 - 00Z e h) Caso 8: 17/01/2005 - 00Z a 20/01/2005 - 00Z.



(b) Caso 2

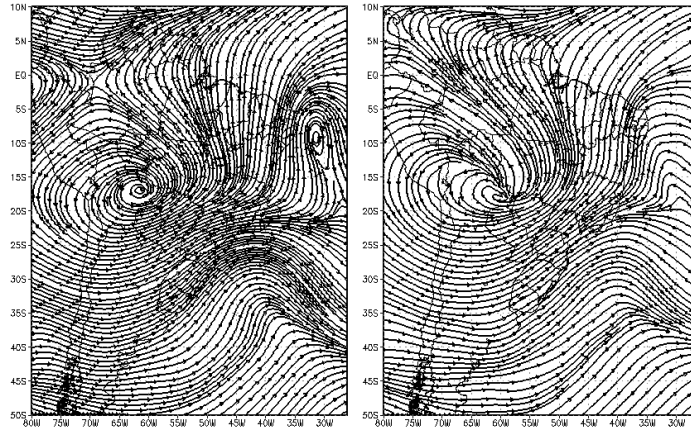


(c) Caso 3

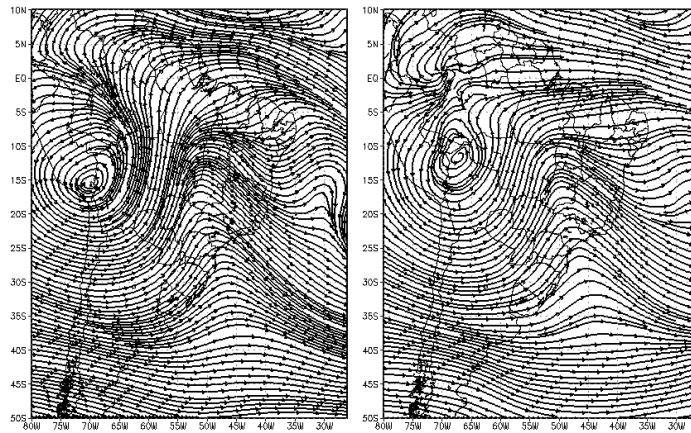


(d) Caso 4

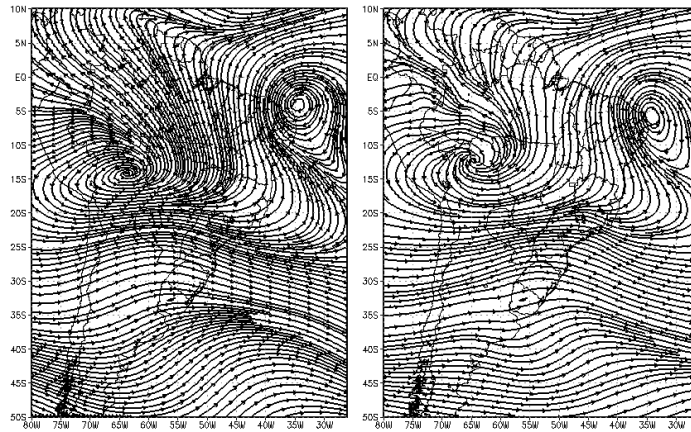
Figura 4.11: continuação.



(e) Caso 5

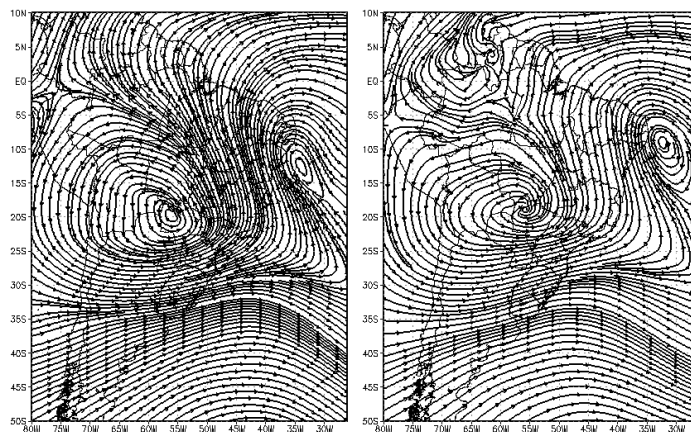


(f) Caso 6



(g) Caso 7

Figura 4.11: continuação.



(h) Caso 8

Figura 4.11: Final.

De acordo com os resultados apresentados anteriormente nota-se que o modelo apresentou um desempenho satisfatório na previsão dos sistemas tipicamente presentes nos eventos de ZCAS, tais como: vórtices ciclônicos nos baixos níveis, acompanhados por convergência de umidade e confluência dos ventos sobre o continente; máximo de umidade específica sobre o continente orientado na direção NW-SE; forte gradiente meridional de temperatura potencial equivalente ao sul da ZCAS e presença da Alta da Bolívia e do cavado do Nordeste nos altos níveis. A faixa de umidade específica apresentou-se mais ampla (menor gradiente). A magnitude da faixa de umidade específica e a crista de Θ_e na região da ZCAS apresentaram-se superestimadas pelo modelo em todos os casos.

4.2 Avaliação dos índices de instabilidade previstos pelo modelo Eta

Como citado anteriormente, apesar da elevada performance do modelo para prever os sistemas característicos de eventos de ZCAS em escala sinótica, ele não realiza um bom trabalho na previsão dos máximos isolados de precipitação em algumas áreas sob a influência desta zona de convergência. Desta forma, este item é reservado à avaliação do modelo Eta, para os casos de ZCAS, considerando-se alguns índices de instabilidade que podem indicar a possibilidade de ocorrência de chuvas intensas em diversas situações.

4.2.1 Avaliação qualitativa dos índices de instabilidade previstos pelo modelo Eta

As Figuras 4.12 a 4.19 apresentam a distribuição espacial dos campos de precipitação (observada e prevista), e dos campos previstos de divergência de massa e de umidade em 900 hPa e também dos índices ILEV, ITT, K, CILEV, CITT e CK para cada um dos oito casos estudados.

No caso 1 (12/12/2002), o modelo conseguiu prever a faixa de precipitação associada à ZCAS, porém ele não previu nenhuma precipitação para o Estado do Espírito Santo, região onde esta foi mais intensa. O modelo também não previu outros pontos de precipitação intensa como no norte de Minas Gerais (figura 4.12 a e b). Os campos de divergência de massa e de umidade em 900 hPa previstos pelo modelo mostraram uma convergência forte em algumas regiões onde a precipitação foi intensa, com exceção principalmente do máximo do Espírito Santo (figura 4.12 c e d). Os índices ILEV, ITT e K previstos pelo modelo, mostraram condições favoráveis para precipitação intensa para quase toda a região analisada (figura 4.12 e-g). Os índices CILEV, CITT e CK previstos pelo modelo apresentaram, com padrões bastante semelhante, valores favoráveis em algumas regiões onde a precipitação foi intensa, exceto, mais uma vez, para o Espírito Santo (figura 4.12 h-j).

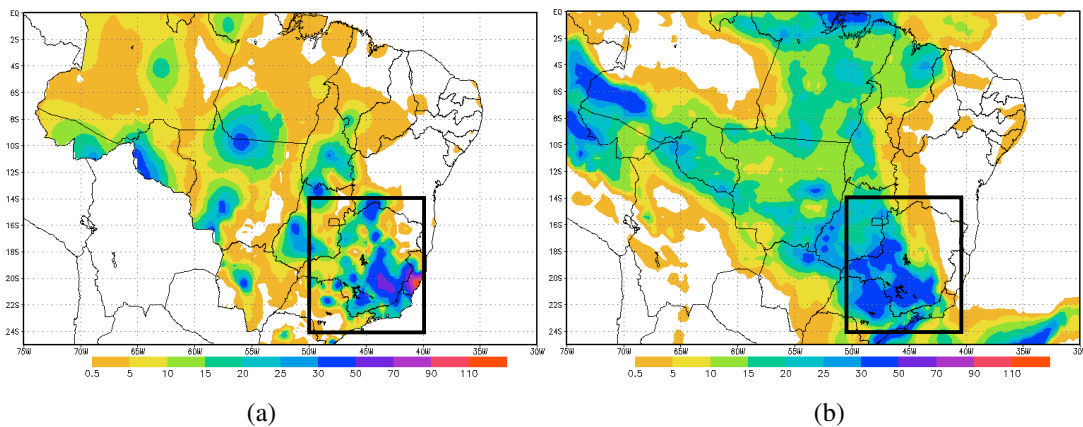
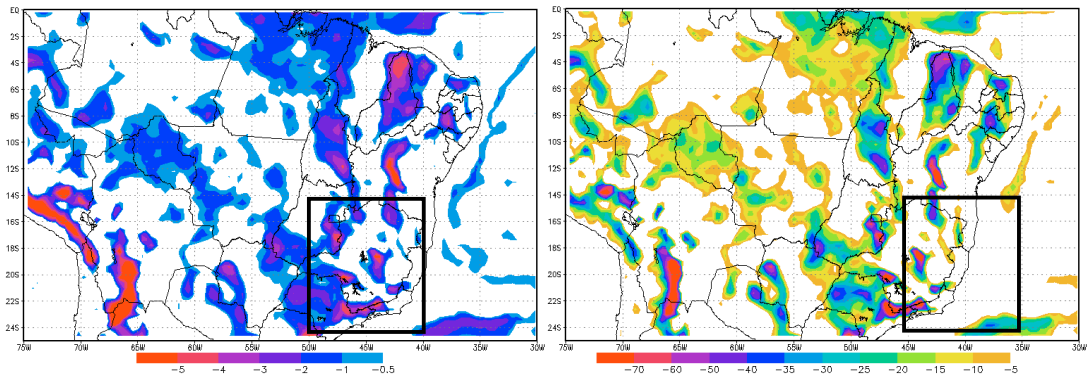
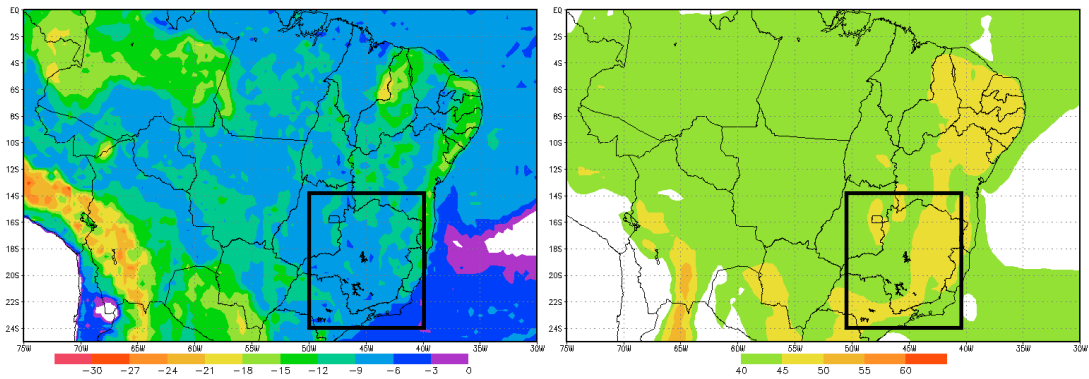


Figura 4.12: Caso 1 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 11/12/2002 às 12Z e 12/12/2002, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 11/12/2002 às 18Z: (c) Divergência de massa ($s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade ($g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}C$); (f) ITT ($^{\circ}C$); (g) K ($^{\circ}C$); (h) CILEV ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$).



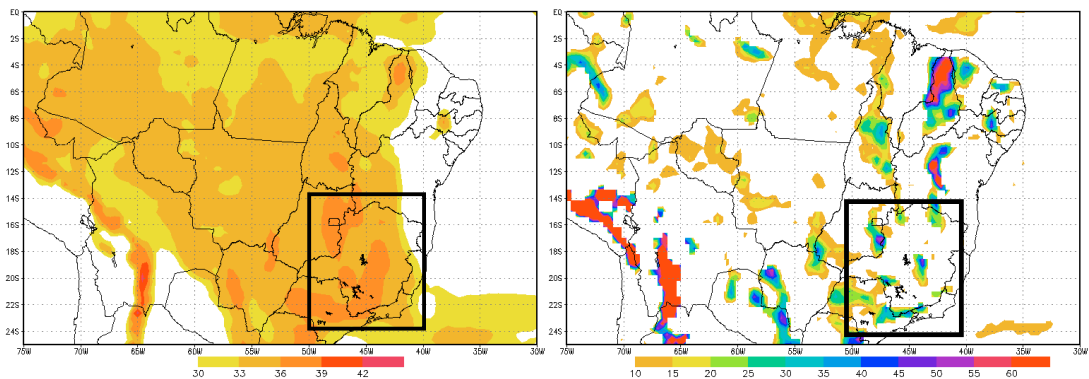
(c)

(d)



(e)

(f)



(g)

(h)

Figura 4.12: continuação.

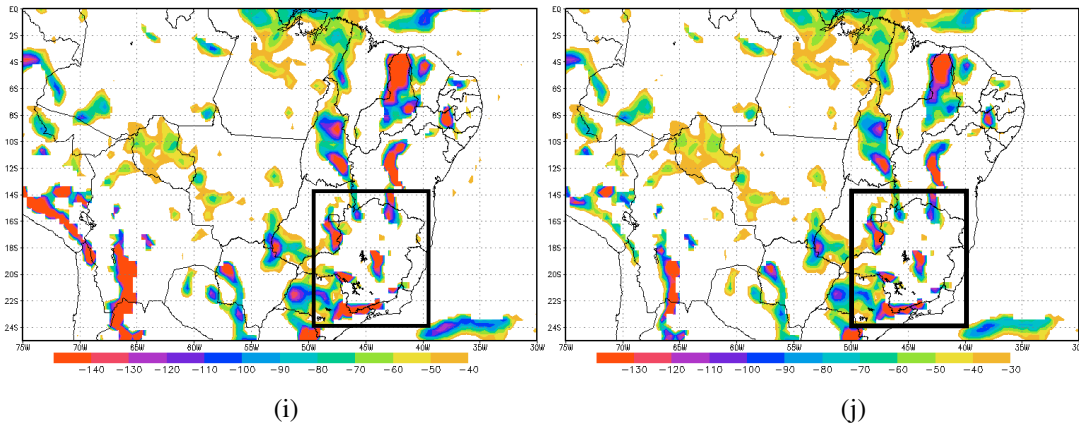


Figura 4.12: Final.

No caso 2 (01/01/2003), assim como no anterior, o modelo apresentou boa performance para prever a faixa de precipitação associada à ZCAS, contudo não foi prevista corretamente a intensidade da mesma (figura 4.13 a e b). Os campos de divergência de massa e de umidade previstos pelo modelo mostraram uma convergência intensa em algumas regiões onde a precipitação foi significativa, mas não previram convergência para a região de maior intensidade de precipitação, no sul de Minas Gerais (figura 4.13 c e d). Os índices ILEV, ITT e K previstos pelo modelo, mostraram condições favoráveis à precipitação intensa para toda a região analisada. Nota-se que o índice ILEV previsto mostra-se mais favorável fora da região da ZCAS (figura 4.13 e-g). Os índices CILEV, CITT e CK, previstos pelo modelo mostraram valores favoráveis em algumas regiões onde a precipitação foi mais significativa, mas também não previram para a região de maior intensidade de precipitação, ao sul de Minas Gerais (figura 4.13 h-j).

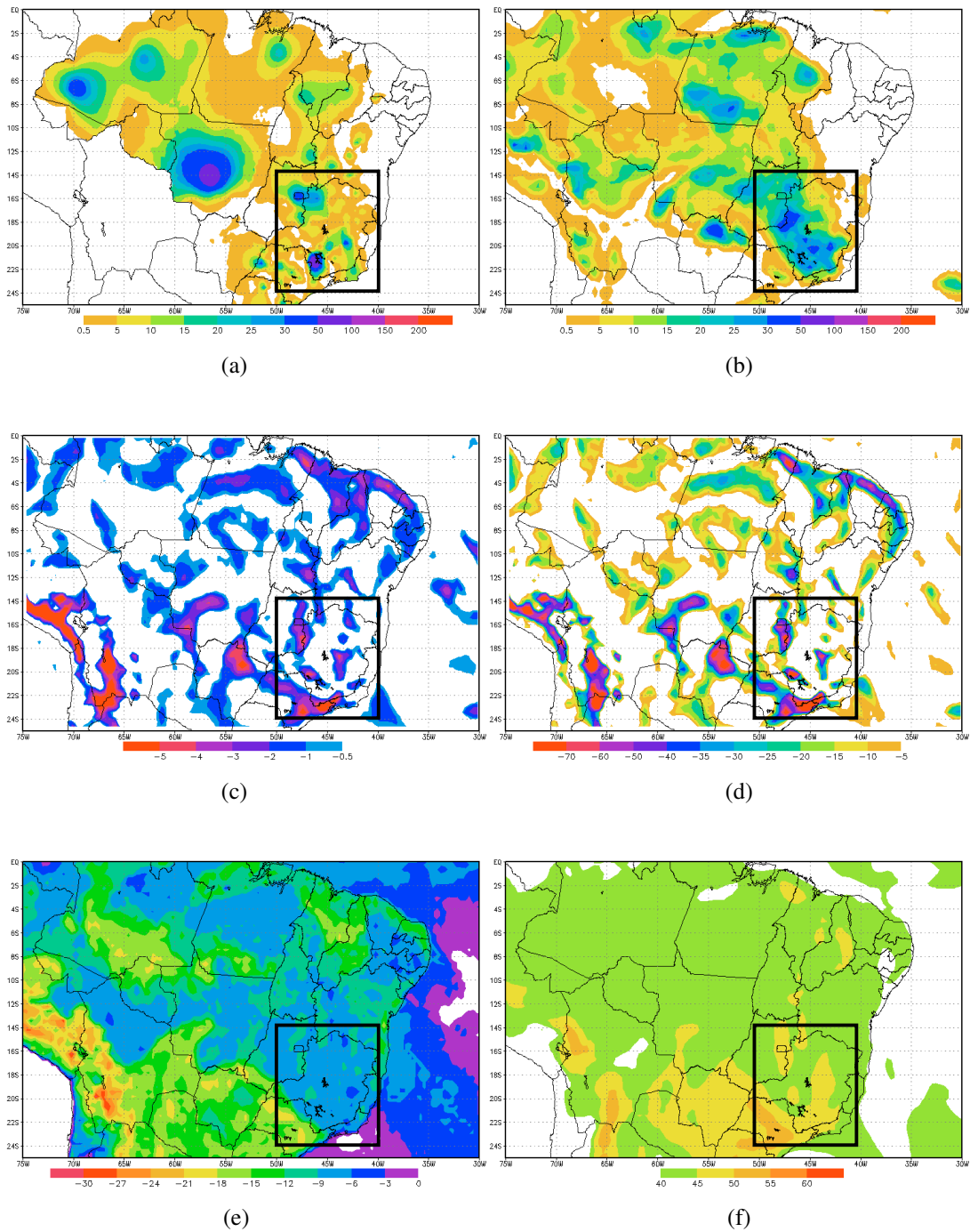


Figura 4.13: Caso 2 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 31/12/2002 às 12Z e 01/01/2003, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 31/12/2002 às 18Z: (c) Divergência de massa ($s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade ($g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}C$); (f) ITT ($^{\circ}C$); (g) K ($^{\circ}C$); (h) CILEV ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$).

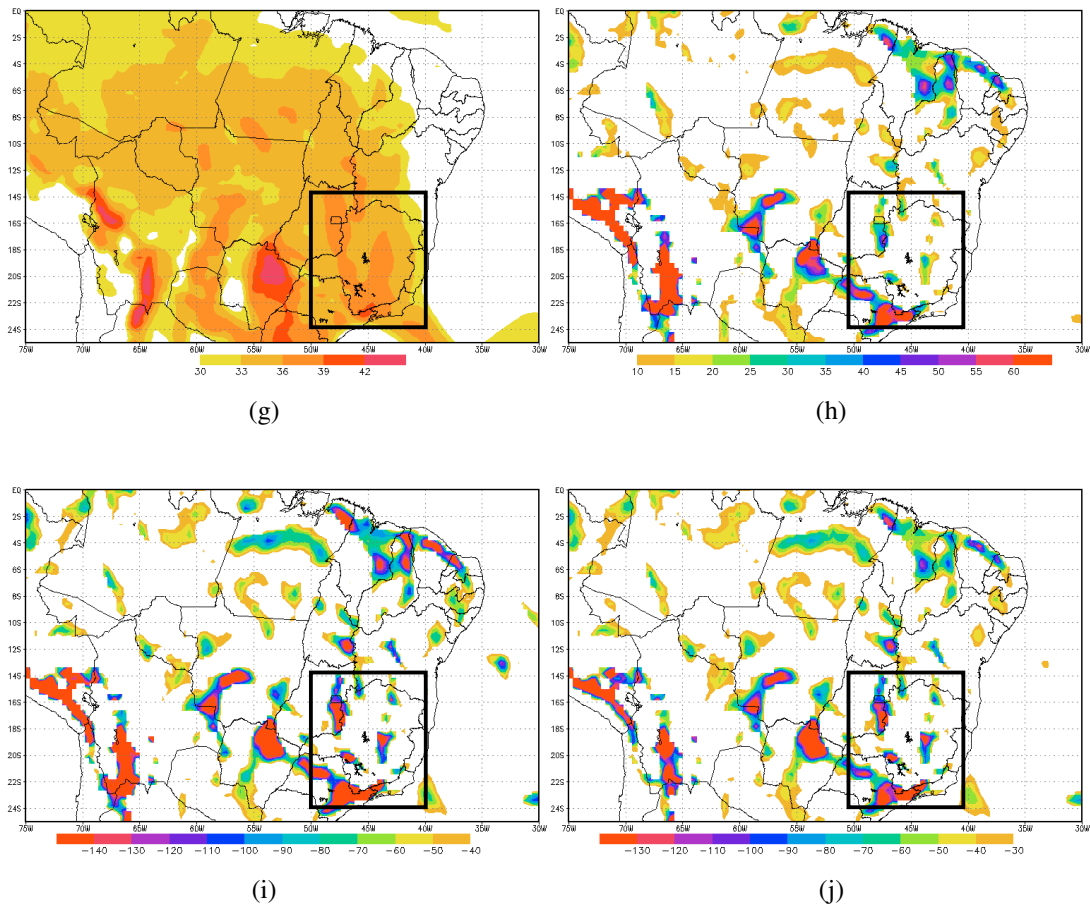


Figura 4.13: Final.

No caso 3 (14/01/2003), o modelo conseguiu prever a faixa de precipitação associada à ZCAS e também a localização de vários pontos de precipitação intensa nesta região, sem, contudo, prever exatamente o máximo ao sul de Minas Gerais (figura 4.14 a e b). Os campos de divergência de massa e de umidade previstos pelo modelo mostraram uma convergência intensa em algumas regiões onde a precipitação foi significativa (figura 4.14 c e d). Os índices ILEV, ITT e K previstos pelo modelo, mostraram condições favoráveis para precipitação intensa para toda a região analisada (figura 4.14 e-g). Os índices CILEV, CITT e CK, previstos pelo modelo mostraram valores favoráveis em algumas regiões onde a precipitação foi mais significativa, exceto no norte de Minas Gerais e Rio de Janeiro (figura 4.14 h-j).

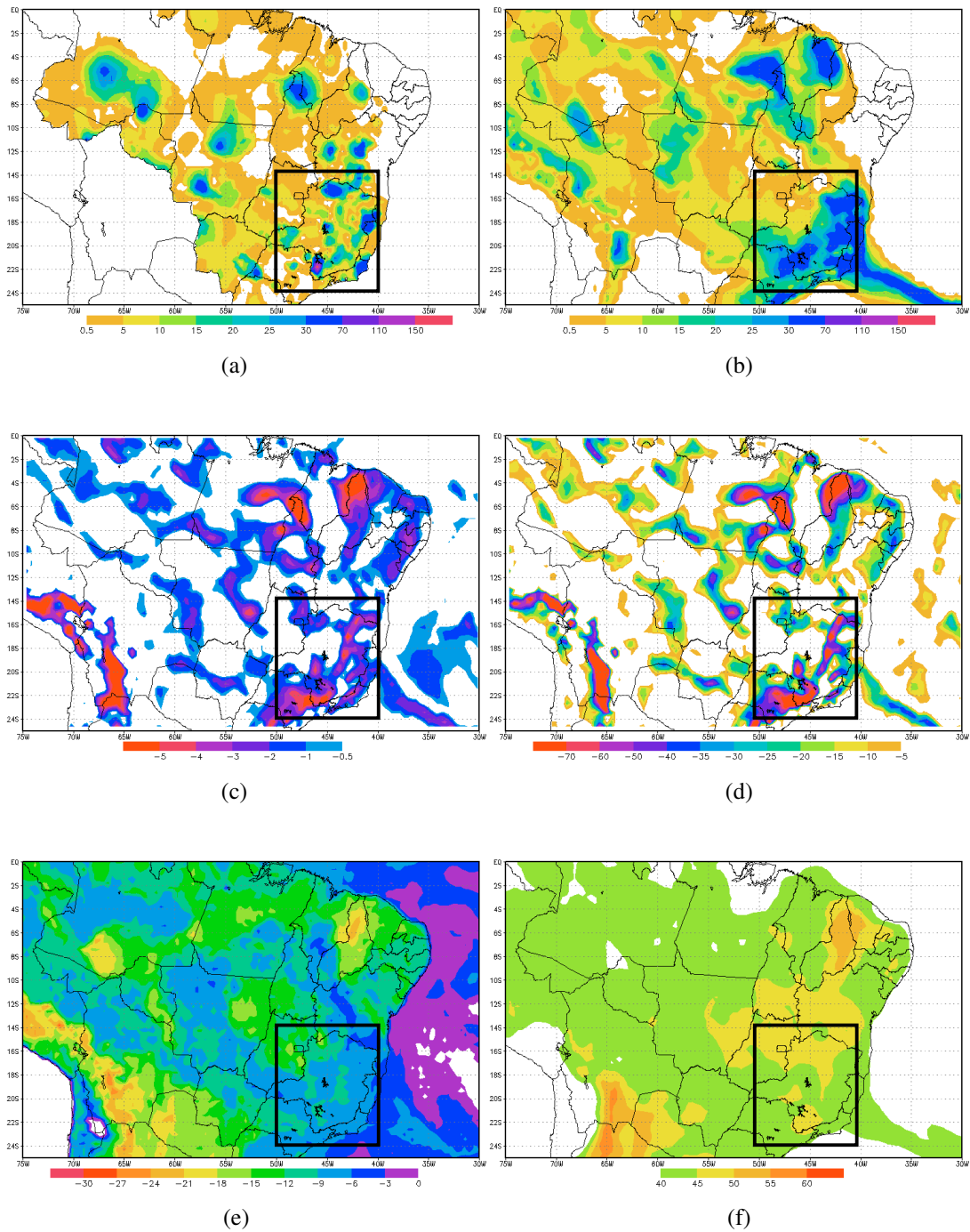


Figura 4.14: Caso 3 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 13/01/2003 às 12Z e 14/01/2003, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 13/01/2003 às 18Z: (c) Divergência de massa ($s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade ($g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}C$); (f) ITT ($^{\circ}C$); (g) K ($^{\circ}C$); (h) CILEV ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$).

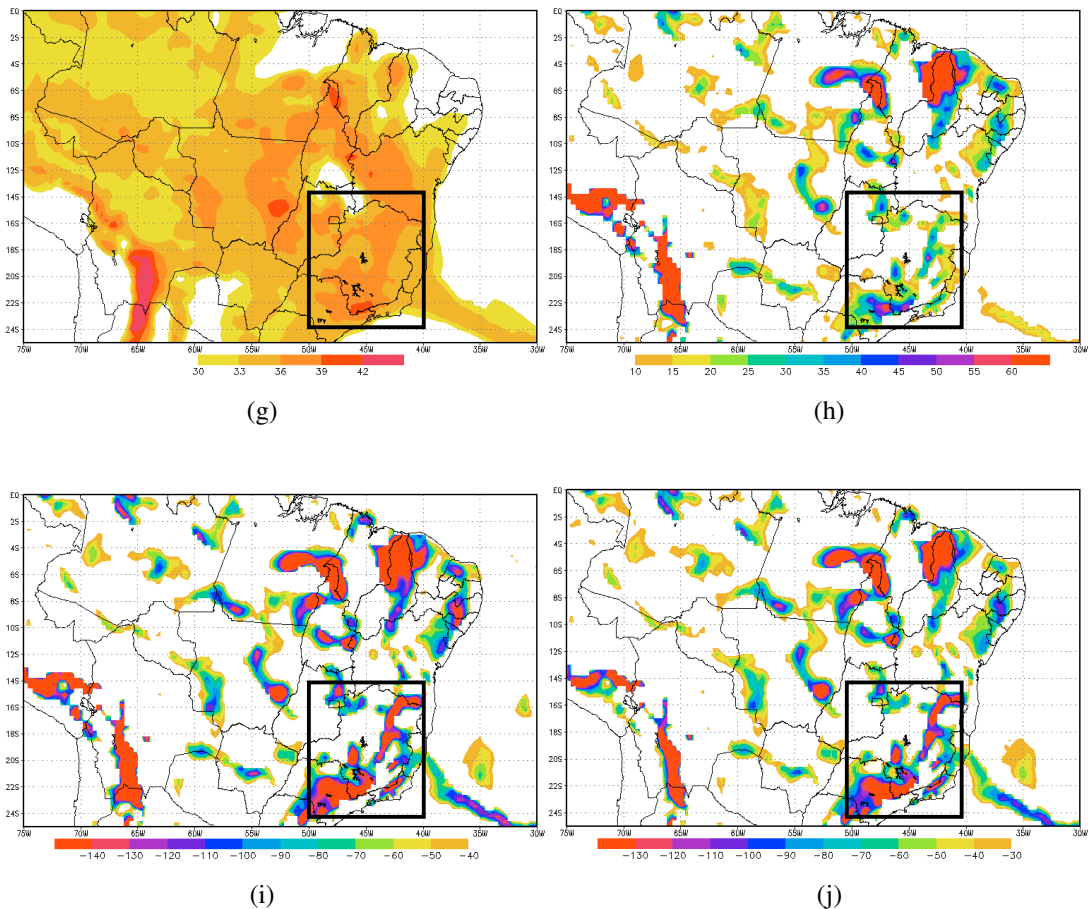


Figura 4.14: Final.

No caso 4 (25/01/2003), o modelo previu o padrão de precipitação observado sobre a região da ZCAS, contudo os máximos em São Paulo e no Rio de Janeiro não foram bem previstos (figura 4.15 a e b). Os campos de divergência de massa e de umidade previstos pelo modelo mostraram uma convergência intensa em algumas regiões onde a precipitação foi significativa, inclusive no sul do Estado do Rio de Janeiro (figura 4.15 c e d). Os índices ILEV e ITT previstos pelo modelo, mostraram condições favoráveis à precipitação intensa para toda a região analisada (figura 4.15 e e f). O índice K mostrou-se favorável na faixa de precipitação sobre parte dos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Goiás, porém o modelo não apresentou um máximo de K na região de máxima precipitação sobre o Rio de Janeiro e previu um máximo de K no norte de Goiás que não ocorreu (figura 4.15 g). Os índices CILEV, CITT e CK, previstos pelo modelo mostraram valores favoráveis em algumas regiões onde a precipitação foi mais significativa, inclusive no sul do Estado do Rio de Janeiro (figura 4.15 h-j).

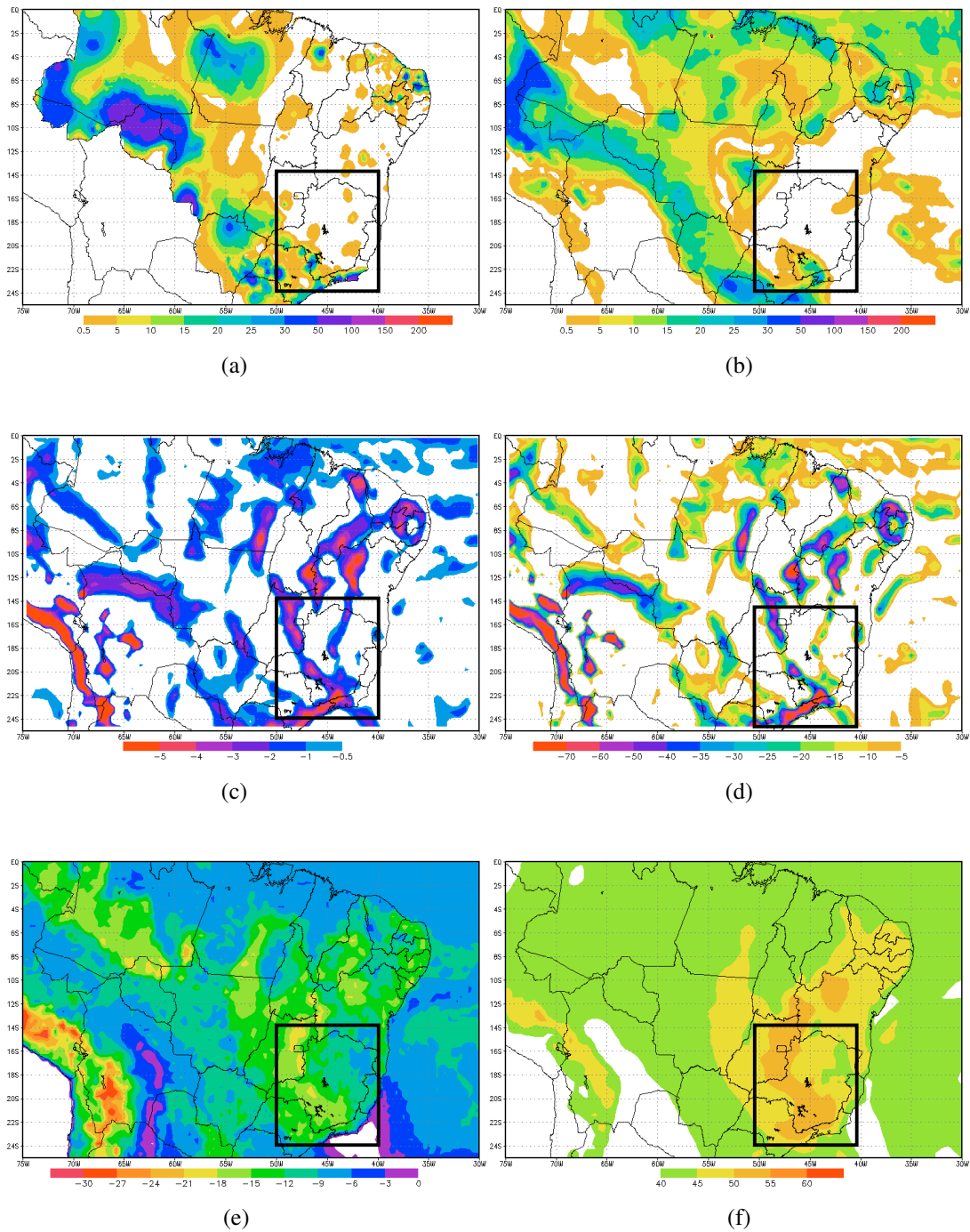


Figura 4.15: Caso 4 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 24/01/2003 às 12Z e 25/01/2003, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 24/01/2003 às 18Z: (c) Divergência de massa ($s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade ($g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}C$); (f) ITT ($^{\circ}C$); (g) K ($^{\circ}C$); (h) CILEV ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$).

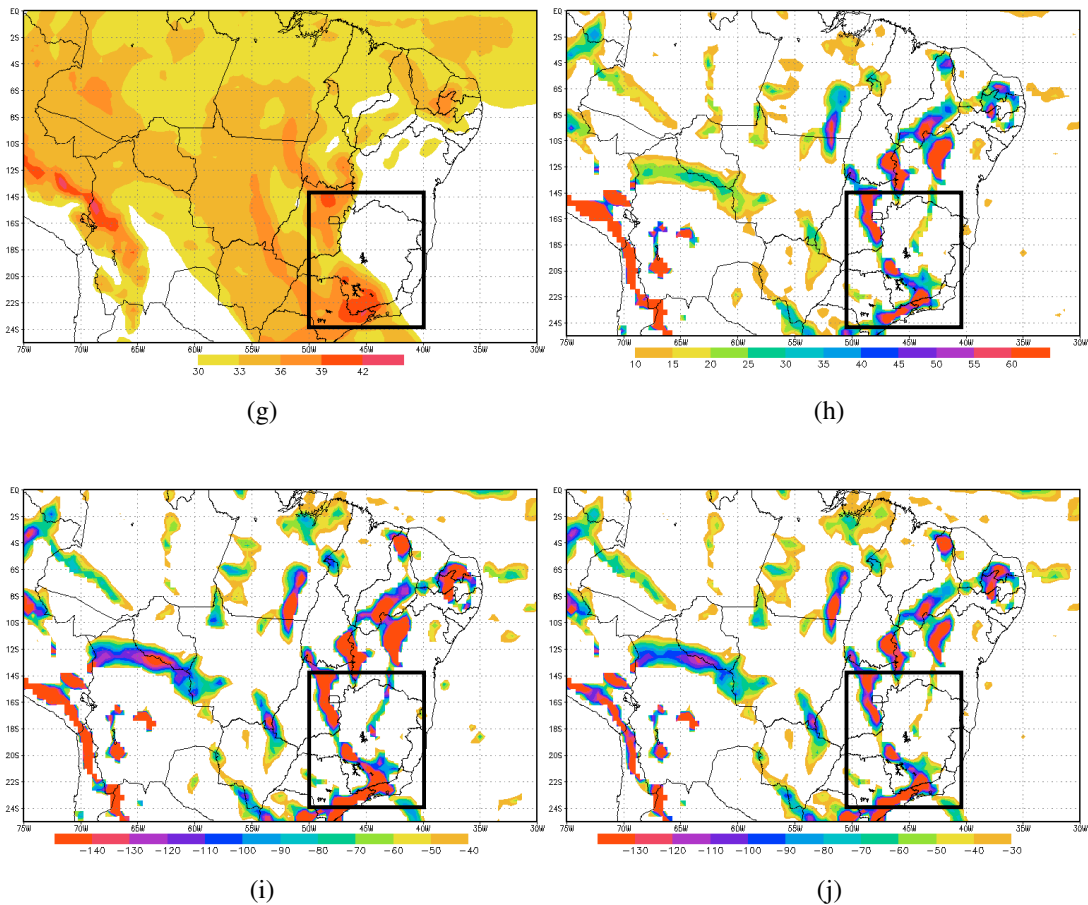


Figura 4.15: Final.

No caso 5 (08/02/2004), o modelo conseguiu prever a faixa de precipitação associada à ZCAS, com exceção do sul de Minas Gerais e Bahia (figura 4.16 a e b). Os campos de divergência de massa e de umidade previstos pelo modelo mostraram convergência intensa em algumas regiões onde a precipitação foi significativa (figura 4.16 c e d). Os índices ILEV, ITT e K previstos pelo modelo, mostraram condições favoráveis para precipitação intensa para toda a região analisada (figura 4.16 e-g). Os índices CILEV, CITT e CK, previstos pelo modelo mostraram valores favoráveis em algumas regiões onde a precipitação foi mais significativa (figura 4.16 h-j).

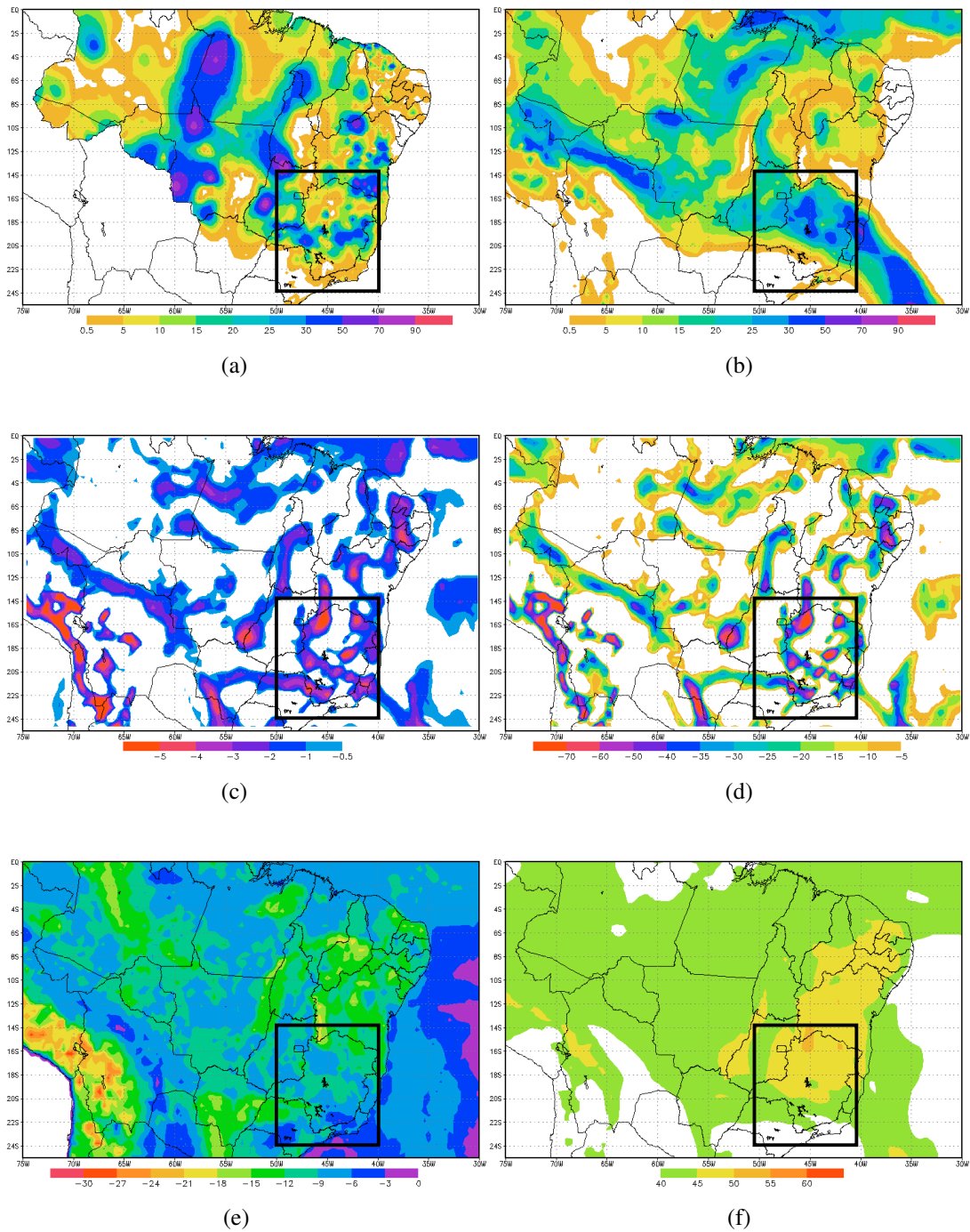


Figura 4.16: Caso 5 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 07/02/2004 às 12Z e 08/02/2004, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 07/02/2004 às 18Z: (c) Divergência de massa ($s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade ($g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}C$); (f) ITT ($^{\circ}C$); (g) K ($^{\circ}C$); (h) CILEV ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$).

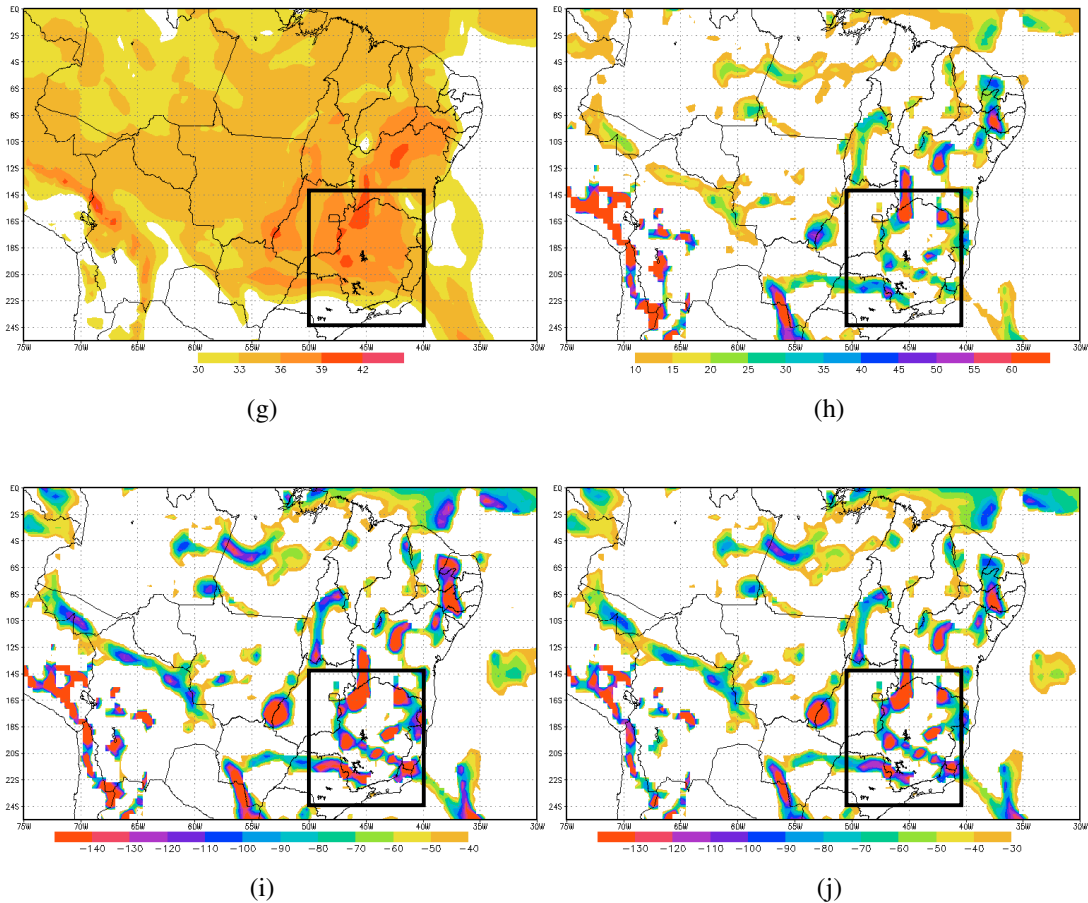


Figura 4.16: Final.

No caso 6 (14/12/2004), o modelo previu o padrão de precipitação associado à ZCAS, porém um pouco mais estendido para o sul (figura 4.17 a e b). O modelo não previu os campos de divergência de massa e umidade de forma compatível com o posicionamento das precipitações máximas (figura 4.17 c e d). Os índices ILEV e ITT previstos pelo modelo, mostraram condições favoráveis para precipitação intensa para toda a região analisada (figura 4.17 e e f). O índice K previsto mostrou condições favoráveis na faixa de precipitação no norte dos Estados de Goiás e Minas Gerais e mostrou, inclusive, um máximo local para a região de máxima precipitação no sul da Bahia, porém o modelo previu também uma faixa de valores de K muito favoráveis no sul de Minas Gerais que não ocorreu (figura 4.17 g). O modelo não conseguiu prever bem os campos de CILEV, CITT e CK (figura 4.17 h-j).

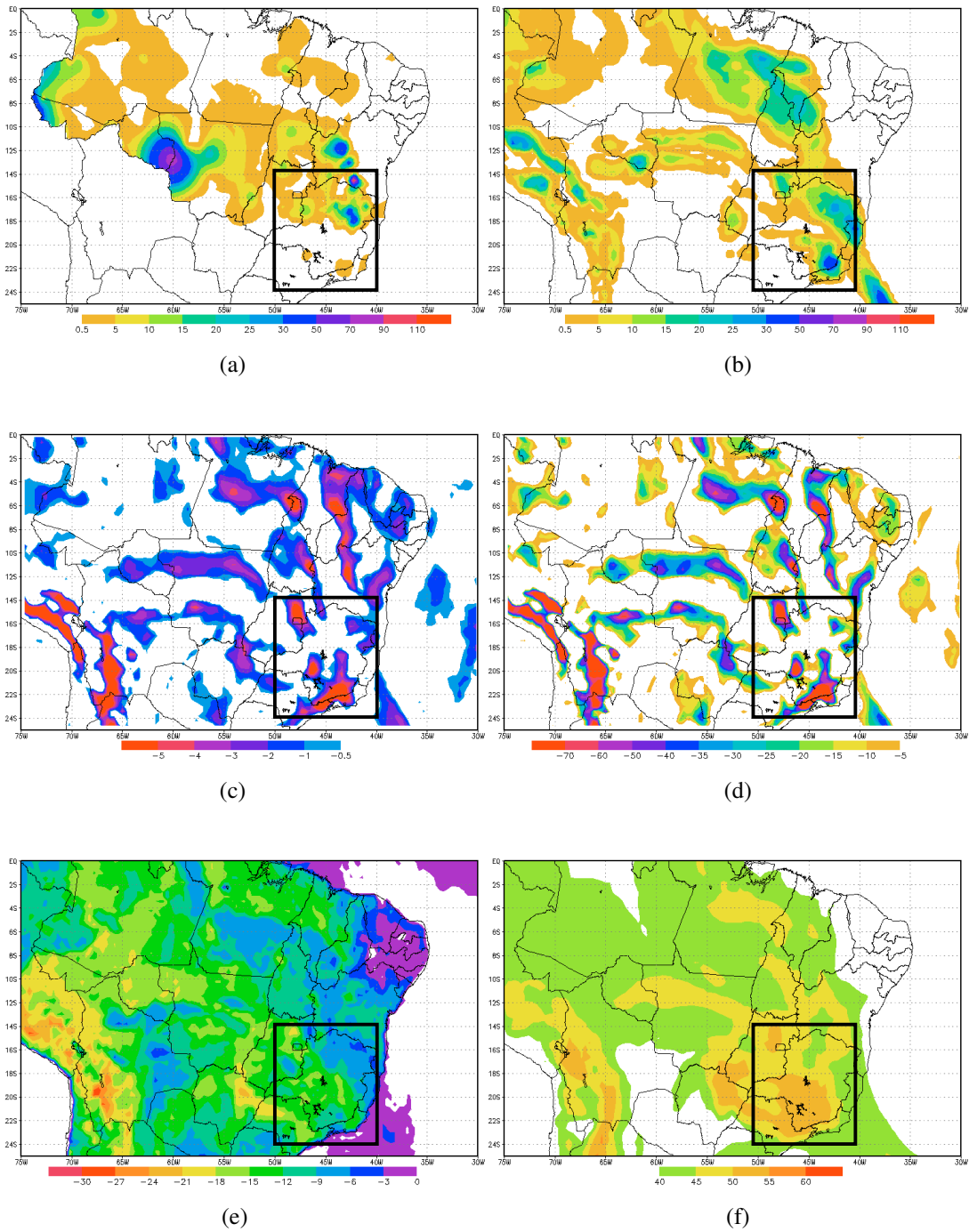


Figura 4.17: Caso 6 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 13/12/2004 às 12Z e 14/12/2004, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 13/12/2004 às 18Z: (c) Divergência de massa ($s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade ($g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}C$); (f) ITT ($^{\circ}C$); (g) K ($^{\circ}C$); (h) CILEV ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$).

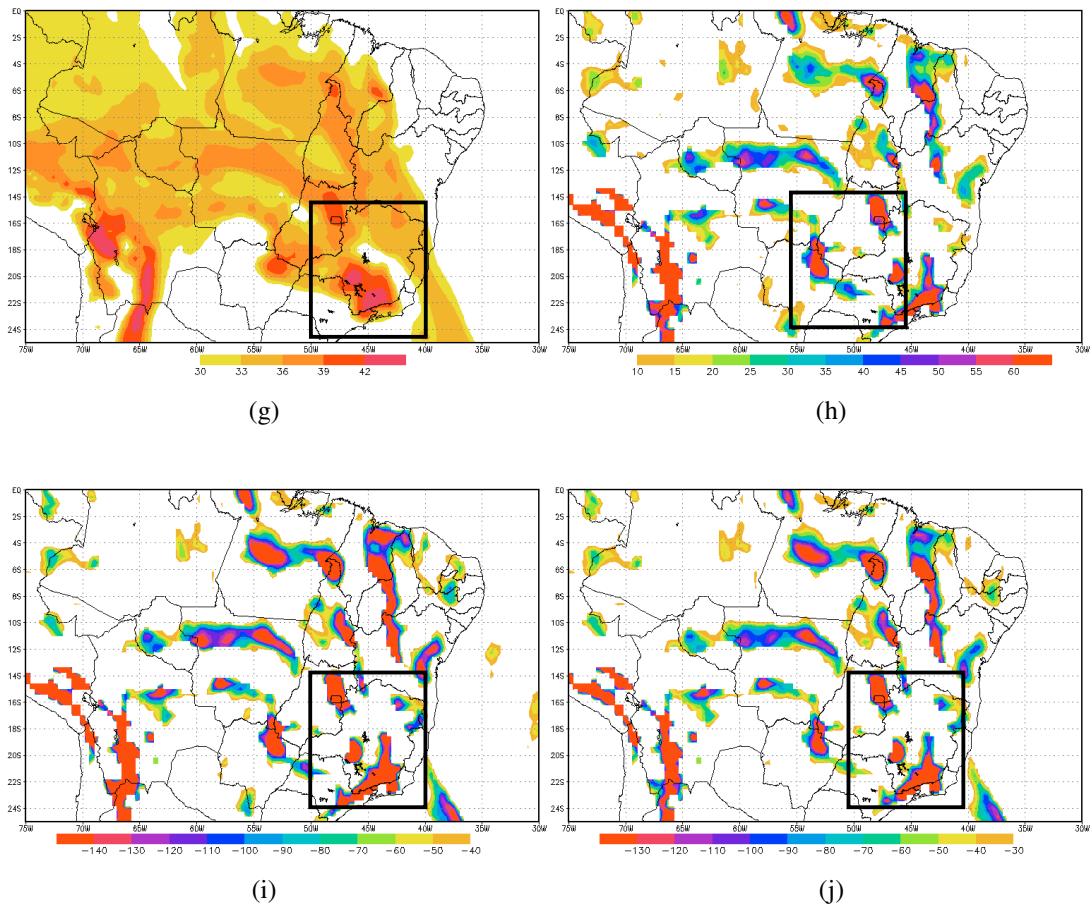


Figura 4.17: Final.

No caso 7 (22/12/2004), o modelo conseguiu prever a faixa de precipitação associada à ZCAS, com exceção do norte dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. O modelo previu a localização de algumas regiões de máxima precipitação, porém não sua intensidade (figura 4.18 a e b). Os campos de divergência de massa e de umidade previstos pelo modelo mostraram convergência forte em algumas regiões onde a precipitação foi significativa, exceto no norte de Minas Gerais e Espírito Santo (figura 4.18 c e d). Os índices ILEV, ITT e K previstos pelo modelo, mostraram condições favoráveis para precipitação intensa para quase toda a região analisada (figura 4.18 e-g). Os índices CILEV, CITT e CK, previstos pelo modelo mostraram valores favoráveis em algumas regiões onde a precipitação foi mais significativa, mas também não previram para a região de maior intensidade de precipitação, na região mais ao norte da divisa entre os Estado de Minas Gerais e do Espírito Santo (figura 4.18 h-j).

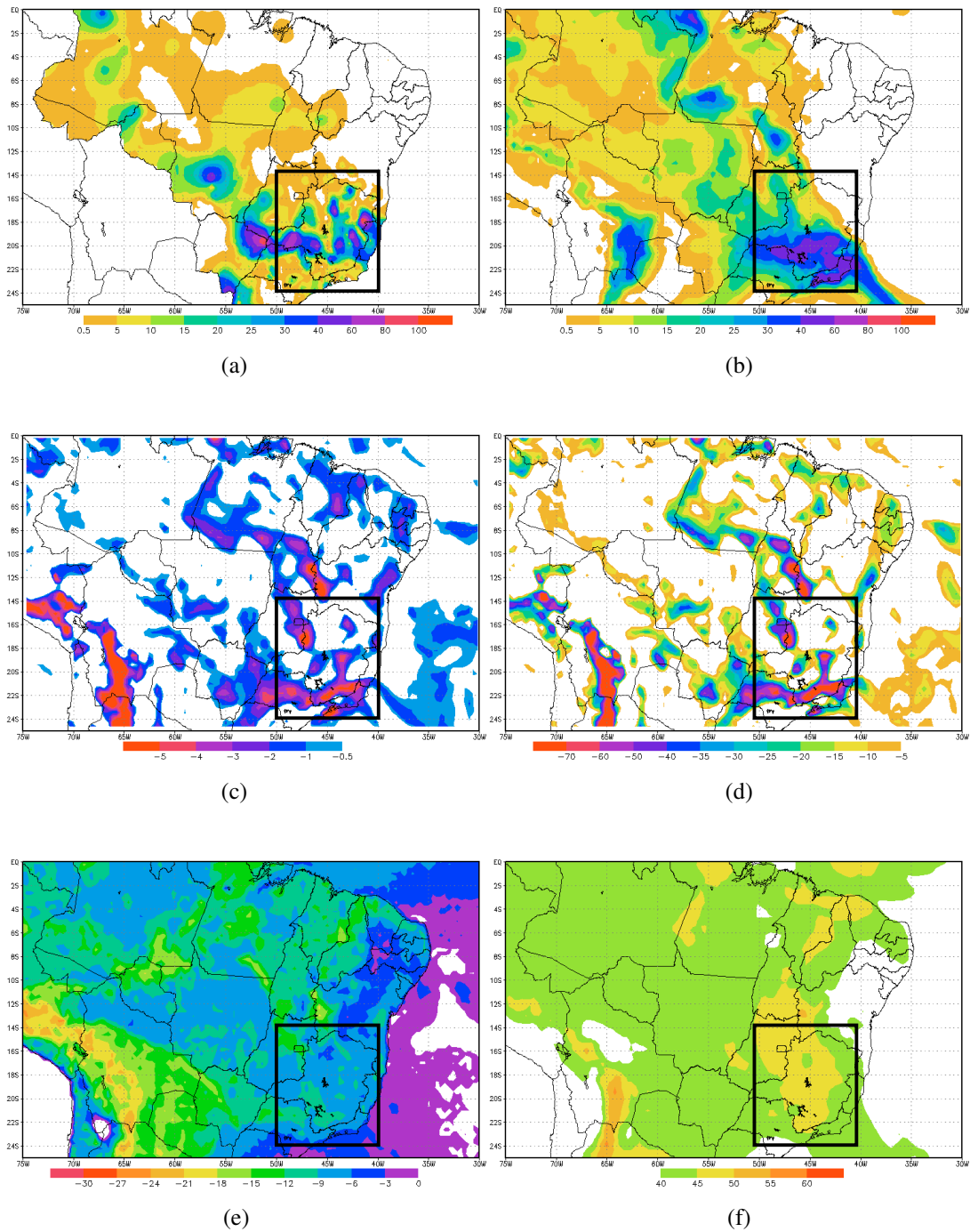


Figura 4.18: Caso 7 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 21/12/2004 às 12Z e 22/12/2004, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 21/12/2004 às 18Z: (c) Divergência de massa ($s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade ($g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}C$); (f) ITT ($^{\circ}C$); (g) K ($^{\circ}C$); (h) CILEV ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$).

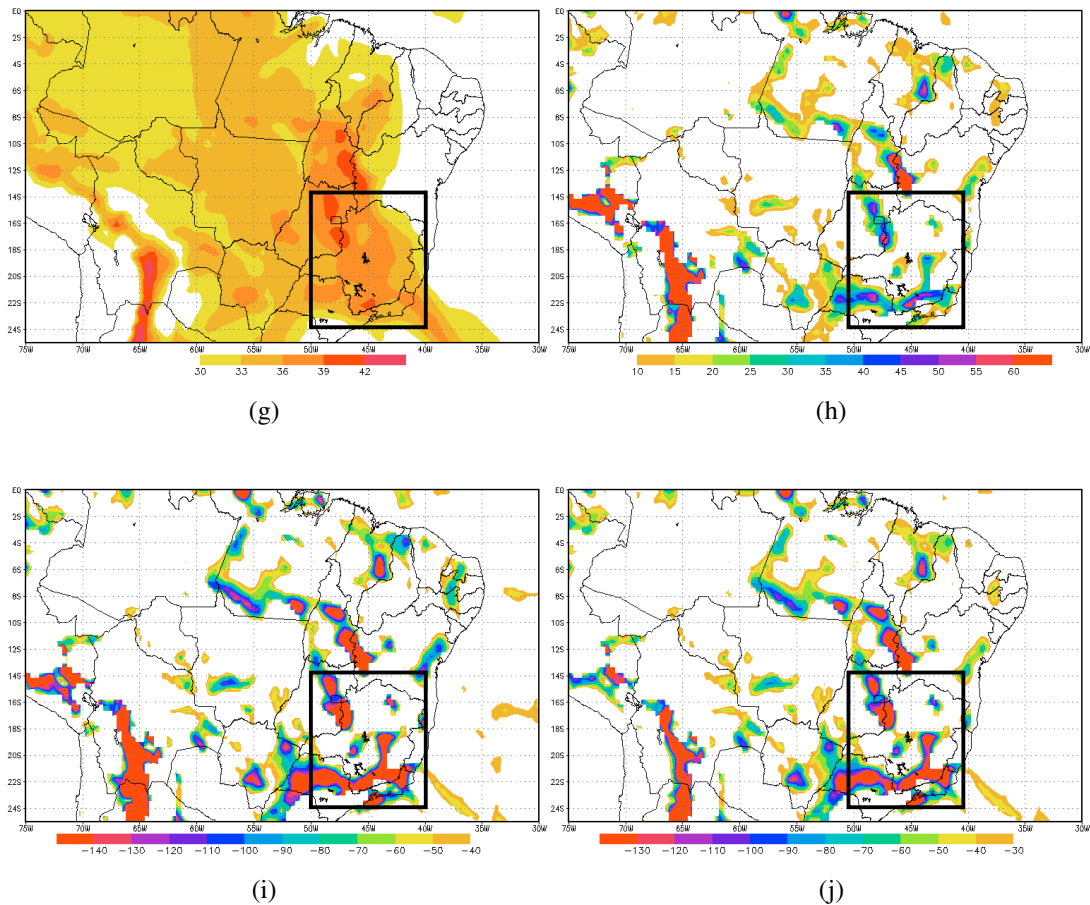


Figura 4.18: Final.

No caso 8 (18/01/2005), o modelo apresentou um bom desempenho na previsão da precipitação na região da ZCAS. O modelo previu a localização de algumas regiões de máxima precipitação, porém não previu exatamente sua intensidade (figura 4.19 a e b). Os campos de divergência de massa e de umidade previstos pelo modelo mostraram uma convergência forte em algumas regiões onde a precipitação foi intensa, porém no sul de Minas Gerais, região onde a precipitação foi mais intensa, o modelo previu os máximos de convergência levemente deslocado para o sul (figura 4.19 c e d). Os índices ILEV e ITT previstos pelo modelo, mostraram condições favoráveis para precipitação intensa para toda a região analisada (figura 4.19 e e f). O índice K previsto pelo modelo mostrou instabilidades para toda região de precipitação inclusive mostrando um centro de máximos valores na região de máxima precipitação, localizada na fronteira entre os Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo (figura 4.19 g). Os campos de CILEV, CITT e CK foram razoavelmente bem previstos pelo modelo (figura 4.19 h-j).

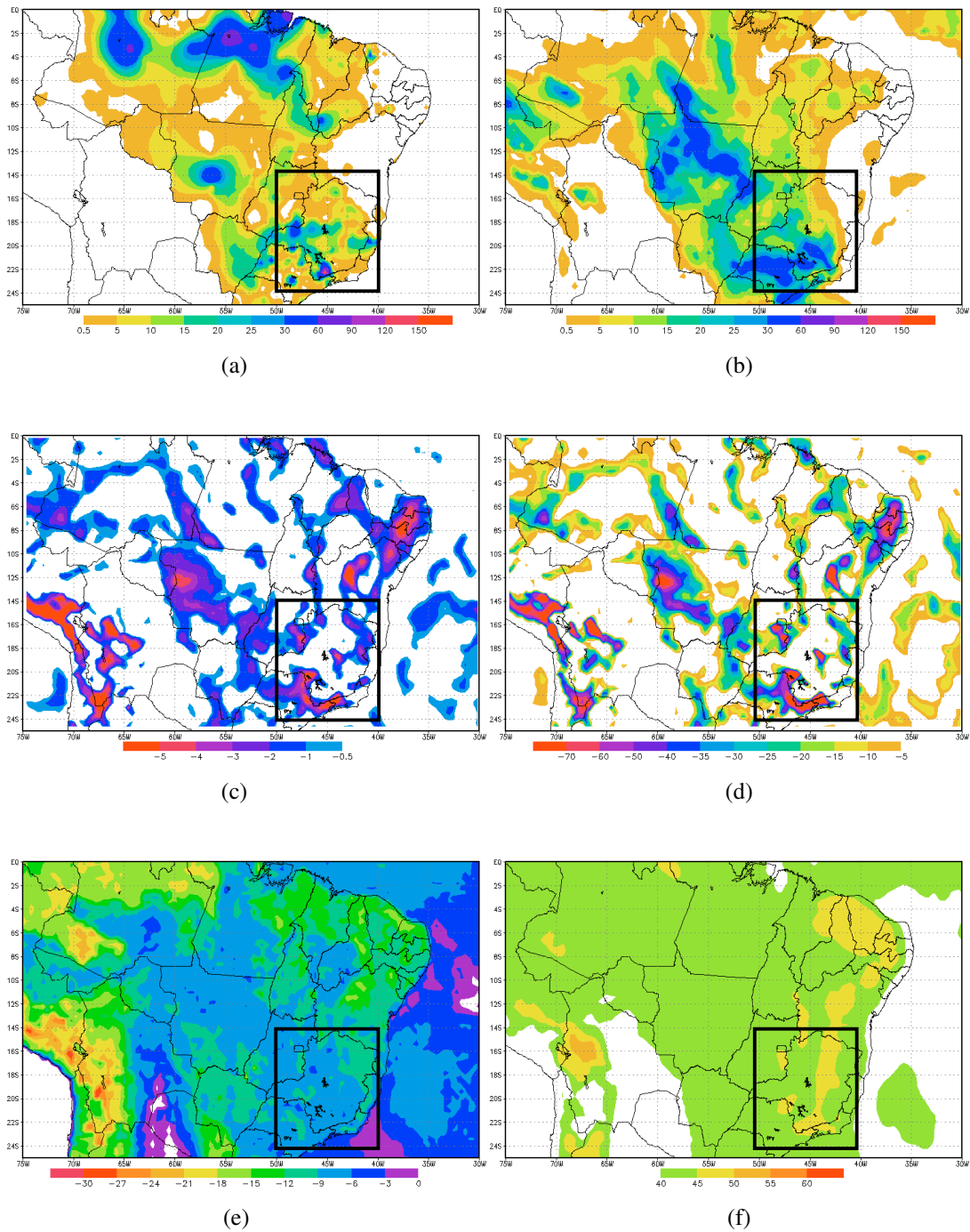


Figura 4.19: Caso 8 – Precipitação (mm) acumulada entre os dias 17/01/2005 às 12Z e 18/01/2005, 12Z: (a) observada (Análise do CPTEC); (b) prevista pelo modelo Eta; Campos previstos pelo modelo Eta para o dia 17/01/2005 às 18Z: (c) Divergência de massa ($s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (d) Divergência de umidade ($g \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1} \cdot 10^5$) em 900hPa; (e) ILEV ($^{\circ}C$); (f) ITT ($^{\circ}C$); (g) K ($^{\circ}C$); (h) CILEV ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (i) CITT ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$); (j) CK ($^{\circ}C \cdot s^{-1}$).

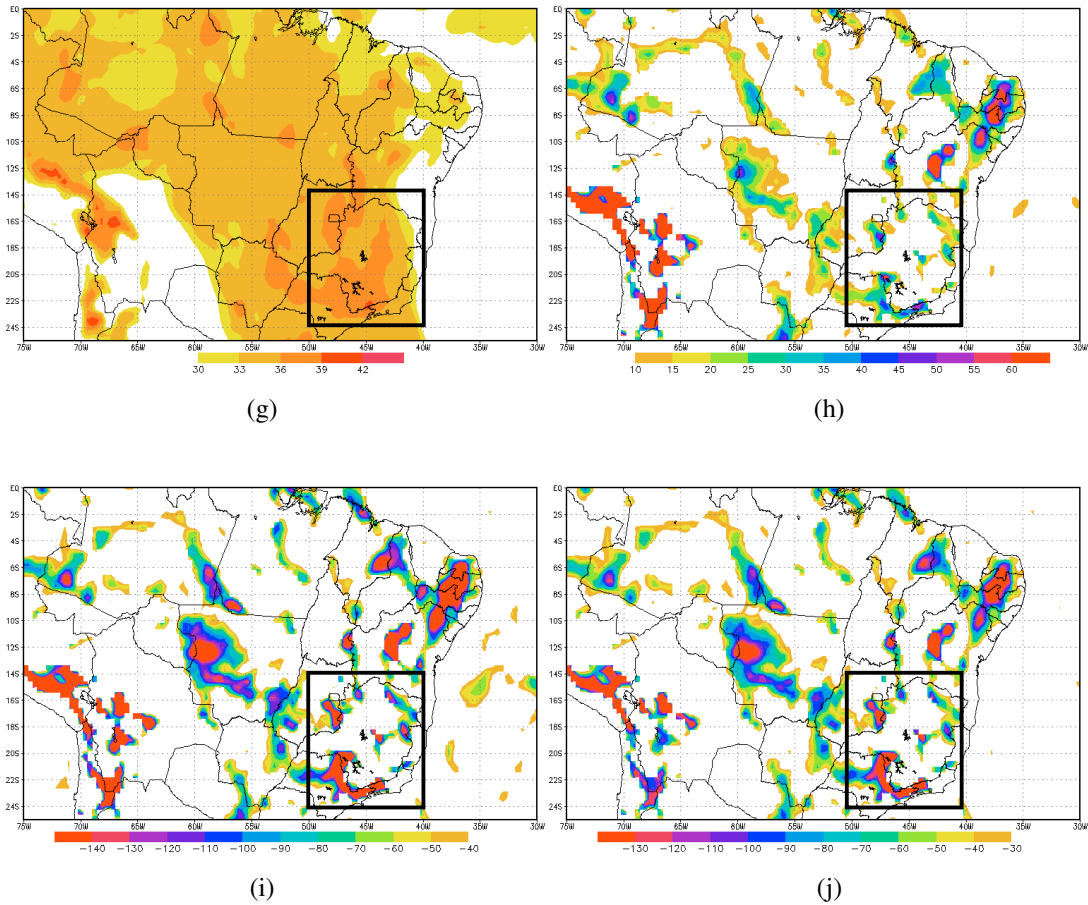


Figura 4.19: Final.

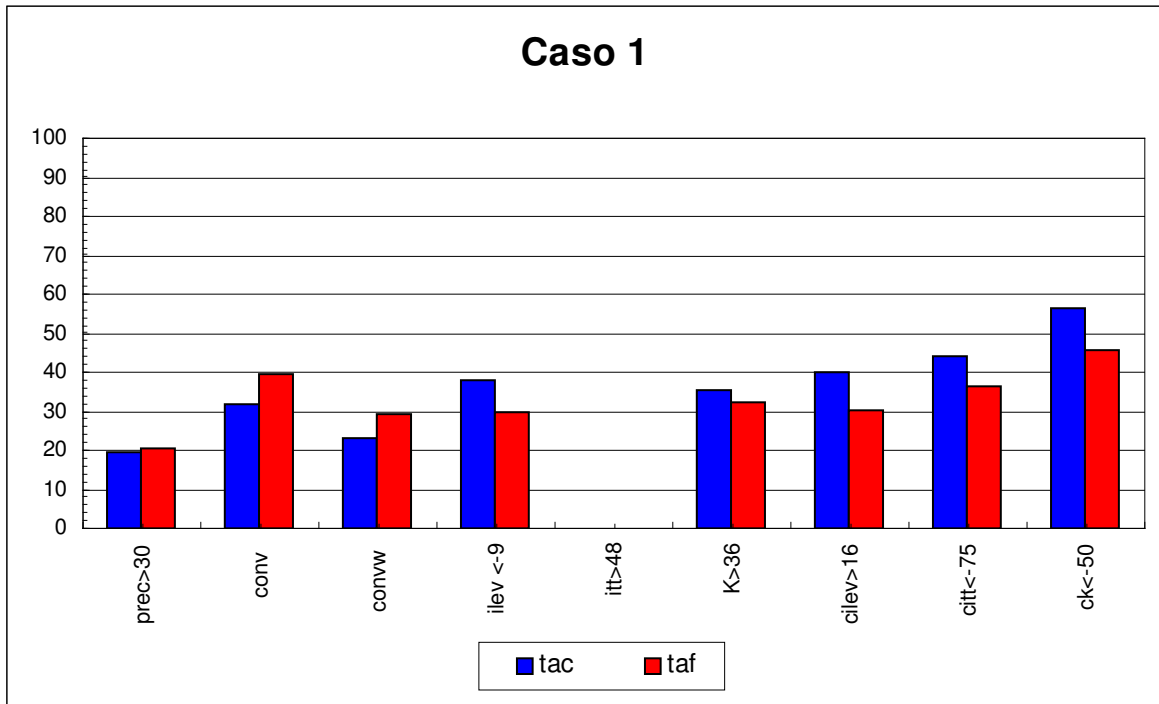
Em resumo, nota-se que nenhum dos campos analisados anteriormente é capaz de prever corretamente a localização dos máximos de precipitação corretamente. Alguns campos, como por exemplo, o ILEV e o ITT indicam erroneamente condições favoráveis à instabilidade em toda a área e em todos os casos estudados, o que os torna inadequados para a previsão. Uma possível explicação para isto é o fato do modelo amenizar os gradientes de umidade e de Θ_e o que diminuiria a instabilidade da atmosfera. Todos os campos associados à convergência (conv, convw, cilev, citt e ck) apresentam padrões semelhantes, uma vez que são controlados por ela. Tais campos parecem ser altamente correlacionados (especialmente) com a precipitação prevista, contudo, não com a observada. O índice K, que com exceção do caso 8, aparentemente também não se mostrou eficiente para a previsão de chuvas intensas.

A dificuldade na avaliação qualitativa do comportamento dos índices de instabilidade anteriormente apresentados, sugere a utilização de técnicas quantitativas que complementem a interpretação dos resultados.

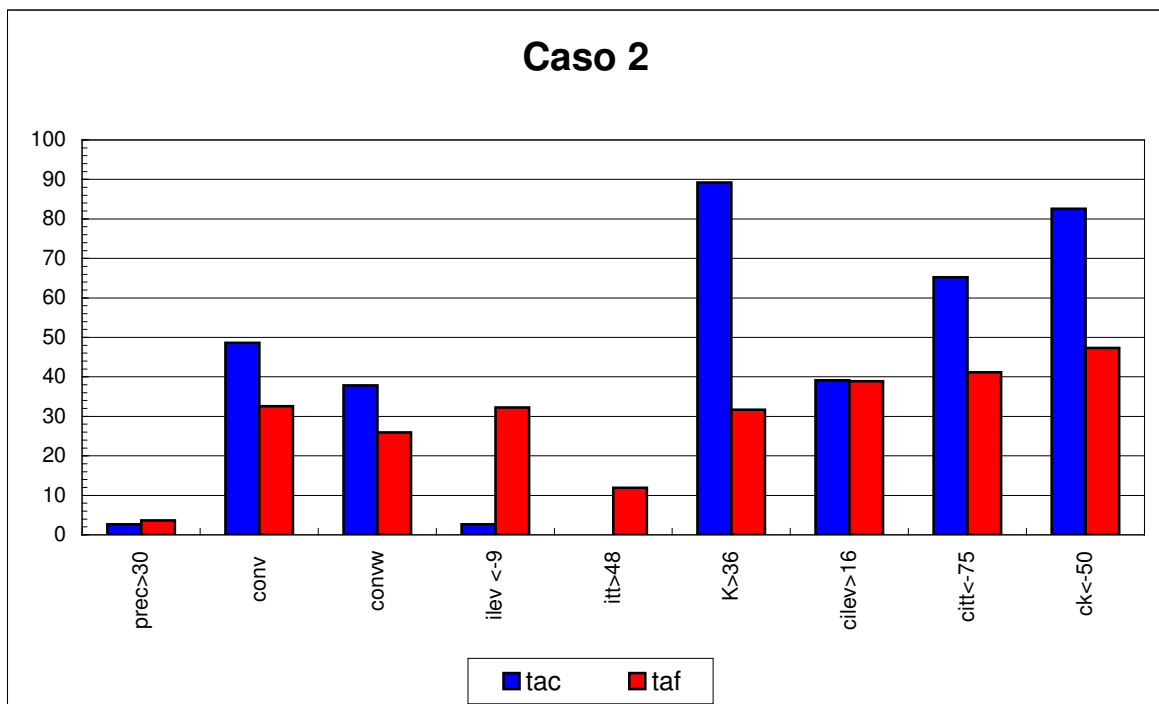
4.2.2 Análise objetiva dos índices de instabilidade previstos pelo modelo Eta

Neste item são apresentadas as taxas de acerto e de alarme falso, definidas respectivamente nas equações 3.11 e 3.12, para a precipitação prevista superior a 30 mm, avaliada com relação à precipitação observada. Para as demais variáveis previstas, a tabela de contingência foi construída confrontando-as com a precipitação observada (superior a 30 mm), Por exemplo, confronta-se o valor previsto de ILEV menor que -9°C com a precipitação observada maior que 30 mm. Caso o modelo tenha previsto ILEV $<-9^{\circ}\text{C}$ em um determinado ponto e a precipitação observada neste mesmo ponto tenha sido superior a 30 mm, significa “sucesso”. Se o modelo não previu ILEV $<-9^{\circ}\text{C}$, mas ocorreu precipitação superior a 30 mm significa “fracasso”. Nos casos em que o modelo prevê ILEV $<-9^{\circ}\text{C}$ e não ocorre precipitação superior a 30 mm denomina-se “alarme falso” e por último, nos casos em que o modelo não prevê ILEV $<-9^{\circ}\text{C}$ e não ocorre precipitação maior do que 30 mm denomina-se “rejeição correta”.

Os gráficos da figura 4.20 apresentam as taxas de acerto e de alarme falso para a precipitação, divergência de massa e de umidade e para os índices de instabilidades ILEV, ITT, K, CILEV, CITT e CK em cada um dos oito casos estudados.



(a)



(b)

Figura 4.20: Taxas de acerto (Tac) e de alarme falso (Taf), em porcentagem (%), para $prec > 0,5$ mm, $prec > 30$ mm, conv_fraca, conv_forte, convw_fraca, convw_forte, $ilev < -3$, $ilev < -6$, $itt > 42$, $itt > 48$, $k > 30$, $K > 36$, $cilev > 10$, $cilev > 16$, $ciltt < -42$, $ciltt < -75$, $ck < -30$ e $ck < -50$: a) caso 1; b) caso 2; c) caso 3; d) caso 4; e) caso 5; f) caso 6; g) caso 7 e h) caso 8.

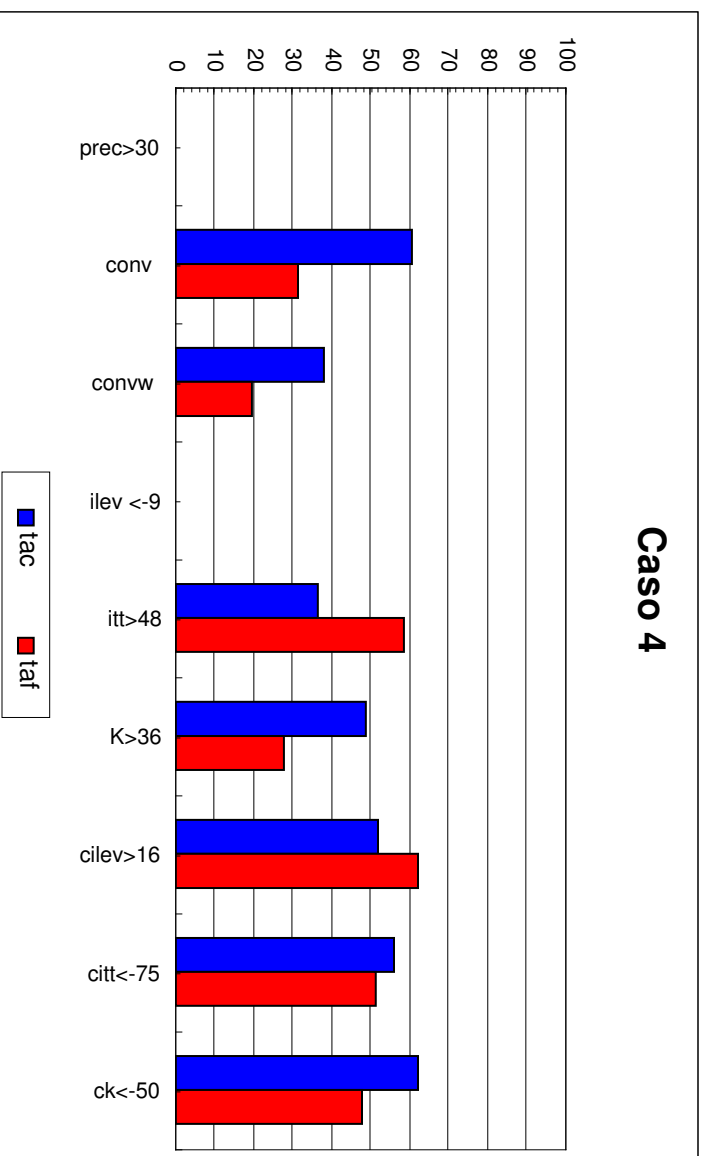
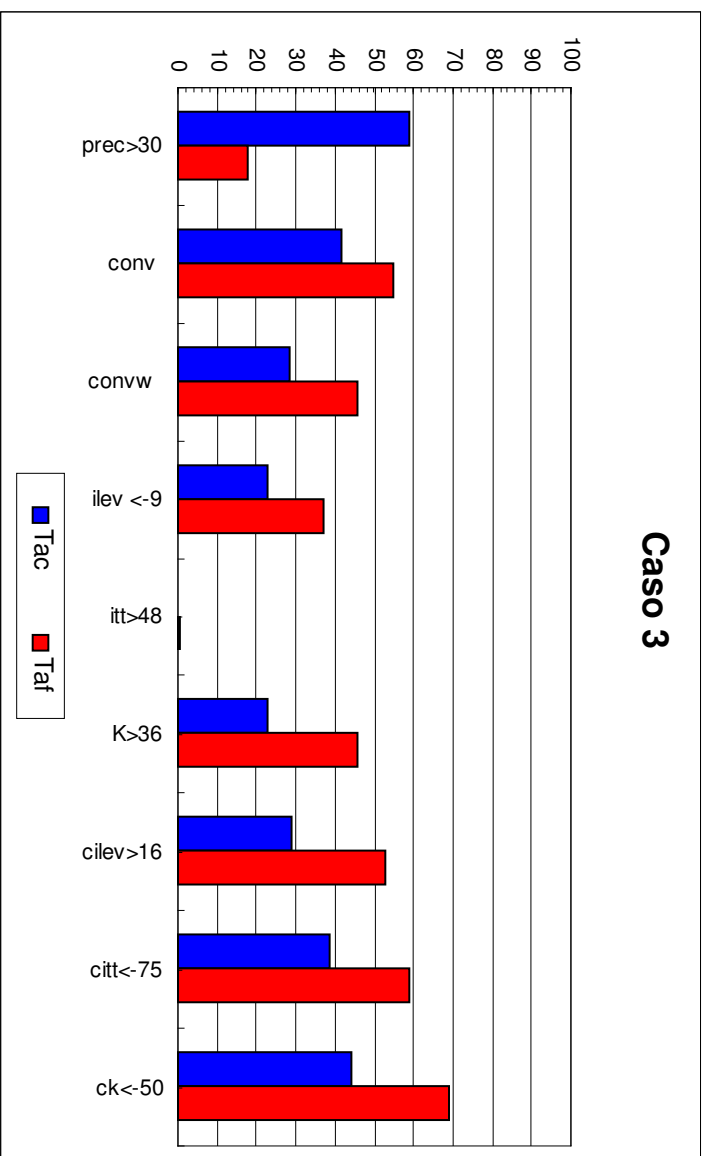


Figura 4.20: continuação.

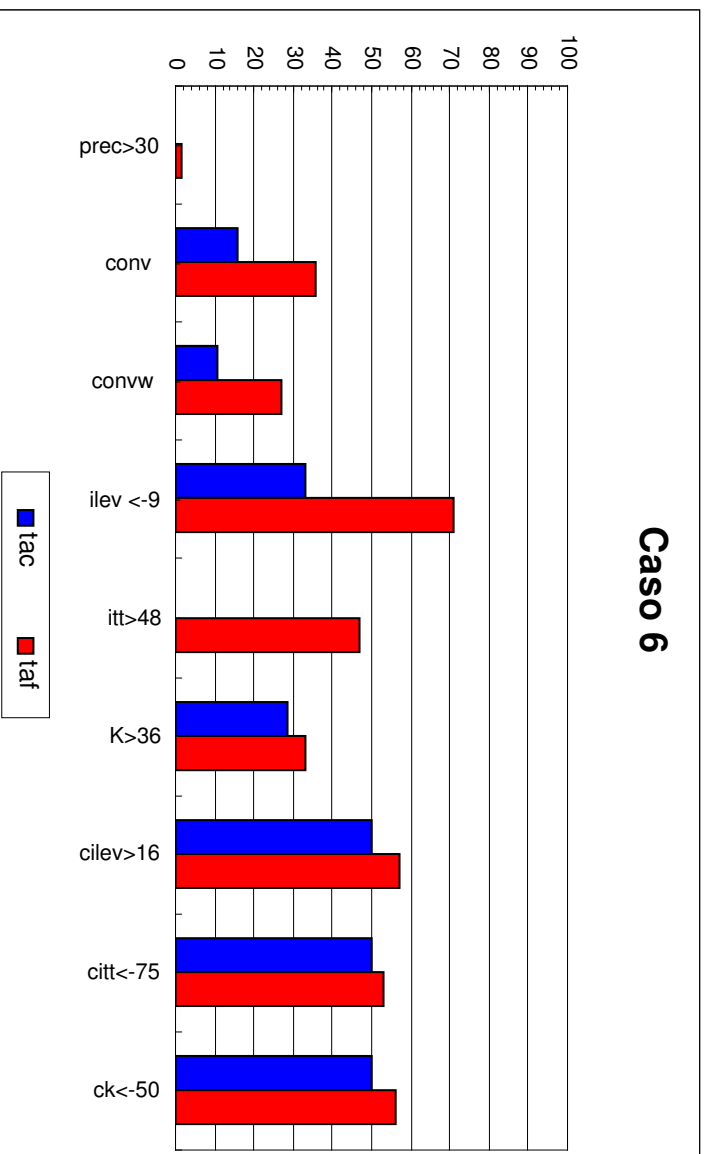
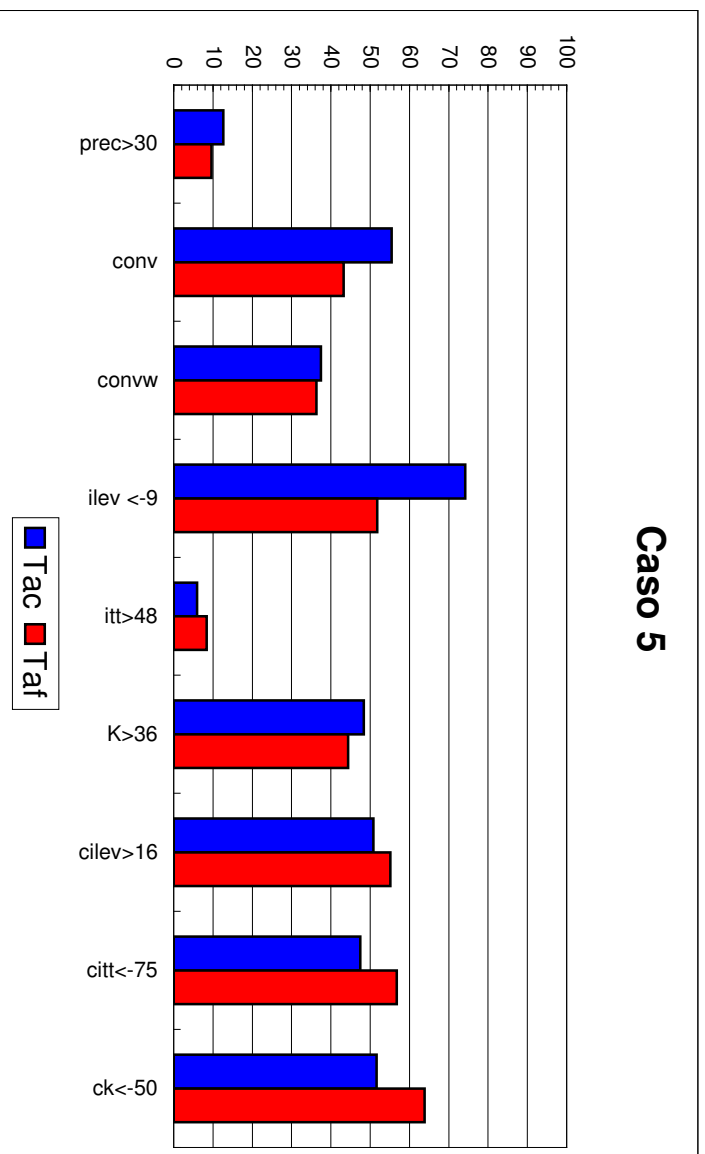
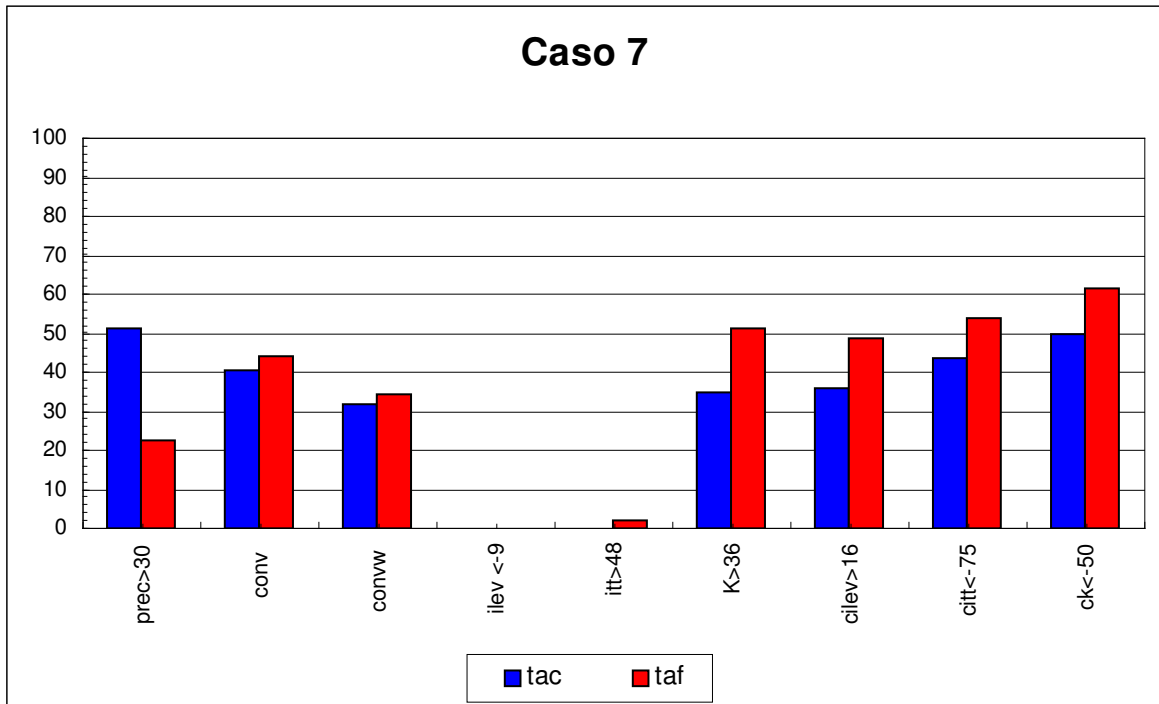
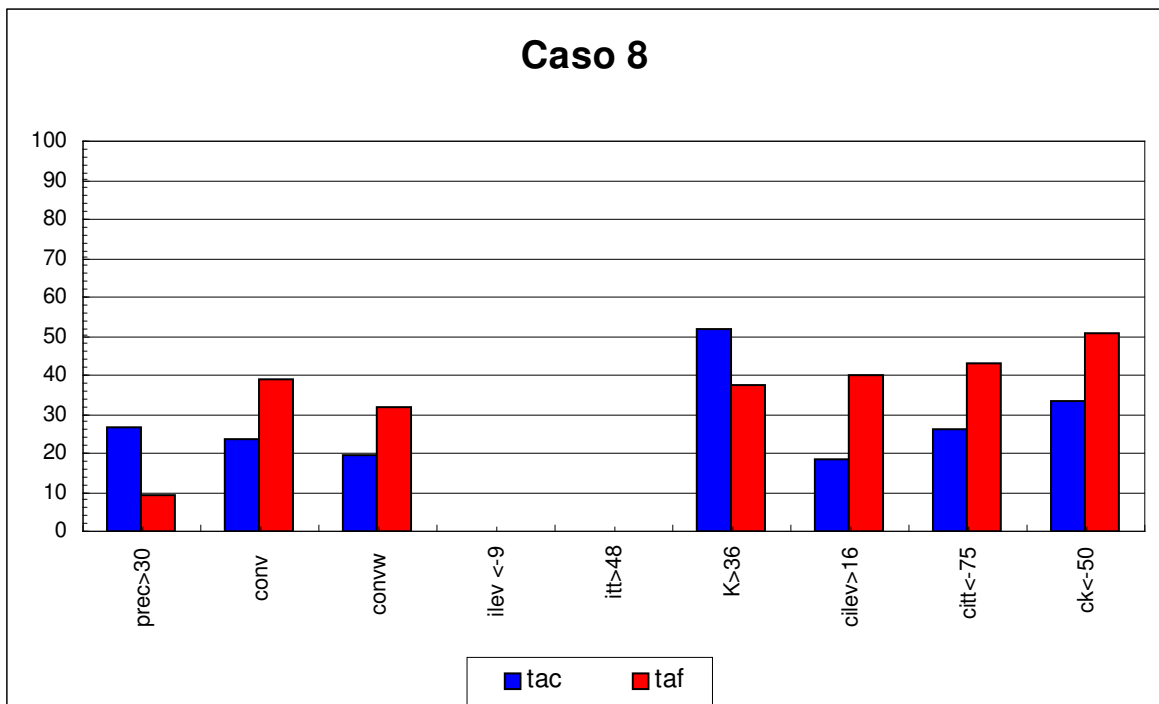


Figura 4.20: continuação.



(g)



(h)

Figura 4.20: Final.

Os resultados comprovam que o modelo apresenta baixa performance para prever precipitação intensa (superior a 30 mm), uma vez que a taxa de acerto é quase sempre inferior a 50%, o que só não ocorreu nos casos 3 e 7 (Caso 3: Tac=59% e

Taf=18% e Caso 7: Tac=51% e Taf=22%). Por outro lado, as taxas de alarme falso, na maioria dos casos, não são muito elevadas (não ultrapassando 22%), o que demonstra que o modelo não apresenta a tendência de prever máximos de precipitação para vários locais e que também é capaz de fazer algumas rejeições corretas.

Os índices conv e convw apresentaram comportamentos semelhantes, mantendo aproximadamente a mesma relação entre Tac e Taf. Na maior parte dos casos foram verificadas baixas taxas de acerto (inferiores a 50%) e, além disso, em geral estas são menores do que as taxas de alarme falso, com exceção dos casos 4 e 5 para o índice conv, onde respectivamente Tac=61% e Taf=31%; e Tac=54% e Taf=42%. No caso de convw, os resultados são ainda piores, com Tac inferior a 50% em todos os oito casos estudados. Isto de certa forma descarta a possibilidade de utilização de ambos os índices para previsão de precipitação intensa (>30 mm).

Os índices ILEV e ITT apresentaram, em geral, taxas de acerto extremamente baixas, chegando a zero ou próximo de zero nos casos 2, 4, 7 e 8 (para ILEV) e nos casos 1, 2, 3, 5, 6, 7 e 8 (para ITT). Isto demonstra que tais indicadores não representam ferramentas adequadas para prever chuvas intensas.

O índice K apresentou na maior parte dos casos taxas de acerto inferiores a 50%. Contudo, para os casos 2 e 8 as taxas de acerto e de alarme falso foram boas: Tac=90% e Taf=31% (caso 2) e Tac=52% e Taf=38% (caso 8).

Os índices CILEV, CITT e CK, apresentam padrões semelhantes entre si, no que concerne à relação entre as taxas de acerto e de alarme falso. Além disso, tais taxas são maiores para CITT do que para CILEV e também maiores para CK do que para CILEV. Desta forma, como a taxa de alarme falso também aumenta no mesmo sentido, o índice CK que apresenta as maiores taxas de acerto (em relação aos 3 índices), também apresenta a maior taxa de alarme de falso. Nos casos estudados CK só é maior do que 50% e ao mesmo tempo superior à taxa de alarme falso nos casos 1, 2 e 4. Da mesma forma que os índices anteriores, a utilização de tais índices para prever chuvas intensas também não se mostrou satisfatório.

Comparando-se os casos da Figura 4.20, nota-se que na maior parte deles o modelo faz uma previsão ruim para precipitação intensa (>30 mm), e também apresenta baixa performance para indicar tal precipitação a partir da previsão dos índices de instabilidade. O caso 2 parece ser o único exemplo onde o modelo, apesar de não ter conseguido prever os máximos de precipitação, apresentou taxas de acerto elevadas e superiores às taxas de alarme falso para alguns índices (K>36°C, CITT e CK). No

entanto, nem mesmo para este caso, a análise conjunta de tais índices e de seus limiares seria útil para auxiliar na previsão da localização dos máximos de precipitação.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Avaliações comparativas da performance do modelo regional Eta foram elaboradas para 8 eventos de chuvas intensas ocorridos durante períodos de ZCAS, entre os anos de 2002 e 2005. O objetivo do trabalho foi identificar as limitações do modelo para prever eventos de chuvas intensas, considerando-se as escalas sinótica e regional. Índices de instabilidade já existentes foram utilizados com a expectativa de que suas previsões pudessem auxiliar indiretamente na previsão de máximos de precipitação. Além disso outros índices foram propostos e testados com a mesma finalidade.

Os resultados indicaram que em todos os casos estudados o modelo apresentou um desempenho razoável na previsão da localização da faixa de precipitação associada à ZCAS, com apenas alguns desvios deste cinturão para sul ou para norte. Por outro lado, como esperado, em todos os casos o modelo não foi capaz de prever os máximos isolados de precipitação embebidos na região da ZCAS. O modelo também apresentou um bom desempenho na previsão dos sistemas tipicamente presentes nos eventos de ZCAS, tais como: vórtices ciclônicos nos baixos níveis, acompanhados por convergência de umidade e confluência dos ventos sobre o continente; máximo de umidade específica sobre o continente orientado na direção NW-SE; forte gradiente meridional de temperatura potencial equivalente ao sul da ZCAS e uma crista na região da mesma e presença da Alta da Bolívia e do cavado do Nordeste nos altos níveis. A faixa de máxima umidade específica apresentou-se mais ampla (menor gradiente). A magnitude da faixa de umidade específica e a crista de Θ_e na região da ZCAS apresentaram-se superestimadas pelo modelo em todos os casos.

Na tentativa de elevar a qualidade da previsão de chuvas intensas, que em geral ocorrem associadas aos eventos de ZCAS, foram avaliados também alguns índices de instabilidade já existentes (conv, convw, ilev, itt, k e ck) e outros dois (cilev e citt) propostos neste trabalho. A avaliação destes índices de instabilidade foi realizada, para os oito casos estudados, através de uma análise qualitativa e através da construção de tabelas de contingência, confrontando-se tais índices com a precipitação observada. Os resultados desta etapa, mostraram que os índices selecionados e seus limiares não apresentaram uma boa performance para os casos estudados, indicando que não

poderiam ser utilizados para prever máximos de precipitação ocorridos durante eventos de ZCAS. Nota-se também que os índices combinados com a convergência (ck, cilev e citt) foram controlados pelos padrões de convergência previstos pelo modelo. Uma possível explicação para tais resultados é o fato de que o fenômeno ZCAS, devido à sua extensão e seu caráter estacionário, acaba por reduzir os gradientes térmicos que poderiam indicar maiores instabilidades. Outra possibilidade seria a baixa resolução do modelo em detectar condições mais intensas de instabilidade, e portanto, alguns limiares adotados para os índices podem estar muito altos e/ou inadequados para a resolução do modelo utilizada ou para a região estudada.

A previsibilidade de fenômenos de chuvas intensas tem sido alvo de grandes pesquisas nos últimos tempos. Ainda há muitos estudos a serem feitos no âmbito de índices de instabilidade de forma a criar ou adaptar os índices existentes à geografia e aos tipos de fenômenos existentes no Brasil e na América do Sul.

Recomenda-se a continuação deste trabalho, testando novos índices de instabilidade para os estes e outros eventos de ZCAS.

Outros estudos relacionando a previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala de maior resolução devem ser feitos, uma vez que estes modelos são as ferramentas mais acessíveis e utilizadas pelos previsores no Brasil.

Maiores investimentos em equipamentos como radiossondas, radares e etc. devem ser feitos de modo a dar melhores condições para a previsão destes eventos intensos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIR FORCE WEATHER AGENCY (AFWA), 1998, Meteorological Techniques. **Technical Notes**.

BENETI, C. A.; SILVA DIAS, M. A., 1986, Análise da performance de índices de instabilidade como previsores de tempestades na região de São Paulo. In: **Anais do IV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília/DF, Soc. Bras. Meteorologia, 2**, pp 65-70.

BLANCHARD, D. O., 1998, Assessing the vertical distribution of convective available potential energy. **Wea. Forecasting, 13**, pp 870-877.

BOLTON, D., 1980, The Computation of Equivalent Potential Temperature. **Monthly Weather Review, 108**, pp 1046-1053.

FIGUEROA, S. N., 1990, **Simulações da Circulação Atmosférica no verão sobre a América do Sul com a presença da Cordilheira dos Andes usando coordenadas eta**. INPE-5269-TDI/445. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, pp 90. São José dos Campos.

FIGUEROA, S. N.; SILVA DIAS, P. L., 1990, Influência dos Andes no escoamento associado à forçantes térmicas no continente sulamericano. In: **Anais do VI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Salvador/BA, Soc. Bras. Meteorologia, 2**, pp 498-502.

FIGUEROA, S. N., 1997, **Estudo dos sistemas de circulação de verão sobre a América do Sul e suas simulações com modelos numéricos**. INPE-7121-TDI/672. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos.

FOGACCIA, C. V. C; PEREIRA FILHO, A. J., 2000, Turbulência e cisalhamento do vento na área do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. In: **Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro/RJ, Soc. Bras. Meteorologia**, em mídia digital.

GALWAY, J. G., 1956, The lifted index as a predictor of latent instability. **Bull. Amer. Meteor. Sc.**, **43**, pp 528-529.

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

GONZALES DA SILVA, R., 2004, **Identificação e Análise Intrasazonal de Eventos ZCAS (Verão 2001/2002)**. Monografia (Bacharelado em Meteorologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro.

HENRY, W., 1987, The Skew-T, Log P Diagram. **National Weather Service Training Center**, pp 68, USA.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GADIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JONAWIAK, J.; MO, K.C.; ROPELEWISK, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLD, R.; JENNE, R.; JOSEPH, D., 1996, The NCEP/NCAR 40- Year Reanalysis Project. **Bulletin of the Meteorological Society**, **77**, pp 437-471.

KALNAY, E.; MO, K. C.; PEAGLE, J., 1986, Large-amplitude, short-scale stationary Rossby waves in the Southern Hemisphere: observations on mechanistic experiments to determine their origin. **Journal of the Atmospheric Sciences**, **43(3)**, pp 252-275.

KODAMA, Y., 1992, Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zones, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. **Journal of Meteorological Society of Japan**, **70**, **n.4**, pp 813-835.

KODAMA, Y., 1993, Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zones, the SPCZ, and the SACZ) Part II:

Conditions of the Circulation for Generating the STCZs. **Journal of Meteorological Society of Japan**, **71**, n.5, pp 581-610.

KOUSKY, V. E., 1988, Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American Sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, **3**, pp 217-231.

LIMA, D. R. O., 2005. **Diagnóstico de chuvas e previsão meteorológica para a bacia hidrográfica do rio manso**. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MILLER, R. C., 1972. Notes on analysis and sever storm forecasting precedures of the Air Force Global Wheather Central. **Tech. Report 200, Air Weather Service, United States Air Force**, pp 190.

NASCIMENTO, E. DE L., 2005, Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no Brasil? **Revista Brasileira de Meteorologia**, **20**, n.1, pp 121-140.

NOBRE, C., 1988, Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: a importância do Oceano Atlântico. **Climanálise**, **3**, n.4, pp 30-35.

QUADRO, M. F. L., 1994, **Estudos de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. São José dos Campos. INPE-6341-TDI/593. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, pp 94. São José dos Campos.

SATYAMURTI, P.; RAO, V. B., 1988, Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Climanálise**, **3**, pp 31-35.

SAUCIER, W. J., 1969, Princípios de Análise Meteorológica. **Ao Livro Técnico S.A.**

SWETS, J. A., 1973, The relative operating characteristic in psychology. **Science**, **182**, pp 990-1000.

WALLACE, J. M. E HOBBS, P.V., 1977, Atmospheric Science – An Introduction Survey. **Academic Press.**

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO) AND FEDERAL HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE, 1998, **Scientific Documenttation of Eta Model.**

O Modelo Regional Eta

A previsão numérica do tempo em mesoescala é uma componente importante no suporte a prognósticos meteorológicos regionais (Nascimento, 2005) uma vez que é uma ferramenta operacional de fácil acesso e, portanto, bastante utilizada pelos previsores.

Neste trabalho foi utilizado o modelo Eta, sendo este um modelo de mesoescala, em ponto de grade, de equações primitivas. A versão do modelo Eta que roda operacionalmente no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) é hidrostático e cobre a maior parte da América do Sul e oceanos adjacentes. A condição inicial é proveniente da análise do National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e as condições de contorno lateral são provenientes das previsões do modelo global do CPTEC e atualizadas a cada 6 horas. O prazo de integração é de 72 horas. O modelo Eta utiliza métodos de diferenças finitas aplicado em seu sistema de equações tanto no espaço, quanto no tempo.

Na horizontal, a discretização do domínio é realizada pela grade E de Arakawa esquematizada na figura 1. Os pontos denotados por h carregam pressão em superfície, temperatura, umidade específica, água de nuvem, velocidade vertical, energia cinética turbulenta bem como substâncias passivas. Os pontos v carregam as componentes u e v do vento horizontal. Dois sistemas de coordenadas são mostrados na figura, o principal (x,y) e o auxiliar (x',y') .

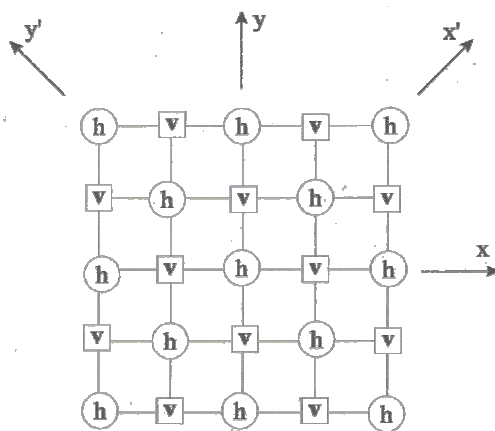


Figura A1: Grade horizontal E de Arakawa.

Na ordem de obter uma maior eficiência computacional, tem sido usado um sistema de coordenadas latitude-longitude transformada, na qual é obtida de forma a situar a intercessão do equador com o mediano zero no centro do domínio do modelo. Este sistema transformado providencia grades horizontais mais uniformemente espaçadas pela redução da convergência dos meridianos e ajuste do passo de tempo na integração do modelo.

Na vertical, o modelo utiliza um sistema de coordenadas desenvolvido por Mesinger (1984) e Mesinger et al. (1988) a qual é definida por:

$$\eta = \left(\frac{p - p_T}{p_{sfc} - p_T} \right) \eta_{SRF}$$

Onde

$$\eta_{SRF} = \frac{p_{ref}(z_{sfc}) - p_T}{p_{ref}(0) - p_T}$$

Onde p_T é a pressão no topo do domínio do modelo, p_{sfc} e z_{sfc} são pressões e alturas da fronteira inferior do modelo, respectivamente. E p_{ref} é a pressão de referência que é função da distância acima do nível do mar. As elevações na superfície tomar somente valores discretos uma vez que as montanhas são criadas em caixas de grade tridimensionais. Na grade utilizada pelo modelo, a temperatura (T), a umidade específica (q) e as componentes do vento horizontal (u,v) são localizadas no meio das camadas verticais, enquanto a velocidade vertical (ω) e o geopotencial (Φ) são localizadas nas interfaces das camadas.. Os pontos de ventos são situados sobre o lado vertical das caixas da montanha. A figura 2 mostra um esquema da coordenada de montanha do Eta, bem como as distribuições das variáveis na vertical:

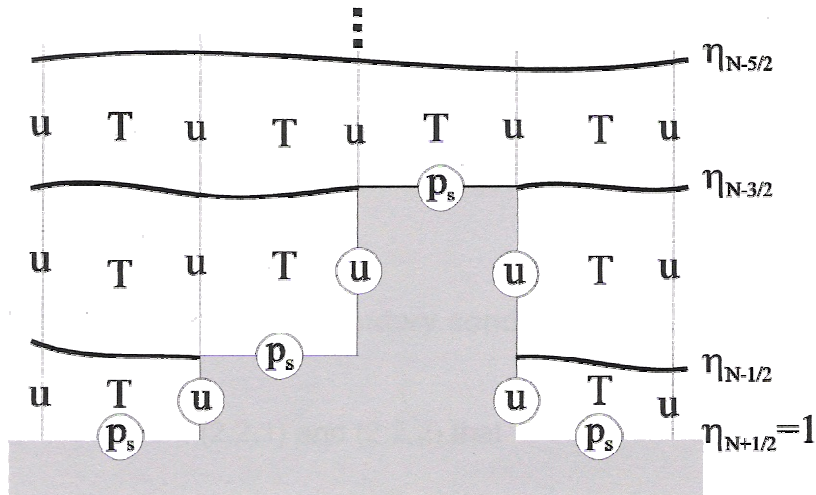


Figura A2: Sistema de coordenada vertical do Eta e distribuição das variáveis do modelo na vertical.

O sistema de coordenada Eta é proposto como uma resposta aos problemas relacionados à coordenada sigma quando aplicada às áreas montanhosas. Ao contrário das superfícies sigmas, as superfícies constantes da coordenada Eta são quase horizontais tanto sobre superfícies planas quanto sobre cadeias montanhosas.

Na dinâmica do modelo Eta é utilizado:

- i) Esquema forward-backward para ondas de gravidade inerciais descrito por Janjié (1979): a técnica de correção apresentada neste esquema controla eficientemente o problema da separação das soluções da onda de gravidade na grade E;
- ii) Esquema de advecção horizontal desenvolvida por Janjié (1984): conserva a vorticidade, energia rotacional e a enstrofia no domínio com condições limites cíclicas;
- iii) Solução proposta por Mesinger et al. (1988) para o problema de limites internos entre a atmosfera livre os elementos de montanha;
- iv) A diferenciação no tempo (time-differencing) é executada seguindo Janjié (1979) e Janjié et al. (1996):
 - i. O menor ajuste dos passos de tempo é seguido pela difusão horizontal;

- ii. Após cada dois ajustes de passos, um passo de advecção é executado, a qual, por sua vez, é seguida pela precipitação de grande escala;
- iii. Todo segundo passo de advecção é, em adição, seguido pela maior parte da ‘física’ restante, consistindo na troca de turbulência, precipitação convectiva e processos de superfície;
- iv. A radiação é chamada com intervalos ainda menos freqüentes, mas suas contribuições proporcionais às mudanças de temperaturas são adicionadas em todo ajuste de passo;

Um detalhado pacote físico é desenvolvido pelo modelo Eta a qual contém parametrizações dos seguintes processos: a) processos de superfície; b) mistura turbulenta na vertical; c) convecção em cúmulos; d) condensação de grande escala; e) difusão lateral e f) radiação.

Os processos de superfície do modelo seguem três processos de parametrização:

- i) Esquema de processos de superfície desenvolvidos por Janjié (1990);
- ii) Esquema de parametrização terra-ar (LAPS) da Universidade de Novi Sad e
- iii) Esquema da Universidade do Estado de Oregon (OSU);

A parametrização de turbulência entre as camadas do modelo no interior da camada limite (exceto na camada de superfície) e na atmosfera livre é feita através de Mellor-Yamada nível 2.5 com modificações feitas por Janjié (1990, 1994 e 1996). Sobre superfícies de água, as funções de estabilidade utilizadas na camada de superfície são consistentes com o modelo de Mellor-Yamada nível 2.0 (Lobocki 1993). Sobre a terra, as funções de Paulson (1970) são usadas. Os fluxos de superfície são determinados através da teoria da similaridade de Monin-Obukhov.

A parametrização de cúmulos do modelo segue o método de Betts (1986), Betts e Miller (1986) e Janjié (1990, 1994). Segundo Betts, a convecção se comporta como um relaxamento da atmosfera perturbada em direção ao estado caracterizado por alguns perfis de referência de temperatura e umidade. Segundo Janjié, este esquema pode ser melhorado pela firme imposição das restrições termodinâmicas concernindo mudanças na entropia e, ao mesmo tempo, permitir variações nos perfis de referência.

A precipitação em grande escala ocorre quando a umidade relativa, para toda caixa da grade, é maior que algum valor prescrito. Este valor é menor que 100% e presumivelmente mais próximo de 100% com o aumento da resolução. O excesso de umidade sobre este limiar é condensado e esta condensação então é adicionada à caixa abaixo. Se esta não já não estiver saturada, a água condensada é evaporada até a caixa alcançar o limiar prescrito. A água restante é passada então para a caixa abaixo repetindo o processo até a chegada ao solo.

O modelo Eta aplica o esquema de difusão lateral de segunda ou quarta ordem (Janjic, 1990). E a parametrização da radiação está incluída no LAPS.

ANEXO II

Tabelas de contingência

- Caso 1 (12/12/2002)

PRECIPITAÇÃO INTENSA		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	48	199
Não Ocorrido	274	1067
	Tac	0,194332
	Taf	0,2043251

CONVERGÊNCIA DE MASSA		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	74	159
Não Ocorrido	492	755
	Tac	0,3175966
	Taf	0,3945469

CONVERGÊNCIA DE UMIDADE		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	54	179
Não Ocorrido	363	884
	Tac	0,2317597
	Taf	0,2910986

ILEV <-9		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	94	153
Não Ocorrido	398	943
Tac	0,3806	
Taf	0,2968	

ITT >48		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	0	247
Não Ocorrido	1	1340
Tac	0	
Taf	0,00075	

K >36		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	88	159
Não Ocorrido	430	911
Tac	0,3563	
Taf	0,3207	

CILEV >16		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	45	68
Não Ocorrido	245	567
Tac	0,3982	
Taf	0,3017	

CITT <-75		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	50	63
Não Ocorrido	295	517
Tac	0,44248	
Taf	0,3633	

CK <-50		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	64	49
Não Ocorrido	371	441
Tac	0,5664	
Taf	0,4569	

- Caso 2 (01/01/2003)

PRECIPITAÇÃO INTENSA		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	1	36
Não Ocorrido	57	1494
Tac	0,027027	
Taf	0,0367505	

CONVERGÊNCIA DE MASSA		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	18	19
Não Ocorrido	470	973
Tac	0,4864865	
Taf	0,3257103	

CONVERGÊNCIA DE UMIDADE		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	14	23
Não Ocorrido	374	1069
Tac	0,3783784	
Taf	0,2591823	

ILEV <-9		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	1	36
Não Ocorrido	500	1051
Tac	0,027	
Taf	0,3224	

ITT >48		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	0	37
Não Ocorrido	185	1366
Tac	0	
Taf	0,11928	

K >36		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	33	4
Não Ocorrido	492	1059
Tac	0,8919	
Taf	0,3172	

CILEV >16		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	9	14
Não Ocorrido	338	531
Tac		0,3913
Taf		0,389

CITT <-75		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	15	8
Não Ocorrido	358	511
Tac		0,65217
Taf		0,41197

CK <-50		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	19	4
Não Ocorrido	411	458
Tac		0,8261
Taf		0,473

- Caso 3 (14/01/2003)

PRECIPITAÇÃO INTENSA		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	67	47
Não Ocorrido	265	1209
Tac		0,5877193
Taf		0,1797829

CONVERGÊNCIA DE MASSA		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	46	64
Não Ocorrido	752	618
Tac	0,4181818	
Taf	0,5489051	

CONVERGÊNCIA DE UMIDADE		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	31	79
Não Ocorrido	626	744
Tac	0,2818182	
Taf	0,4569343	

ILEV <-9		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	26	88
Não Ocorrido	544	930
Tac	0,2281	
Taf	0,3691	

ITT >48		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	0	114
Não Ocorrido	6	1468
Tac	0	
Taf	0,00407	

K >36		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	26	88
Não Ocorrido	672	802
Tac	0,2281	
Taf	0,4559	

CILEV >16		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	25	61
Não Ocorrido	531	472
Tac	0,2907	
Taf	0,5294	

CITT <-75		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	33	53
Não Ocorrido	591	412
Tac	0,38372	
Taf	0,58923	

CK <-50		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	38	48
Não Ocorrido	691	312
Tac	0,4419	
Taf	0,6889	

- Caso 4 (25/01/2003)

PRECIPITAÇÃO INTENSA		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	0	66
Não Ocorrido	1	1521
Tac	0	
Taf	0,000657	

CONVERGÊNCIA DE MASSA		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	40	26
Não Ocorrido	441	973
Tac	0,6060606	
Taf	0,3118812	

CONVERGÊNCIA DE UMIDADE		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	25	41
Não Ocorrido	279	1135
Tac	0,3787879	
Taf	0,1973126	

ILEV <-9		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	0	66
Não Ocorrido	0	1522
Tac	0	
Taf	0	

ITT >48		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	24	42
Não Ocorrido	892	630
Tac	0,36364	
Taf	0,58607	

CILEV >16		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	26	24
Não Ocorrido	453	280
Tac	0,52	
Taf	0,618	

CITT <-75		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	28	22
Não Ocorrido	376	357
Tac	0,56	
Taf	0,51296	

CK <-50		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	31	19
Não Ocorrido	351	382
Tac	0,62	
Taf	0,4789	

- Caso 5 (08/02/2004)

PRECIPITAÇÃO INTENSA		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	19	132
Não Ocorrido	138	1299
Tac	0,1258278	
Taf	0,0960334	

CONVERGÊNCIA DE MASSA		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	71	57
Não Ocorrido	585	767
Tac	0,5546875	
Taf	0,4326923	

CONVERGÊNCIA DE UMIDADE		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	48	80
Não Ocorrido	491	861
Tac	0,375	
Taf	0,3631657	

ILEV <-9		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	112	39
Não Ocorrido	744	693
Tac	0,7417	
Taf	0,5177	

ITT >48		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	9	142
Não Ocorrido	120	1317
Tac	0,0596	
Taf	0,08351	

K >36		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	73	78
Não Ocorrido	638	799
Tac	0,4834	
Taf	0,444	

CILEV >16		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	61	59
Não Ocorrido	474	386
Tac	0,5083	
Taf	0,5512	

CITT <-75		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	57	63
Não Ocorrido	488	372
Tac	0,475	
Taf	0,56744	

CK <-50		
		Previsão do evento
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	62	58
Não Ocorrido	549	311
Tac		0,5167
Taf		0,6384

- Caso 6 (14/12/2004)

PRECIPITAÇÃO INTENSA		
		Previsão do evento
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	0	21
Não Ocorrido	21	1546
Tac		0
Taf		0,0134014

CONVERGÊNCIA DE MASSA		
		Previsão do evento
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	3	16
Não Ocorrido	521	940
Tac		0,1578947
Taf		0,3566051

CONVERGÊNCIA DE UMIDADE		
		Previsão do evento
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	2	17
Não Ocorrido	396	1065
Tac		0,1052632
Taf		0,2710472

ILEV <-9		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	7	14
Não Ocorrido	1109	458
Tac	0,3333	
Taf	0,7077	

ITT >48		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	0	21
Não Ocorrido	734	833
Tac	0	
Taf	0,46841	

K >36		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	6	15
Não Ocorrido	519	1048
Tac	0,2857	
Taf	0,3312	

- Caso 7 (22/12/2004)

PRECIPITAÇÃO INTENSA		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	119	113
Não Ocorrido	306	1050
Tac	0,512931	
Taf	0,2256637	

CONVERGÊNCIA DE MASSA		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	91	134
Não Ocorrido	552	693
Tac	0,4044444	
Taf	0,4433735	

CONVERGÊNCIA DE UMIDADE		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	72	153
Não Ocorrido	427	818
Tac	0,32	
Taf	0,3429719	

ILEV <-9		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	0	232
Não Ocorrido	0	1356
Tac	0	
Taf	0	

ITT >48		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	0	232
Não Ocorrido	25	1331
Tac	0	
Taf	0,01844	

K >36		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	81	151
Não Ocorrido	692	664
Tac	0,3491	
Taf	0,5103	

CILEV >16		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	51	92
Não Ocorrido	418	437
Tac	0,3566	
Taf	0,4889	

CITT <-75		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	62	81
Não Ocorrido	462	393
Tac	0,43357	
Taf	0,54035	

CK <-50		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	71	72
Não Ocorrido	525	330
Tac	0,4965	
Taf	0,614	

- Caso 8 (18/01/2005)

PRECIPITAÇÃO INTENSA		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	14	38
Não Ocorrido	143	1393
Tac	0,2692308	
Taf	0,093099	

CONVERGÊNCIA DE MASSA		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	12	39
Não Ocorrido	555	864
Tac	0,2352941	
Taf	0,3911205	

CONVERGÊNCIA DE UMIDADE		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	10	41
Não Ocorrido	452	967
Tac	0,1960784	
Taf	0,3185342	

ILEV <-9		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	0	52
Não Ocorrido	0	1536
Tac	0	
Taf	0	

ITT >48		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	0	52
Não Ocorrido	2	1534
Tac	0	
Taf	0,0013	

K >36		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	27	25
Não Ocorrido	573	963
Tac	0,5192	
Taf	0,373	

CILEV >16		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	5	22
Não Ocorrido	369	551
Tac	0,1852	
Taf	0,4011	

CITT <-75		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	7	20
Não Ocorrido	397	523
Tac	0,25926	
Taf	0,43152	

CK <-50		
	Previsão do evento	
Observação do evento	Previsto	Não previsto
Ocorrido	9	18
Não Ocorrido	466	454
	Tac	0,3333
	Taf	0,5065

ANEXO III

Programa para calcular a temperatura da parcela em 500 hPa a partir da superfície

Neste anexo será apresentado o programa em FORTRAN para o cálculo da temperatura da parcela em 500 hPa a partir da superfície. O arquivo de entrada deste programa é um arquivo binário com os dados de temperatura do ar, pressão e umidade em superfície. O arquivo de saída também será um binário com a temperatura da parcela em 500 hPa.

```
subroutine satvap(temp,es)
  real temp,es
  es = 6.112E0 * exp((17.67E0 * temp)/(temp + 243.5E0))
  return
end

C
subroutine tempncl(temp,dewp,tncl)
  real temp,dewp,tempk,dewpk,parta,partb,tncl
  tempk = temp + 273.15E0
  dewpk = dewp + 273.15E0
  parta = 1/(dewpk - 56.E0)
  partb = (log(tempk/dewpk))/800.E0
  tncl = ((1/(parta + partb)) + 56.E0) - 273.15E0
  return
end

C
subroutine presncl(temp,dewp,pres,pncl)
  real temp,dewp,pres,pncl,tncl,tnclk,tempk
  real theta
  call tempncl(temp,dewp,tncl)
  tnclk = tncl + 273.15E0
  tempk = temp + 273.15E0
  theta = tempk * ((1000.E0/pres)**(0.286E0))
  pncl = 1000.E0 * ((tnclk/theta)**(3.48E0))
  return
end
```

C

```
subroutine loop(powpres)
real powpres(5000)
integer zz,subscr
zz=1100
do while (zz.GT.10)
subscr=zz/10
powpres(subscr)=zz**286E-3
zz=zz-10
enddo
return
end
```

C

```
subroutine liftdry(startt,startp,endp,temp)
real startt,starttk,startp,powstart,powpres(5000)
real endp,temp
integer round,subscr,i,delp,pres
starttk = startt + 273.15E0
delp = 10
round = (startp/10)*10
pres = round - 10
subscr = round/10
powstart = startp ** (-0.286E0)
call loop(powpres(i))
temp = (starttk * powpres(subscr) * powstart) - 273.15E0
do while(pres.GE.endp)
subscr = pres/10
temp = (starttk * powpres(subscr) * powstart) -273.15E0
pres = pres - delp
enddo
return
end
```

C

```
subroutine liftwet(startt,startp,endp,temp)
real temp,startt,pres,startp,delp,endp,lapse
temp = startt
pres = startp
delp = 10.E0
do while(pres.GE.endp)
call gammaw(temp,pres-delp/2,1.E2,lapse)
temp = temp - (1.E2 * delp * lapse)
```



```

    pres = pres -delp
    enddo
return
end
C
subroutine mixratio(e,p,mix)
real e,p,mix
mix = 622E-3 * e/(p - e)
return
end
C
subroutine virtual(temp,mix,tempv)
real temp,mix,tempv
tempv = temp * (1.E0 + (6E-1 * mix))
return
end
C
subroutine latentc(tempc,val)
real val,tempc
val = (25022E-1 - (2.43089E0 * tempc))*1000
return
end
C
subroutine gammaw(tempc,pres,rh,lapse)
real tempc,pres,tempk,es,ws,w,tempv,latent
real a,b,density,lapse,rh
tempk =tempc + 273.15E0
call satvap(tempc,es)
call mixratio(es,pres,ws)
w = rh * (ws/100)
call virtual(tempk,w,tempv)
call latentc(tempc,latent)
a = 1.E0 + (latent * ws/(287E0 * tempk))
b =1E0+(622E-3*(latent**2)*ws/(1005E0*287E0*(tempk**2)))
density = 1.E2 * pres/(287E0 * tempv)
lapse = (a/b)/(1005E0 * density)
return
end
C
C
program tempp

```

```

real mat(13,3,144,157)
real tsfc,pslc,umrl,pncl,dwep,temp
integer m,i,j,h,k,nrec
parameter(nx=144,ny=157,nt=13)
real es,e,tempf
dimension tsfc(nx,ny,nt),pslc(nx,ny,nt),umrl(nx,ny,nt)
dimension tempf(nx,ny,nt)
h=nx*ny*1
open(24,file='2003012300.bin',status='old',recl=h,
*access='direct',form='unformatted')

nrec=1
do k=1,nt
  read(24,rec=nrec) ((tsfc(i,j,k),i=1,nx),j=1,ny)
  nrec=nrec+1
  read(24,rec=nrec) ((pslc(i,j,k),i=1,nx),j=1,ny)
  nrec=nrec+1
  read(24,rec=nrec) ((umrl(i,j,k),i=1,nx),j=1,ny)
  nrec=nrec+1
enddo
do k=1,nt

do i=1,nx

do j=1,ny
  call satvap(tsfc(i,j,k),es)
  e=umrl(i,j,k)*es*1.E-2
  dewp=((243.5*log(e))-440.8)/(19.48-log(e))
  call presncl(tsfc(i,j,k),dewp,pslc(i,j,k),pncl)
  call liftdry(tsfc(i,j,k),pslc(i,j,k),pncl,temp)
  call liftwet(temp,pncl,500.E0,tempf(i,j,k))
enddo

enddo

enddo
open(50,file='tp2003012300.bin',status='unknown',recl=h,
*access='direct',form='unformatted')
nrec2=1
do k=1,nt
  write(50,rec=nrec2) ((tempf(i,j,k),i=1,nx),j=1,ny)

```

```
nrec2=nrec2+1  
enddo  
end
```