

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**EFEITO DA RESOLUÇÃO HORIZONTAL NA
SIMULAÇÃO DE UM EVENTO CHUVOSO
EXTREMO**

PETRÔNIO CARLOS BEZERRA

Campina Grande
2002

PETRÔNIO CARLOS BEZERRA

EFEITO DA RESOLUÇÃO HORIZONTAL NA
SIMULAÇÃO DE UM EVENTO CHUVOSO
EXTREMO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em
Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em
cumprimento às exigências para a obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala
Sub-área: Sinótica-Dinâmica da Atmosfera Tropical

Orientadores: Prof. Dr. Enio Pereira de Souza
Prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti

Campina Grande
2002



B574e
2002

Bezerra, Petrônio Carlos
Efeito da resolução horizontal na simulação de um
evento chuvoso extremo/Petrônio Carlos Bezerra. -
Campina Grande: UFCCG, 2002.
67 p. : il.

Dissertação (Mestrado). UFCCG/CCT
Inclui Bibliografia

1. RAMS 2. Nordeste 3. Enchente I - Título

CDU : 551.509.313.6

PETRÔNIO CARLOS BEZERRA

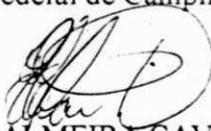
EFEITO DA RESOLUÇÃO HORIZONTAL NA SIMULAÇÃO DE UM
EVENTO CHUVOSO EXTREMO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 13/12/02

BANCA EXAMINADORA



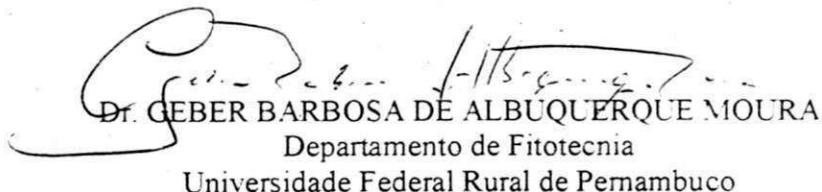
Dr. ENIO PEREIRA DE SOUZA
Departamento de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Departamento de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Dra. MAGALY DE FATIMA CORREIA
Departamento de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Dr. GEBER BARBOSA DE ALBUQUERQUE MOURA
Departamento de Fitotecnia
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedico este trabalho,

Aos meus pais, Manoel (*in memoriam*) e Margarida, ao meu irmão Paulo, minhas irmãs Verônica e Virgínia e a minha namorada Maria Emília, pelo amor que todos me dedicam.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por minha saúde perfeita e pelo amparo nos momentos mais difíceis, o que tornou possível à realização desse trabalho.

A minha família e a Maria Emília pelo apoio, carinho e compreensão.

Aos meus orientadores Enio Pereira de Souza e Enilson Palmeira Cavalcante, por acreditarem em mim, pela orientação que me foi dada, pelo profissionalismo, compreensão e apoio nos momentos difíceis. Que a nossa amizade se concretize cada dia mais.

Aos professores do Departamento de Ciências Atmosféricas, por fazerem parte deste trabalho através de minha formação profissional, e por estarem sempre dispostos a ajudar quando necessitei.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Atmosféricas, em especial a Divanete C. Rocha Farias pela ajuda e orientação sempre prestada.

Ao professor Mário de Miranda V. B. R. Leitão, por permitir meu ingresso no curso de mestrado, que na ocasião era o então coordenador do Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba (LMRS-PB).

A Eustáquio Rangel, atual coordenador do LMRS-PB, por permitir que eu continuasse e concluísse o curso de mestrado e por sua valiosa opinião e orientação para um melhor resultado final na apresentação desta dissertação.

Aos meus amigos meteorologistas do LMRS: Alexandre, Carmem, Marle e Patrice.

Aos meus amigos do setor de Informática do LMRS: Cecir, Fernando, Flávio e Iana.

Aos meus amigos que contribuíram enviando dados e as suas respectivas instituições: Anna Bárbara e Lincoln (CPTEC/INPE), Werônica (IPA-PE) e Ueliton (EMPARN-RN).

Aos membros da banca examinadora, por sua colaboração para o engrandecimento deste trabalho.

Ao amigo Ricardo Hallak do Laboratório MASTER do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, por sua valiosa contribuição na solução de problemas com o RAMS.

Enfim, a todos que me ajudaram direta ou indiretamente, da forma mais simples a mais dedicada.

"Se o seu problema tem solução, então não há com o que se preocupar. E se o seu problema não tem solução, toda preocupação será em vão".

(Provérbio Tibetano)

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Distúrbios Ondulatórios de Leste.....	4
2.2. Modelagem Numérica.....	6
3. MATERIAL E MÉTODO.....	10
3.1. O Modelo RAMS	10
3.2. Características do Experimento Numérico.....	12
3.3. Características das Grades e das Simulações.....	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4.1. O Caso Sinótico.....	15
4.2. A Velocidade Vertical (w).....	29
4.3. Precipitação.....	34
4.4. Advecção de Umidade.....	43
4.5. Advecção de Vorticidade.....	47
4.6. Advecção de Temperatura.....	50
5. CONCLUSÕES.....	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
APÊNDICE.....	60
APÊNDICE A: O Impacto Sócio-Econômico.....	61
APÊNDICE B: A Divulgação na Imprensa.....	63

RESUMO

Neste trabalho, foi feita uma avaliação do desempenho de um modelo de mesoescala aplicado a um evento de chuvas extremas na região Nordeste do Brasil, que ocorreu entre os dias 30 de julho e 02 de agosto de 2000. Utilizou-se o modelo regional RAMS, em sua versão 4.3, com três grades horizontais aninhadas com diferentes resoluções: a) a grade 1 com resolução de 112 km; b) a grade 2 com resolução de 28 km e c) a grade 3 com resolução de 7 km. Todas as grades tiveram como ponto central às coordenadas de Recife – PE (8°S e 35°W). O modelo foi integrado por quatro dias, a partir de 00:00 UTC do dia 30 de julho de 2000. Os resultados mostram que a precipitação simulada através da parametrização de convecção não representa realisticamente a precipitação do evento chuvoso, embora represente bem os sistemas de grande escala. Por outro lado, a precipitação resultante da parametrização dos processos microfísicos representou bem os aspectos qualitativos do sistema em estudo, principalmente na grade de maior resolução. No geral, a precipitação total é muito inferior à observada. No entanto, a análise qualitativa que se pode fazer a partir dos resultados em alta resolução mostra que devidamente calibrados os modelos de mesoescala são uma poderosa ferramenta para previsão e para a compreensão dos fenômenos atmosféricos locais.

ABSTRACT

This work presents an evaluation of the performance of a mesoscale atmospheric model applied to a system that caused high precipitation in Northeast Brazil. This event occurred between July 30 and August 02, 2000. The model RAMS was used in its version 4.3 with three nested grids in the horizontal: a) grid 1 with 112 km; b) grid 2 with 28 km, and c) grid 3 with 7 km of resolution. The central coordinates for each one of the three grids were those of Recife – PE (8°S e 35°W). The model was run for four days starting at 00:00 UTC of July 30, 2000. The results show that the precipitation simulated through the convection parameterization does not realistically represent the precipitation of the rainy event even though it represents well the large-scale systems. On the other hand, the precipitation resulting from the parameterization of microphysic processes represented well the qualitative aspects of the system. This is more evident in the higher resolution grid. The simulation, as a whole, underestimates the observed precipitation. However, the qualitative analysis of the results shows that the mesoscale models are a powerful tool to forecast and to understand the local atmospheric phenomena, provided they have a proper calibration.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AL	→ Alagoas
CPC	→ Climate Prediction Center
CE	→ Ceará
CPTEC	→ Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DCA	→ Departamento de Ciências Atmosféricas
DOL	→ Distúrbios Ondulatórios de Leste
ECHAM	→ The European Community – Hamburg
GOES	→ Geostationary Observational Environmental Satellite
GrADS	→ Grid Analysis and Display System
HMS	→ Hydrologic Model System
INPE	→ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ITC	→ Intertropical Convergence
JC	→ Jornal do Comércio
LMD	→ Laboratório de Modelagem e Desenvolvimento
LNE	→ Leste do Nordeste
MCG	→ Modelos de Circulação Geral
MCGA	→ Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
MCS	→ Mesoscale Convective Systems
METAR	→ Meteorological Aerodrome Report
MRE	→ Modelo Regional Espectral
MRF	→ Medium Range Forecasts
NCAR	→ National Center for Atmospheric Research
NCEP	→ National Centers for Environmental Prediction
NEB	→ Nordeste do Brasil
PE	→ Pernambuco
POA	→ Perturbações Ondulatórias nos Alísios
RAMS	→ Regional Atmospheric Modeling System
RCM	→ Regional Climate Model

RMR	→ Região Metropolitana do Recife
SAA	→ Sistema Avaliador Automático
TSM	→ Temperatura da Superfície do Mar
UFCG	→ Universidade Federal de Campina Grande
UTC	→ Coordenada de Tempo Universal

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 – Estrutura de grade tipo “C” de Arakawa. As variáveis termodinâmicas são definidas nos pontos de grade, e as componentes do vento (u , v e w) são definidas em $\Delta x/2$, $\Delta y/2$ e $\Delta z/2$	11
Figura 2 – (a) Grades utilizadas nas simulações: A grade mais externa, em preto, corresponde à grade 1. A intermediária, em vermelho, corresponde à grade 2 e a menor, em azul, corresponde à grade 3. A topografia utilizada pelo modelo pode ser vista nas figuras: (b) para grade 1, (c) para grade 2 e (d) para grade 3.....	14
Figura 3 – Precipitação diária (mm), do mês de julho de 2000, no município de Barreiros I (Mata Meridional de Pernambuco).....	15
Figura 4 – Campo de vento horizontal (m/s), em 200 hPa, no dia 12/07/2000, a 00:00 UTC.....	16
Figura 5 – Imagem do satélite GOES 8, no canal infravermelho, em 01/07/2000 às 09:00 UTC.....	17
Figura 6 – Imagem do satélite GOES 8, no canal infravermelho, em 03/07/2000 às 18:00 UTC.....	17
Figura 7 – Imagem do satélite GOES 8, no canal infravermelho, em 10/07/2000 às 21:00 UTC.....	18
Figura 8 – Imagem do satélite GOES 8, no canal infravermelho, em 12/07/2000 às 09:00 UTC.....	18
Figura 9 – Imagem do satélite GOES 8, no canal infravermelho, em 20/07/2000 a 00:00 UTC.....	19

Figura 10 – Imagem do satélite GOES 8, no canal infravermelho, em 26/07/2000 às 21:00 UTC.....	19
Figura 11 – Imagem do satélite GOES 8, no canal infravermelho, em 31/07/2000 às 18:00 UTC.....	20
Figura 12 – Campo de vento horizontal (m/s), em 200 hPa, no dia 25/07/2000, a 00:00 UTC.....	20
Figura 13 – Sequência de imagens do satélite GOES 8, no canal infravermelho, nos dias: (a) 31/07 a 00:00 UTC, (b) 31/07 às 06:00 UTC, (c) 31/07 às 12:00 UTC, (d) 31/07 às 18:00 UTC, (e) 01/08 às 03:00 UTC e (f) 01/08 às 18:00 UTC, do ano de 2000.....	21
Figura 14 – Linhas de Corrente em 1000 hPa, em 30/07/2000 a 00:00 UTC.....	23
Figura 15 – Umidade específica (g/kg) em 1000 hPa, em 30/07/2000 a 00:00 UTC.....	23
Figura 16 – Linhas de Corrente em 700 hPa, em 30/07/2000 às 12:00 UTC.....	24
Figura 17 – Anomalia de TSM em julho/2000. Na região do Oceano Atlântico Tropical (Analisada em grade de 2 graus). Fonte: J. Servain, ORSTOM/BREST.....	24
Figura 18 – Linhas de Corrente em 1000 hPa, em 31/07/2000 às 12:00 UTC.....	25
Figura 19 – Umidade específica (g/kg) em 1000 hPa, em 31/07/2000 a 00:00 UTC.....	26
Figura 20 – Umidade específica (g/kg) em 500 hPa, em 01/08/2000 a 00:00 UTC....	26
Figura 21 – Corte vertical, sobre 35°W de longitude, do movimento vertical (Pa/s), entre 40°S e 10°N, nos dias: (a) 29/07 a 00:00 UTC, (b) 29/07 às 12:00 UTC, (c) 30/07 a 00:00 UTC, (d) 30/07 às 12:00 UTC, (e) 31/07 a 00:00 UTC, (f) 31/07 às 12:00 UTC, (g) 01/08 a 00:00 UTC e (h) 02/08 a 00:00 UTC.....	27
Figura 22 – Corte vertical da velocidade vertical (w), em m/s, sobre a longitude de 35°W, simulada na grade 1, dia 30/07/2000 às 18:00 UTC.....	29

Figura 23 – Corte vertical da velocidade vertical (w), em m/s, sobre a longitude de 35°W , simulada na grade 2, dia 30/07/2000 às 18:00 UTC.....	30
Figura 24 – Corte vertical da velocidade vertical (w), em m/s, sobre a longitude de 35°W , simulada na grade 2, dia 01/08/2000 às 18:00 UTC.....	31
Figura 25 – Corte vertical da velocidade vertical (w), em m/s, sobre a longitude de 35°W , simulada na grade 3, dia 31/07/2000 às 00:00 UTC.....	31
Figura 26 – Evolução temporal da velocidade vertical (w), em m/s, sobre Recife-PE: (a) grade 1, (c) grade 2, e (e) grade 3; e sobre Maceió-AL: (b) grade 1, (d) grade 2, e (f) grade 3.....	33
Figura 27 – Precipitação observada (mm), do dia 30/07/2000 à 02/08/2000: (a) dia 30/07/2000, (b) dia 31/07/2000, (c) dia 01/08/2000 e (d) dia 02/08/2000.....	35
Figura 28 – Precipitação (mm) da microfísica simulada, na grade 1 para os dias: (a) dia 31/07 e (b) 01/08; na grade 2 para: (c) dia 31/07 e (d) 01/08 e na grade 3 para: (e) dia 31/07 e (f) 01/08 de 2000.....	36
Figura 29 – Precipitação (mm) da microfísica, simulada para o dia 02/08/2000, nas grades: (a) grade 2 e (b) grade 3.....	37
Figura 30 – Precipitação (mm) convectiva simulada: (a) na grade 1 para o dia 31/07, (b) na grade 2 para o dia 31/07, (c) na grade 3 para o dia 31/07 e (d) na grade 3 para o dia 01/08 de 2000.....	39
Figura 31 – Gráfico com a evolução temporal da precipitação (mm) da microfísica simulada, da grade 1, sobre 35°W , e entre 20°S e o equador.....	40
Figura 32 – Gráfico com a evolução temporal da precipitação (mm) da microfísica simulada, da grade 2, sobre 35°W , e entre 12°S e 4°S	40
Figura 33 – Gráfico com a evolução temporal da precipitação (mm) da microfísica simulada, da grade 3, sobre 35°W , e entre 10°S e 6°S	41

Figura 34 – Gráfico com a evolução temporal da precipitação total (mm) simulada, da grade 1, sobre 35°W, e entre 20°S e o equador.....	42
Figura 35 – Gráfico com a evolução temporal da precipitação total (mm) simulada, da grade 2, sobre 35°W, e entre 12°S e 4°S.....	42
Figura 36 – Gráfico com a evolução temporal da precipitação total (mm) simulada, da grade 3, sobre 35°W, e entre 10°S e 6°S.....	43
Figura 37 – Advecção de umidade específica (g/kg.s) simulada, da grade 1, em 850 hPa, dia 30/07/2000 a 00:00 UTC.....	44
Figura 38 – Advecção de umidade específica (g/kg.s) simulada, da grade 1, em 700 hPa, dia 30/07/2000 a 00:00 UTC.....	44
Figura 39 – Advecção de umidade específica (g/kg.s) simulada, da grade 2, em 850 hPa, dia 30/07/2000 a 00:00 UTC.....	45
Figura 40 – Advecção de umidade específica (g/kg.s) simulada, da grade 2, em 700 hPa, dia 30/07/2000 a 00:00 UTC.....	46
Figura 41 – Advecção de umidade específica (g/kg.s) simulada, da grade 3, em 850 hPa, dia 31/07/2000 às 18:00 UTC.....	46
Figura 42 – Advecção de umidade específica (g/kg.s) simulada, da grade 3, em 700 hPa, dia 31/07/2000 às 18:00 UTC.....	47
Figura 43 – Advecção de vorticidade (s^{-2}) simulada, da grade 1, em 850 hPa, dia 31/07/2000 a 00:00 UTC.....	48
Figura 44 – Advecção de vorticidade (s^{-2}) simulada, da grade 1, em 850 hPa, dia 31/07/2000 às 18:00 UTC.....	48
Figura 45 – Advecção de vorticidade (s^{-2}) simulada, da grade 1, em 700 hPa, dia 31/07/2000 às 18:00 UTC.....	49
Figura 46 – Advecção de vorticidade (s^{-2}) simulada, da grade 2, em 850 hPa, dia 31/07/2000 a 00:00 UTC.....	49
Figura 47 – Advecção de temperatura (K/s), da grade 1, em 850 hPa, dia 31/07/2000 a 00:00 UTC.....	50

Figura 48 – Advecção de temperatura (K/s), da grade 2, em 850 hPa, dia 31/07/2000 às 18:00 UTC.....	51
Figura 49 – Advecção de temperatura (K/s), da grade 3, em 850 hPa, dia 31/07/2000 a 00:00 UTC.....	51
Figura A1 – Componentes do Balanço Hídrico sobre o Nordeste, para o dia 31/07/2000. Fonte: CPTEC/INPE.....	61

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 – Características horizontais das grades utilizadas.....	14

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1 – Inundação no bairro do Pina no Recife.....	63
Foto 2 – Escombros em Catende, a 129 km de Recife.....	64
Foto 3 – Visita do presidente Fernando Henrique Cardoso ao Recife.....	64
Foto 4 – Vista aérea de Jaboatão dos Guararapes.....	65
Foto 5 – Moradores de Rio Formoso retirando os pertences das casas.....	65
Foto 6 – Cidade de Palmares, Zona da Mata Sul de Pernambuco.....	66
Foto 7 – Fúria, o Rio Una transborda e invade Barreiros.....	66
Foto 8 – A barragem de Tapacurá transbordou, o que não acontecia desde 1997..	67

LISTA DE APÊNDICE

	Pág.
Apêndice A – O Impacto Sócio-Econômico.....	61
Apêndice B – A Divulgação na Imprensa.....	63

1. INTRODUÇÃO

A humanidade sempre sofreu, e ainda haverá de sofrer, com alguns tipos de manifestações da natureza. Manifestações estas que causam prejuízos financeiros incalculáveis, aflições, transtornos e muitas vezes provocam algo irreparável, que é a perda de vidas humanas. A população acompanha tais fatos, através dos veículos de comunicação, quase que diariamente e vindos de todas as partes do mundo. Ondas de calor, maremotos, furacões e enchentes, dentre outros são alguns exemplos de manifestações da natureza que causam fortes impactos a sociedade. Já há algumas décadas, a meteorologia vem contribuindo, de certa forma, para reduzir consideravelmente os prejuízos causados por fenômenos atmosféricos, principalmente os mais violentos, como as tempestades e os furacões, reduzindo inclusive o número de mortes por conseqüências de tais fatos.

O que tem contribuído para que haja redução nos danos materiais e nas mortes são as previsões de tempo e clima, divulgadas pelos órgãos de meteorologia (YU *et al.*, 2002). Uma das ferramentas que auxiliam os meteorologistas nessas previsões são os modelos atmosféricos, tanto os de escala global quanto os regionais. Os modelos globais são importantes para uma visualização dos fenômenos de grande escala que estiverem atuando num determinado local. Porém, os fenômenos de escalas menores ou transientes nem sempre são assinalados nos modelos globais, a exemplo das circulações de brisa e fenômenos que surgem devido à orografia da região. Logo, a motivação para a redução da escala dinâmica é que os dados das observações de escala global e os Modelos de Circulação Geral (MCG) são muito ineficientes para muitos problemas regionais e locais (YU *et al.*, 2002).

Os modelos regionais são mais indicados para captar esses tipos de eventos peculiares de determinadas regiões, devido a seus menores espaçamentos na grade, o que

permite maior riqueza de detalhes, sem perder a contribuição da grande escala (BRYSON & BRISON, 2000). Com esse tipo de modelo, tem-se uma melhor definição dos microclimas, facilitando a análise das previsões e fornecendo uma maior certeza, tanto no espaço e no tempo quanto quantitativamente, dos eventos meteorológicos que possam vir a acontecer em determinado local (KRISHNAMURTI *et al.*, 1996). Para a região Nordeste do Brasil (NEB), por exemplo, onde se verifica a existência de diferentes regimes de precipitações pluviométricas (RAO *et al.*, 1993) provocados pelos mais diversos sistemas meteorológicos, um modelo de alta resolução bem ajustado é de importância fundamental para as previsões de tempo.

Contrariando a sua maior característica, que é a de ser uma região seca, no NEB também ocorrem enchentes, principalmente nas regiões costeiras. Do final do mês de julho para o início de agosto de 2000, mais precisamente no dia 31 de julho de 2000, a população do estado de Pernambuco sofreu com um evento de elevada pluviometria em curto intervalo de tempo. Segundo o Jornal do Comércio do dia 01 de agosto de 2000 (12 MORTOS: A tragédia se repete, 2002), de Recife - PE, a chuva foi a maior do mês de julho dos últimos 40 anos, matou 12 pessoas e deixou mais de 1.000 famílias desabrigadas na Região Metropolitana do Recife (RMR). O índice pluviométrico informado na matéria veiculada no jornal foi de 199,0 milímetros das 0h às 17h do dia 31 de julho de 2000. Cidades importantes, a exemplo da capital Recife, viveram um verdadeiro dia de caos naquele 31 de julho de 2000, quando barragens sangraram e houve enchentes, alagamentos e desmoronamentos em algumas cidades. Informações sobre o impacto sócio-econômico podem ser encontradas no Apêndice A, como também algumas fotos ilustrativas do evento, as quais podem ser encontradas no Apêndice B.

O mês de julho está inserido no período chuvoso para o setor leste do NEB (RAO *et al.*, 1993) e um dos sistemas que frequentemente atuam nessa época do ano na região são os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) (MOTA, 1997; GOMES FILHO *et al.*, 1996). Em certos locais preferidos, e em certas épocas do ano, alguns desses distúrbios tropicais se deslocando para oeste se transformam em tempestades tropicais violentas (YAMAZAKI & RAO, 1977).

O objetivo deste trabalho é, utilizando o modelo regional RAMS (*Regional Atmospheric Modeling System*) atualmente em uso no Laboratório de Modelagem e Desenvolvimento (LMD), do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (DCA-UFCG), simular o evento ocorrido em Pernambuco ao

final do mês de julho e início de agosto de 2000, utilizando três espaçamentos de grade diferentes, e analisar os resultados obtidos em cada simulação, o que permitirá identificar as características e os efeitos da resolução horizontal (FROHN *et al.*, 2001) na previsão de tais eventos chuvosos extremos. Desta forma, contribui-se para o desenvolvimento da área de modelagem regional, que poderá ser, num futuro próximo, a grande ferramenta de trabalho dos meteorologistas, além de contribuir com o aperfeiçoamento do referido modelo para região.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Distúrbios Ondulatórios de Leste

Yamazaki & Rao (1977) apresentaram alguns resultados preliminares sobre a questão de haver, no Atlântico Tropical Sul, distúrbios similares aos que eram observados em outras regiões. Eles utilizaram seções tempo-longitude para o ano de 1967, as quais eram compostas por faixas de nuvens de 5° de latitude para a região entre 20°N a 20°S e notaram que as linhas inclinadas de nebulosidade poderiam ser traçadas da costa da África até a costa do Brasil. Em muitos casos essas nuvens pareciam se estender um pouco sobre o continente, o que também foi notado na análise de outros invernos. Como o período chuvoso de parte da costa leste do Nordeste do Brasil está inserido no período de inverno do Hemisfério Sul, eles concluíram que a precipitação ao longo da costa do Nordeste parece estar associada com os distúrbios que se movem para oeste.

Rao *et al.* (1993) determinaram as estações secas e chuvosas do Leste do Nordeste (LNE) do Brasil, utilizando dados do período de 1914 a 1983. A principal estação chuvosa foi determinada como sendo o período de abril a julho, responsável por 60% da precipitação anual; e a principal estação seca vai de setembro a dezembro, respondendo por apenas 10% da precipitação anual. Eles mostraram que as chuvas de outono e inverno sobre o LNE do Brasil estão associadas com ventos soprando perpendicular à costa. Determinaram que a Alta sub-tropical do Atlântico Sul modula os ventos (intensidade e direção) ao longo da costa, tendo grande influência nas variações interanuais da precipitação sobre o LNE do Brasil. Eles examinaram também a possível ligação entre a precipitação sobre o LNE do Brasil e as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar

climatológicas localizadas em algumas cidades do Nordeste do Brasil ao longo da costa. Eles chegaram a conclusão que há, de maneira geral, boa concordância entre estas duas séries temporais. O máximo coeficiente de correlação encontrado foi de 0,77 para a cidade de Fortaleza-CE. Nas análises, eles notaram também que, aparentemente, os dados de reanálises tendem a subestimar os altos (picos) totais mensais, ocorrendo possivelmente durante eventos de La Niña, mas tendem a superestimar os máximos reduzidos ao longo do ciclo anual de anos com eventos El Niño e seca. Observaram também um adiantamento de fase entre os dados de reanálise e os observados, com um adiantamento de mais de um mês das reanálises relativamente aos dos observados, em alguns casos. O máximo afastamento observado foi de 3 meses, em alguns casos.

Hallak *et al.* (2002) desenvolveram um Sistema Avaliador Automático (SAA) composto de um pacote de programas computacionais, escritos em diversas linguagens, para avaliar as previsões realizadas pelo modelo atmosférico regional RAMS de forma automática. O principal módulo do pacote do SAA é o programa avaliador, escrito em linguagem FORTRAN 77, que efetua os cálculos estatísticos e prepara gráficos de saída em formato texto, como também em formato binário para que possam ser visualizados no *GrADS*. O SAA calcula coeficientes de correlação cruzada e erros estatísticos entre variáveis do modelo e dados observacionais. Foram comparadas variáveis meteorológicas como componentes meridional e zonal do vento, temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho. Foram feitas simulações utilizando três grades com 80, 20 e 5 km de resolução, para as grades 1, 2 e 3 respectivamente. Em todas as grades foram utilizados 29 níveis na vertical, com espaçamento de 250 m no primeiro nível e aumentando por um fator de 1.2 nos níveis acima. Como resultado, na terceira grade aninhada do modelo operacional RAMS, para agosto/2001 e dezembro/2001, com dados da estação do aeroporto de Congonhas, observou-se que há um erro sistemático nas temperaturas do ar simuladas, quase sempre mais frias do que os dados reais, e das temperaturas do ponto de orvalho simuladas, quase sempre mais altas que os dados codificados no METAR (*Meteorological Aerodrome Report*).

Silva *et al.* (2002) apresentaram os resultados da avaliação das simulações (1971 – 2000) da precipitação sazonal (fevereiro a maio), a partir de um Modelo Regional Espectral (MRE), acoplado ao modelo de circulação geral ECHAM 4.5 (*The European Community – Hamburg*), para o Nordeste do Brasil. As análises indicaram que o MRE apresentou bom desempenho no total de precipitação média simulada, do setor Norte do

Nordeste do Brasil, e acima dos resultados para a área leste do NEB. Eles encontraram coeficientes de correlação de 0,8 entre o total de precipitação observada de fevereiro a março e o simulado em algumas áreas do Nordeste. O MRE apresentou um desvio absoluto predominantemente úmido em boa parte do NEB.

Alves *et al.* (2002) apresentaram os resultados obtidos com a redução de escala dinâmica utilizada para simulação da precipitação, do período de fevereiro a maio, no setor Norte do Nordeste do Brasil. O MRE, acoplado a um modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) o ECHAM 3, foi utilizado com o intuito de avaliar o seu desempenho na simulação da precipitação. O modelo utilizou três membros com três condições iniciais diferentes para o período de fevereiro a maio de 1999. Foram utilizadas duas grades, uma com 80 km e outra com 20 km, sendo que a grade de 20 km recebia, a cada 6 horas, os resultados da saída da grade de 80 km. Os resultados obtidos mostraram que o MRE simulou bem a distribuição espacial de precipitação sazonal do setor Norte do Nordeste, com acertos em algumas áreas de mais de 60% da variabilidade de chuva dessa região. A previsibilidade mostrou acertos de mais de 50%, com algumas áreas acima de 60% dos anos para três categorias (Seco, Normal e Chuvoso). Para cinco categorias (Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito Chuvoso), foram registrados acertos superiores a 30%, com algumas áreas acima de 40% dos anos. Também foi feita uma análise da variância total associada à simulação do MRE, a qual mostrou a grande importância da TSM que teve um peso de mais de 60% na variância total da simulação do MRE.

Silva *et al.* (2002) mostram alguns resultados obtidos de previsões feitas com o modelo regional MM5, o qual recebe como dados para inicialização as saídas de análises e previsões do modelo global MRF (*Medium Range Forecasts*) do NCEP, e utiliza uma plataforma Pentium sob sistema operacional Linux. Este modelo regional é integrado diariamente ao longo de 72 horas usando três grades aninhadas e centradas no Rio de Janeiro, com a maior sendo de 20 km e as outras de 6,6 e 2,2 km. A grade de menor resolução possibilita fazer previsões ao nível de distritos da cidade do Rio de Janeiro. Eles chegaram a conclusão que a previsão de algumas variáveis é boa, como a de vento e temperatura, porém, a previsão da precipitação esteve ainda abaixo das expectativas.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. O Modelo RAMS

O modelo atmosférico regional RAMS consiste num código numérico altamente versátil, desenvolvido na Universidade do Estado do Colorado – EUA, com o intuito de unir os diversos códigos de simulação numérica do tempo que eram desenvolvidos e usados, de forma paralela, no mesmo lugar (PIELKE *et al.*, 1992). Quando da junção das capacidades de diferentes modelos, houve uma gama de melhoramentos introduzidos no RAMS, dentre os quais, uma característica considerada das mais significantes, a capacidade de aninhamento de grades ou encaixamento. Dessa forma, o RAMS tem a habilidade de representar uma grande área em escala global, a exemplo do Hemisfério Sul, e reduzi-la progressivamente por aninhamento para escalas menores, como um cubo de volume de 10 km³ de atmosfera.

Uma das opções presentes no modelo é a não hidrostática, na qual todas as escalas meteorológicas espaciais relevantes podem ser representadas.

O modelo é composto de três partes: 1) do código referente ao próprio modelo; 2) de um pacote que trata os dados iniciais para assimilação e inicialização do modelo a partir dos dados meteorológicos observados e 3) de um pacote que permite o pós-processamento através de uma interface com um software gráfico de visualização (CAVALCANTI, 2001).

Uma ferramenta muito difundida e que pode ser usada para a visualização das simulações desenvolvidas no RAMS é o *GrADS*.

A atual codificação do modelo (versão 4.3) foi feita, quase que na sua totalidade, na linguagem de programação FORTRAN 90. O RAMS permite que se altere, em tempo de execução, todas as suas parametrizações e características, através de escolhas de opções numéricas e físicas, de forma que possa adequar-se da melhor maneira possível às condições específicas de determinado local, ou na simulação de condições idealizadas.

Uma visão geral detalhada do RAMS e de suas opções pode ser encontrada em Walko e Tremback (1991), assim como, de uma forma resumida porém muito objetiva, em Cavalcanti (2001).

Os dados de entrada do RAMS são: a temperatura do ar, o geopotencial, a umidade do ar (através da temperatura do ponto de orvalho, da razão de mistura, da umidade relativa do ar ou da diferença psicrométrica) e o vento (através das componentes u e v ou da direção e intensidade) nos diversos níveis da atmosfera.

As equações prognósticas do modelo são: a equação do movimento, a termodinâmica, a da continuidade para a água e a da continuidade de massa, além de incluir parametrizações de processos físicos, como difusão turbulenta, radiação solar e terrestre, difusão de calor e umidade do solo em vários níveis, interação atmosfera-vegetação e processos úmidos como parametrização de cúmulus e parametrizações de microfísica de nuvens.

A grade do RAMS tem estrutura do tipo “C” de Arakawa, na qual as variáveis termodinâmicas são definidas em pontos de grade, e as componentes do vento u , v e w são definidas em $\Delta x/2$, $\Delta y/2$ e $\Delta z/2$, respectivamente (Figura 1).

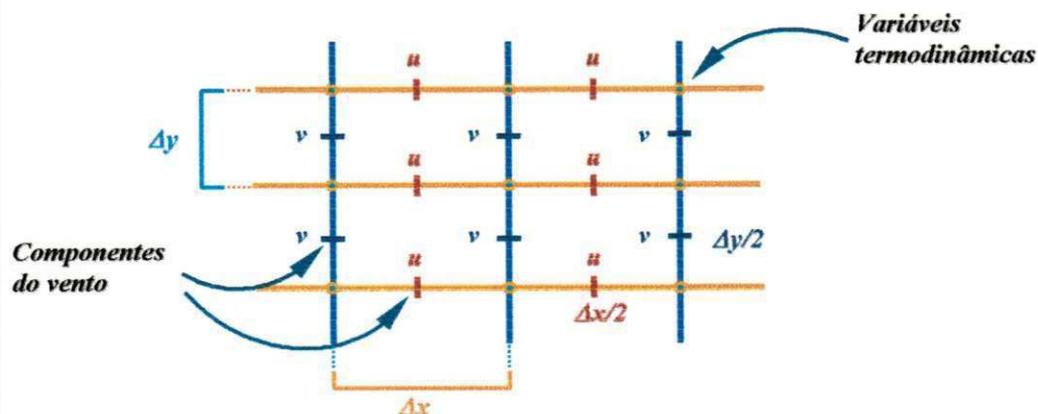


Figura 1 – Estrutura de grade tipo “C” de Arakawa. As variáveis termodinâmicas são definidas nos pontos de grade, e as componentes do vento (u , v e w) são definidas em $\Delta x/2$, $\Delta y/2$ e $\Delta z/2$

Uma versão desse código (v. 4.3) encontra-se atualmente em atividade no Laboratório de Modelagem e Desenvolvimento, do Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA, da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, o qual tem sido bastante utilizado nas pesquisas desenvolvidas naquele departamento, na área de simulação.

3.2. Características do Experimento Numérico

As opções do RAMS (v. 4.3) neste trabalho foram:

A grade vertical é constituída por 32 níveis com ΔZ inicial de 120 metros, aumentando na razão de 1,2 até atingir os 1000 metros. A partir desse nível o ΔZ é constante até o topo do modelo.

O ponto central das três grades da simulação é 8°S e 35°W, que corresponde à coordenada da cidade do Recife, em Pernambuco.

Nas laterais foi aplicado um *Nudging* de 1800 segundos em cinco pontos, e no interior do domínio nenhum *Nudging* foi aplicado, de modo a permitir que a própria dinâmica interna do RAMS determinasse a qualidade da simulação.

As radiações de onda longa e de onda curta seguem o esquema de Chen & Cotton (1983).

A convecção profunda é parametrizada segundo o tipo Kuo (1974) de acordo com Molinari & Corsetti (1985).

O esquema referente à difusão vertical segue Mellor & Yamada (1982).

A microfísica foi ativada no nível 3, o que significa que a produção de chuva, a partir da evolução de um espectro de gotas foi considerada.

Durante a realização deste trabalho foram utilizados dados diários de reanálises do NCAR/NCEP (KALNAY & JENNE, 1991; KALNAY *et al.*, 1996) para alimentação do modelo regional, como também para a análise sinótica do período, dos meses de julho e agosto de 2000, os quais apresentam intervalos de análise de 12 h (00 e 12 UTC), oito níveis de camadas atmosféricas mais a superfície (1000, 925, 850, 700, 500, 300, 250 e 200).

Também foram utilizados dados diários de precipitação, do mesmo período, dos estados do Nordeste, fornecidos pelos núcleos estaduais de Meteorologia de cada Estado através do CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos). Para visualização dos resultados da simulação utilizou-se a ferramenta computacional de visualização e análise de dados dispostos em grade, o *GrADS*.

Utilizaram-se também imagens diárias do satélite GOES-8, dos meses de julho e agosto de 2000, para acompanhamento da evolução do sistema meteorológico simulado neste trabalho.

3.3. Características das Grades e das Simulações

Para simulação, o modelo atmosférico regional RAMS foi inicializado tendo como entrada as reanálises do modelo de grande escala, e foi integrado com três espaçamentos diferentes de grade horizontal. A grade 1 tem resolução de 112 km, com 35 pontos de grade distribuídos na direção x e 34 pontos na direção y (Figura 2 - *a*). A grade 2 tem resolução de 28 km, com 41 pontos na direção x , como também na direção y (Figura 2 - *a*). Já a menor grade, a grade 3, tem por resolução 7 km, distribuídos em 69 pontos de grade nas direções x e y (Figura 2 - *a*). Estas características podem ser encontradas de forma resumida na Tabela 1.

A simulação foi feita tendo como início 00:00 UTC do dia 30 de julho de 2000, com prognósticos a cada duas horas, até 00:00 UTC do dia 03 de agosto de 2000, perfazendo um total de 49 horários de simulação para cada grade.

A topografia da região Nordeste do Brasil, utilizada pelo modelo durante a simulação, pode ser vista nas Figuras 2 - *b*, 2 - *c* e 2 - *d*, para as grades 1, 2 e 3 respectivamente.

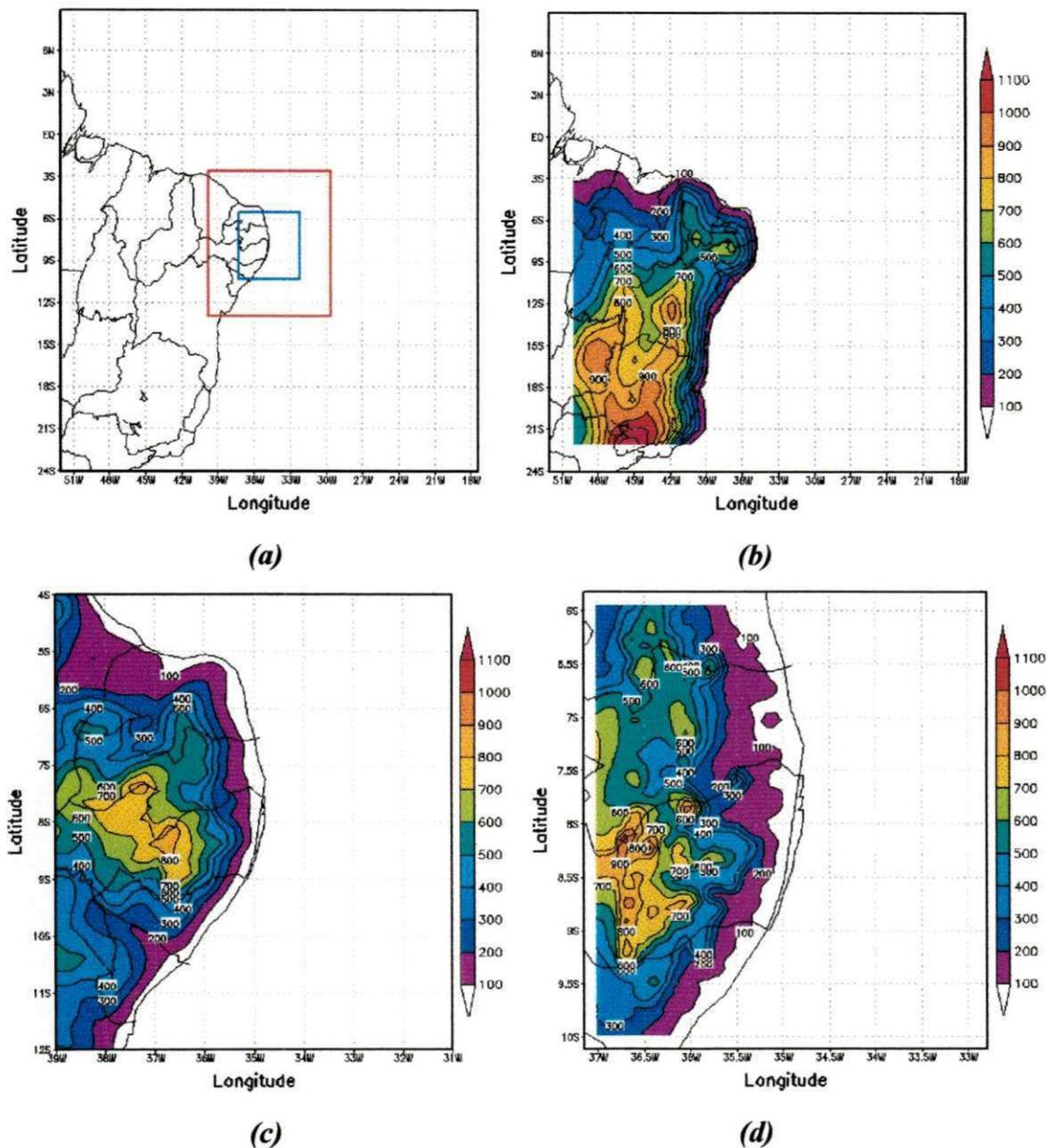


Figura 2 – (a) Grades utilizadas nas simulações: A grade mais externa, em preto, corresponde à grade 1. A intermediária, em vermelho, corresponde à grade 2 e a menor, em azul, corresponde à grade 3. A topografia utilizada pelo modelo pode ser vista nas figuras: (b) para grade 1, (c) para grade 2 e (d) para grade 3.

Tabela 1 – Características horizontais das grades utilizadas

Grade	Resolução (km)	Número de Pontos (X x Y)	Centro (Lat./Long.)
1	112	35 x 34	8°S / 35°W
2	28	41 x 41	8°S / 35°W
3	7	69 x 69	8°S / 35°W

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. O Caso Sinótico

Em julho de 2000, a atuação de DOL e a formação de Cavados em Ar Superior favoreceram a ocorrência de chuvas no setor Leste do Nordeste do Brasil.

As Figuras de 4 a 11 ilustram episódios nos quais se verificou a atuação de aglomerados de nuvens, associados à formação de DOL, e considerável aumento das chuvas durante o mês de julho, em particular no setor Leste do NEB, quando os totais diários em alguns estados foram superiores a 100,0 mm e atingiram até 300,0 mm no início e final do mês, respectivamente (Figura 3).

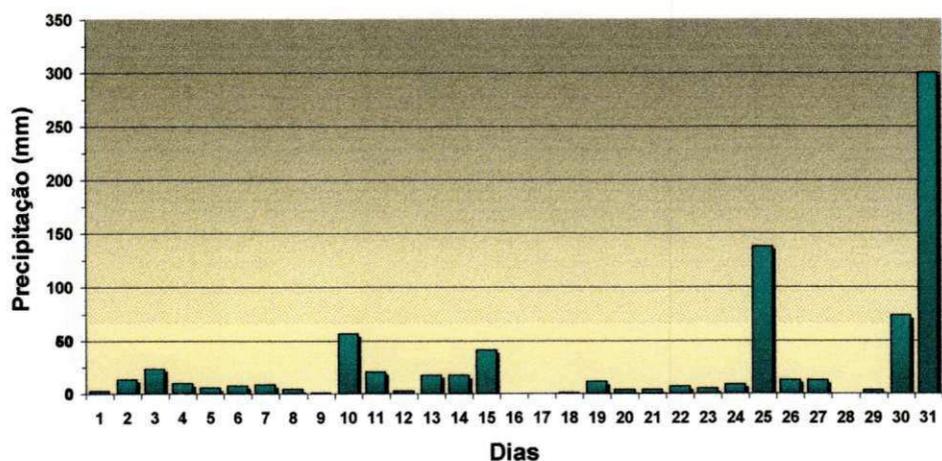


Figura 3 – Precipitação diária (mm), do mês de julho de 2000, no município de Barreiros I (Mata Meridional de Pernambuco)

A formação de Cavado em Ar Superior foi notada principalmente no decorrer da primeira quinzena do mês (Figura 4) e interagiu com a atuação de DOL.

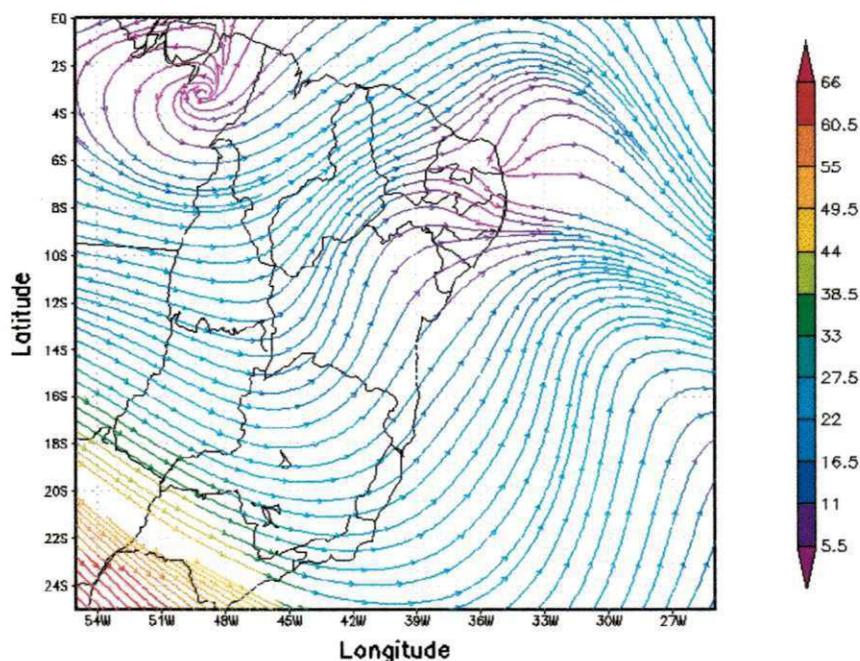


Figura 4 – Campo de vento horizontal (m/s), em 200 hPa, no dia 12/07/2000, a 00:00 UTC

Já a atuação de anticiclones nos altos níveis da atmosfera (Figura 12) foi mais evidente durante a segunda quinzena, particularmente entre os dias 16 e 17/07/2000 e 23 a 25/07/2000, quando se configurou pequeno período sem chuvas em alguns estados. Contudo, nos baixos níveis, a atuação de distúrbios de leste continuou, até o final do mês, favorável ao aumento da nebulosidade e das chuvas, conforme ilustra a Figura 11 para o dia 31/07/2000 (PBCLIMA, Ano VI, n. 7, 2000).

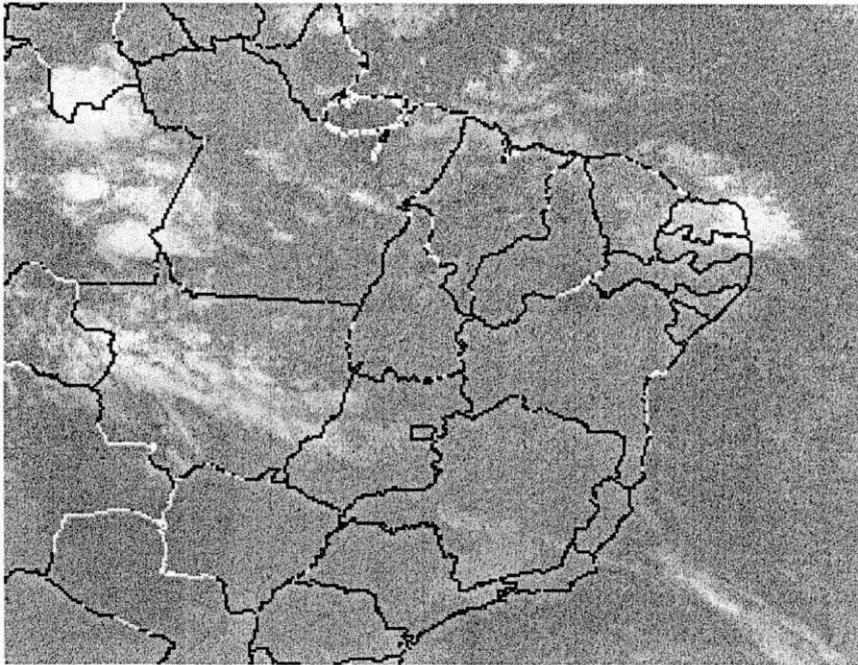


Figura 5 - Imagem do satélite GOES 8, no canal infravermelho em 01/07/2000 às 09:00 UTC

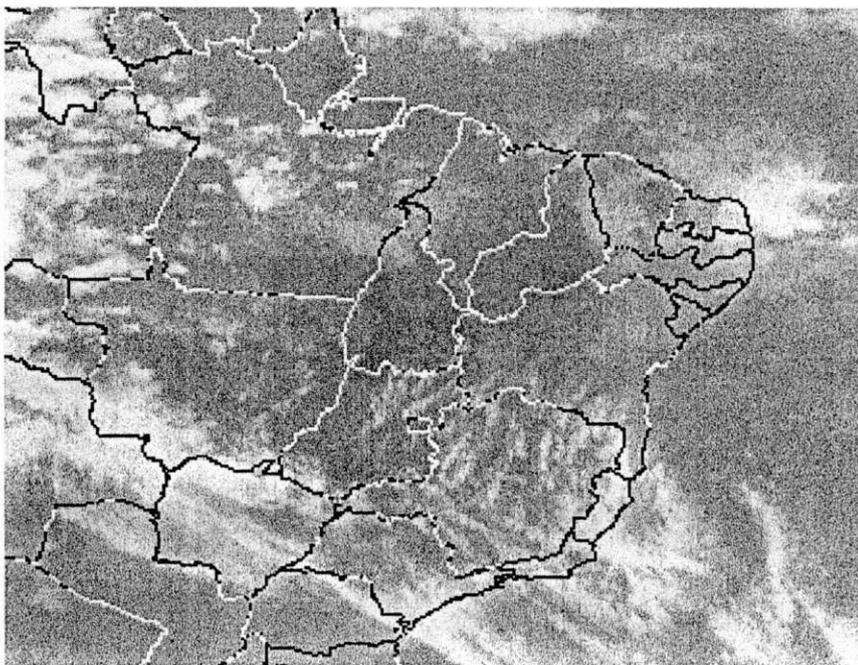


Figura 6 - Imagem do satélite GOES 8, no canal infravermelho em 03/07/2000 às 18:00 UTC

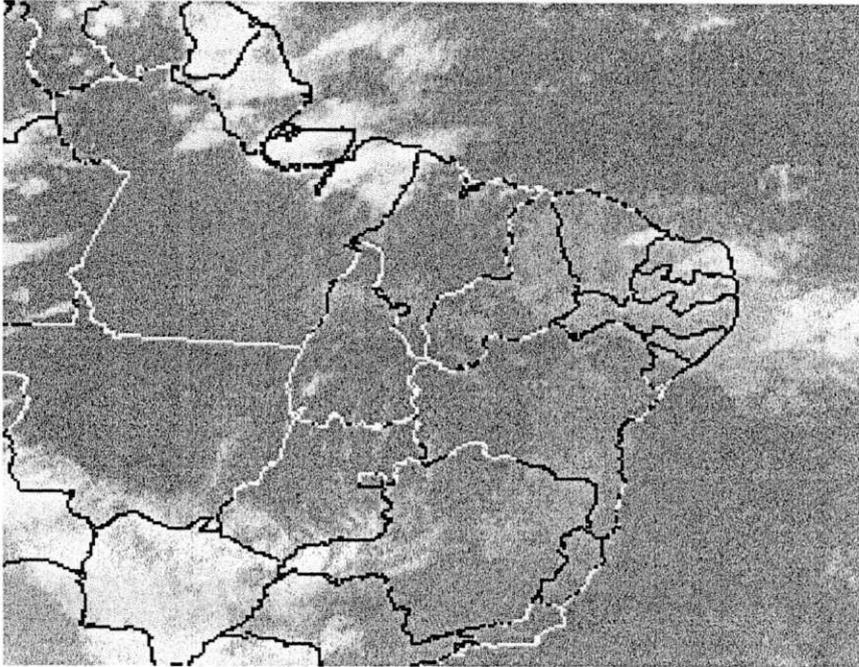


Figura 7 - Imagem do satélite GOES 8, no canal infravermelho em 10/07/2000 às 21:00 UTC

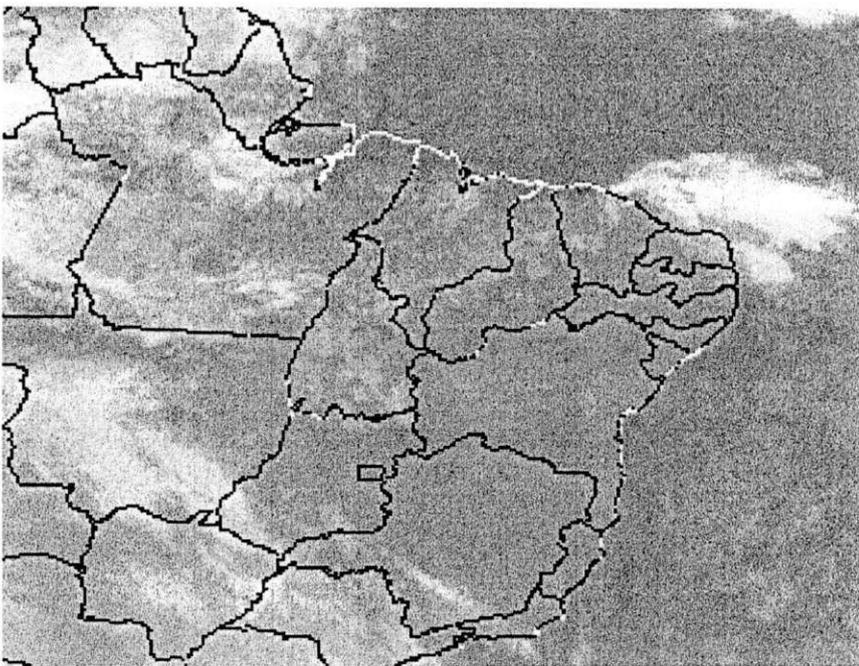


Figura 8 - Imagem do satélite GOES 8, no canal infravermelho em 12/07/2000 às 09:00 UTC

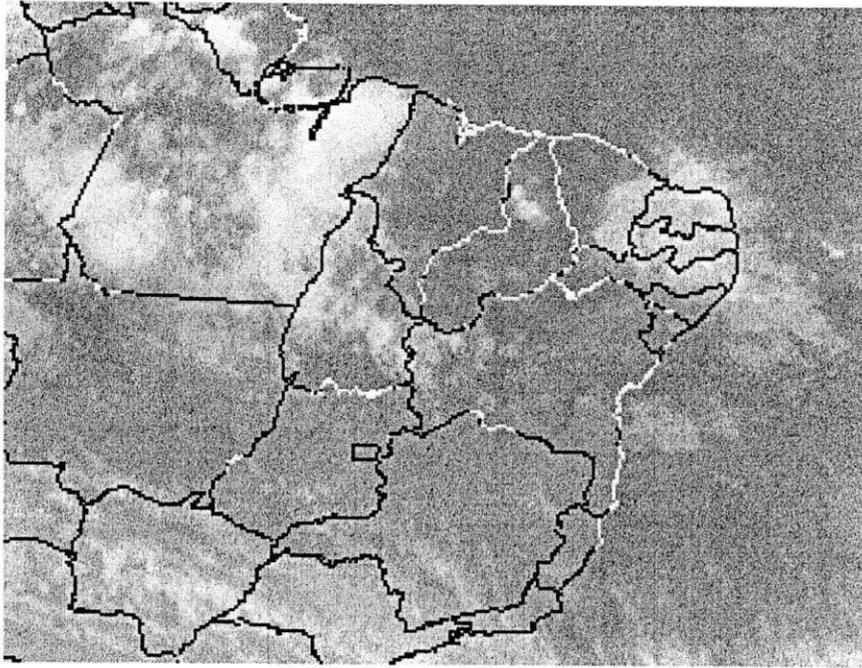


Figura 9 - Imagem do satélite GOES 8, no canal infravermelho em 20/07/2000 a 00:00 UTC

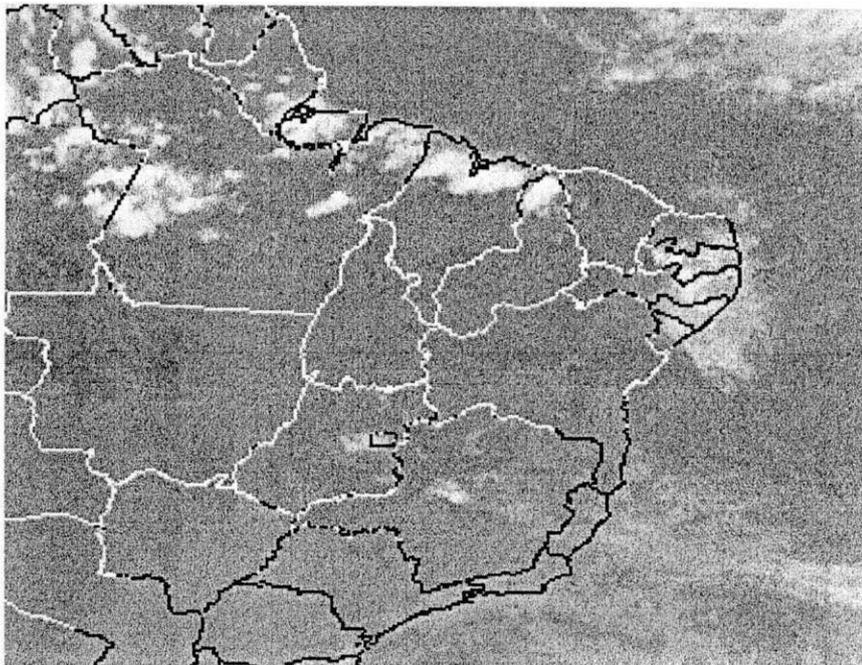


Figura 10 - Imagem do satélite GOES 8, no canal infravermelho em 26/07/2000 às 21:00 UTC

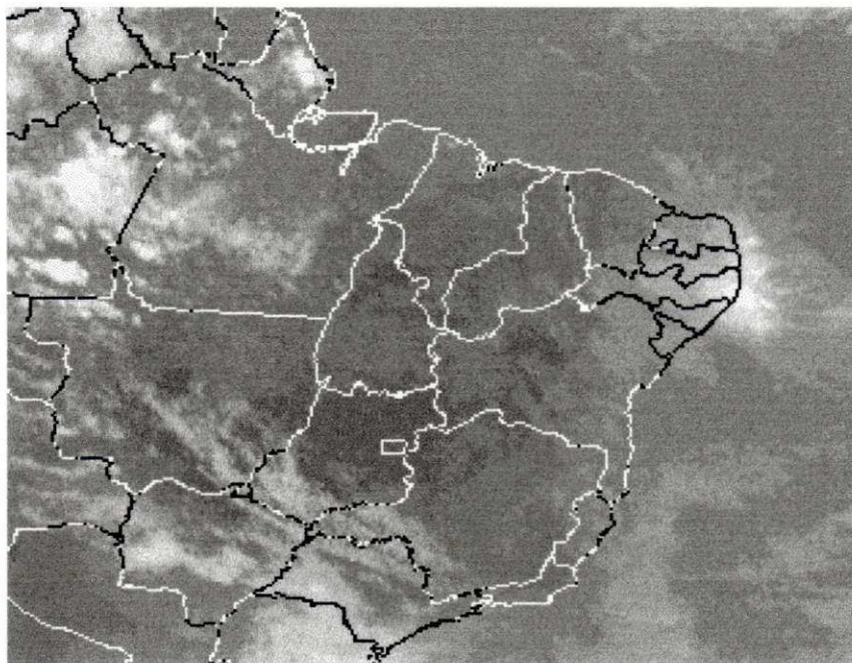


Figura 11 - Imagem do satélite GOES 8, no canal infravermelho em 31/07/2000 às 18:00 UTC

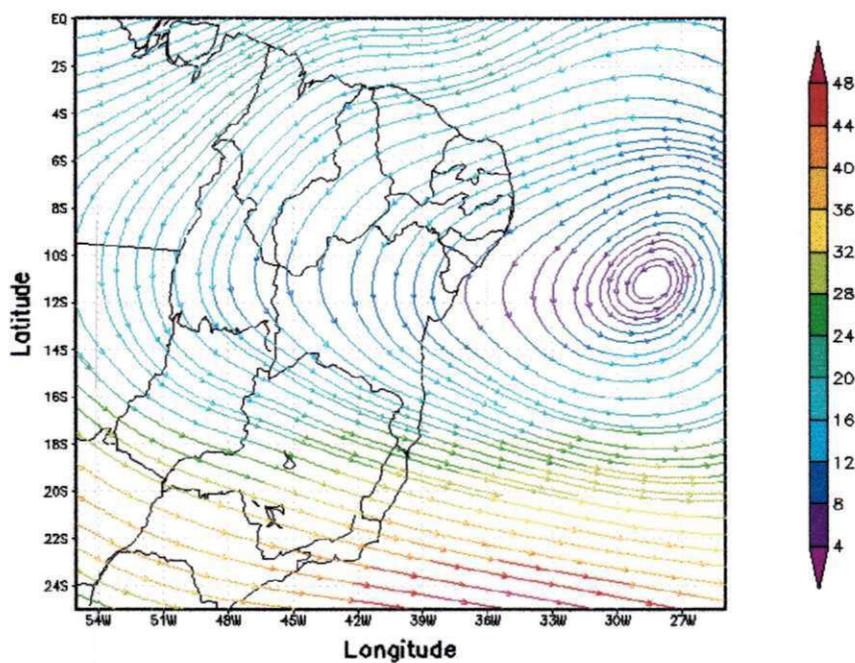


Figura 12 – Campo de vento horizontal (m/s), em 200 hPa, no dia 25/07/2000, a 00:00 UTC

Para um melhor acompanhamento do deslocamento da nebulosidade, associada ao distúrbio de leste, a Figura 13 traz uma seqüência de imagens do evento do dia 31 de julho para o dia 01 de agosto de 2000, o qual foi simulado no presente trabalho.

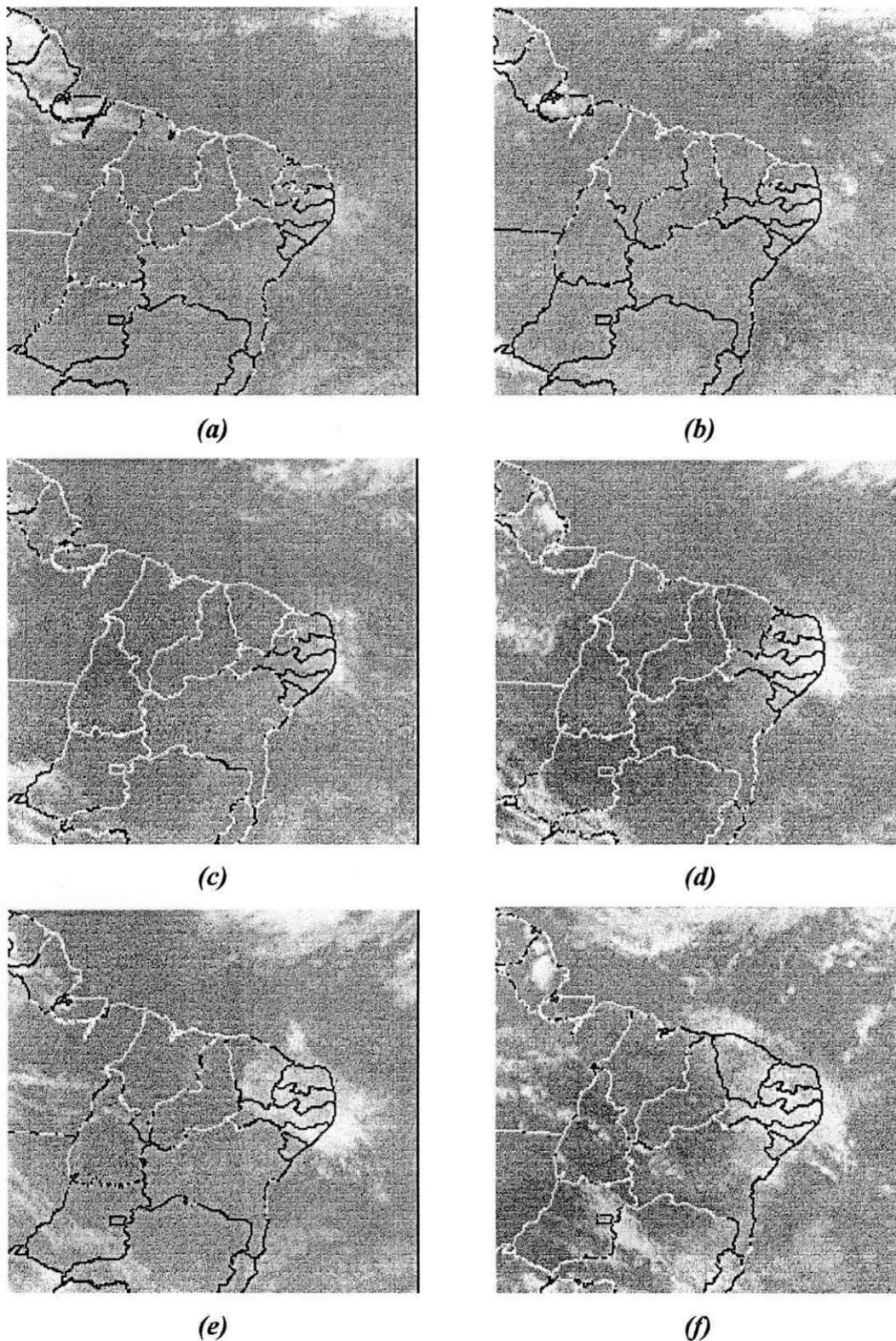


Figura 13 – Seqüência de imagens do satélite GOES 8, no canal infravermelho, nos dias: (a) 31/07 a 00:00 UTC, (b) 31/07 às 06:00 UTC, (c) 31/07 às 12:00 UTC, (d) 31/07 às 18:00 UTC, (e) 01/08 às 03:00 UTC e (f) 01/08 às 18:00 UTC, do ano de 2000

Com o intuito de melhorar a compreensão da situação sinótica que se configurou no dia do evento, fez-se uma análise mais detalhada entre os dias 30/07/2000 e 01/08/2000. Foram analisados os campos de linhas de corrente, umidade específica e velocidade vertical, utilizando-se os dados de reanálises do NCAR/NCEP, dos meses de julho e agosto de 2000. Os campos meteorológicos, das variáveis analisadas, apresentaram-se com as configurações descritas a seguir.

Em 30/07/2000, no nível de 1000 hPa, o campo de linhas de corrente apresentou-se com isolinhas praticamente perpendiculares à costa leste do NEB, principalmente entre o litoral norte da Bahia e litoral sul de Pernambuco, o que indica um maior transporte de umidade do oceano em direção àquela região (Figura 14). Entre Pernambuco e o Rio Grande do Norte, a umidade específica apresentava valores de até 16 g/kg (Figura 15). Já no nível de 500 hPa, observou-se a formação de um anticiclone com centro sobre parte do litoral leste do Nordeste e oceano adjacente. Porém, o movimento vertical em tal camada da atmosfera era ascendente, como será visto mais adiante, o que favoreceu ao desenvolvimento do distúrbio ocorrido em seguida. Em 700 hPa, que é o nível onde melhor são observados os distúrbios ondulatórios na corrente de vento zonal (MOTA, 1997), pode-se ver claramente a perturbação no vento na região da costa leste do NEB e oceano adjacente (Figura 16). O transporte de umidade, associado às perturbações ondulatórias de leste, e as anomalias de TSM, que oscilavam entre 0,5°C e 1°C positivo em praticamente toda costa Leste do NEB (Figura 17), formaram um quadro muito favorável ao desenvolvimento de sistemas convectivos profundos.

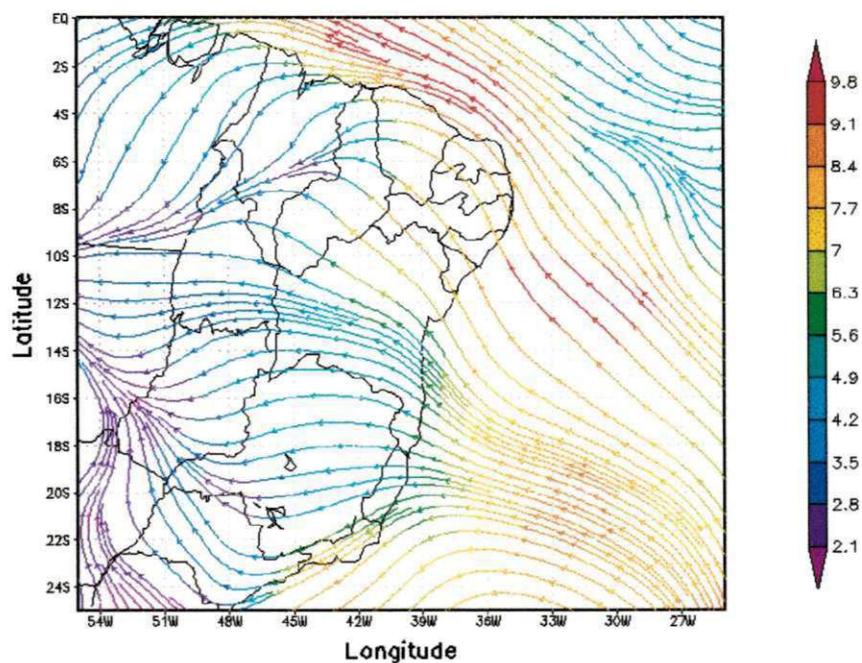


Figura 14 - Linhas de Corrente em 1000 hPa, em 30/07/2000 a 00:00 UTC

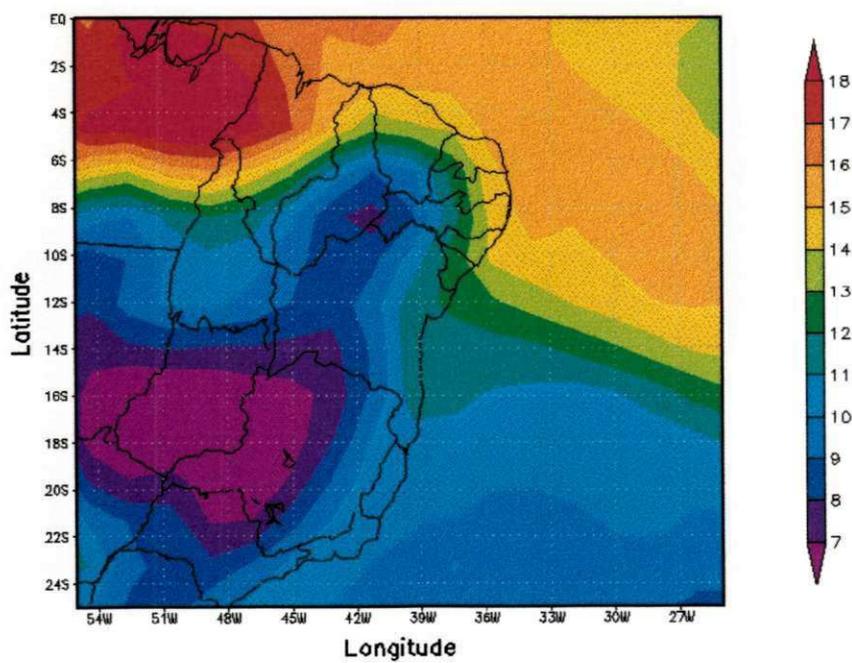


Figura 15 - Umidade específica (g/kg) em 1000 hPa, em 30/07/2000 a 00:00 UTC

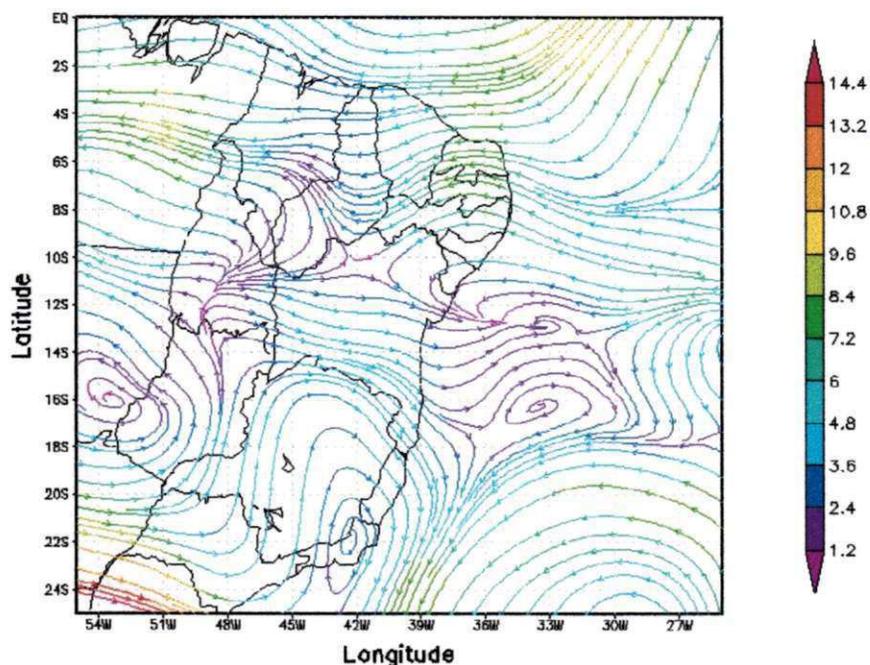


Figura 16 - Linhas de Corrente em 700 hPa, em 30/07/2000 às 12:00 UTC

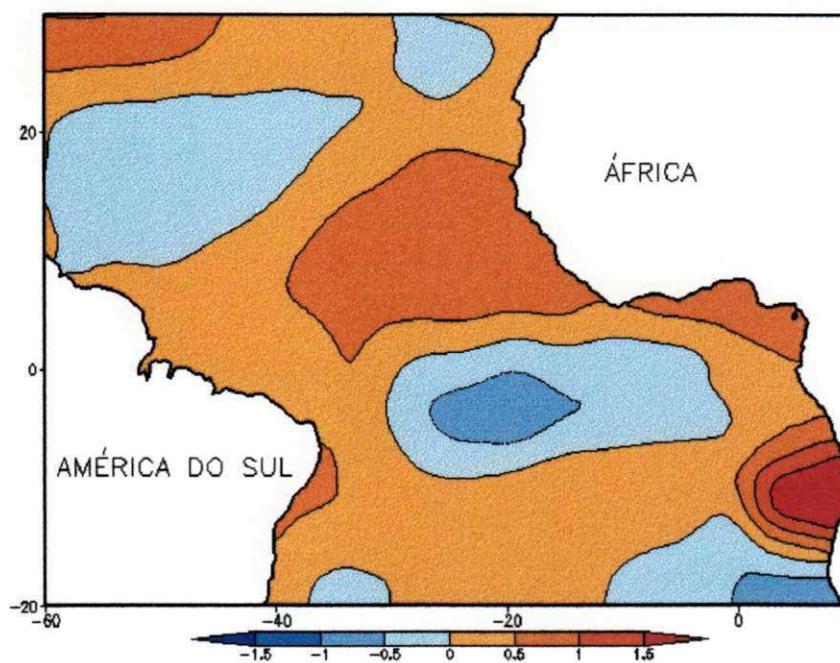


Figura 17 - Anomalia de TSM em julho/2000. Na região do Oceano Atlântico Tropical (Analisada em grade de 2 graus). Fonte: J. Servain, ORSTOM/BREST

No dia 31/07/2000, o vento próximo à superfície continuou favorável (Figura 18) e houve uma intensificação da perturbação no campo de vento zonal, em 700 hPa. Adjacente ao litoral de Pernambuco ao Rio Grande do Norte, os valores de umidade

específica, em 1000 hPa, chegavam aos 17 g/kg (Figura 19). Também no nível de 500 hPa, foi registrado aumento nos valores de umidade específica do dia 30/07 para o dia 31/07/2000. As chuvas mais intensas chegaram a totais de até 300,0 mm, valor este registrado nesse dia no município de Barreiros I, localizado na Mata Meridional Pernambucana.

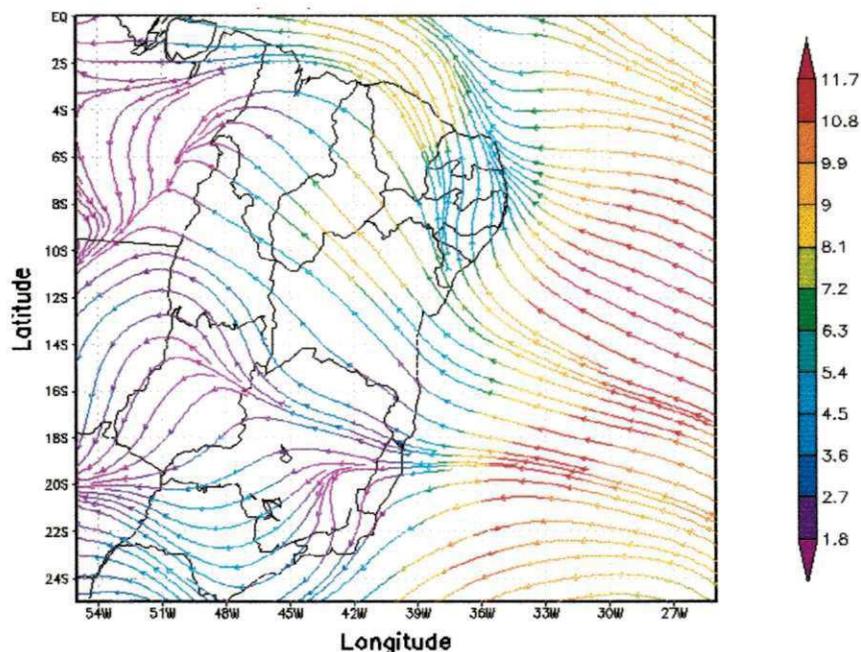


Figura 18 - Linhas de Corrente em 1000 hPa, em 31/07/2000 às 12:00 UTC

No dia 01/08/2000, os ventos continuavam favoráveis, porém menos intensos. A umidade específica voltou a apresentar valores de até 16 g/kg no nível de 1000 hPa, contudo, no nível de 500 hPa, foram registrados os mais altos valores de umidade específica para o período, na costa Leste do NEB, onde foram registrados valores de até 4,5 g/kg (Figura 20). A precipitação neste dia também foi intensa, com muitos postos registrando totais superiores a 200,0 mm, como por exemplo os postos de Ipojuca (270,2 mm), Camaragibe (259,1 mm), Sirinhaem I (215,2 mm) e Recife (Santo Amaro – CODECIPE) (214,0 mm).

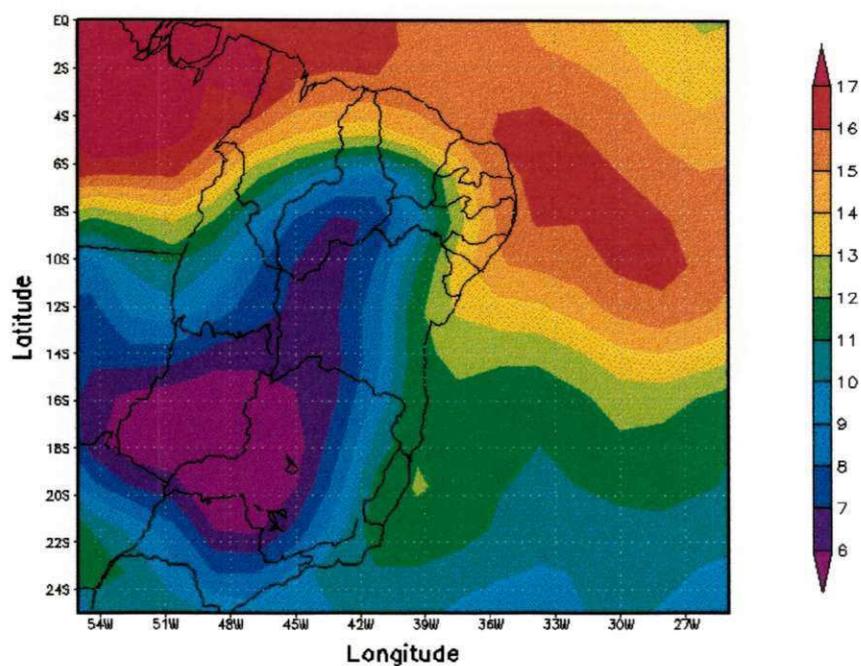


Figura 19 - Umidade específica (g/kg) em 1000 hPa, em 31/07/2000 a 00:00 UTC

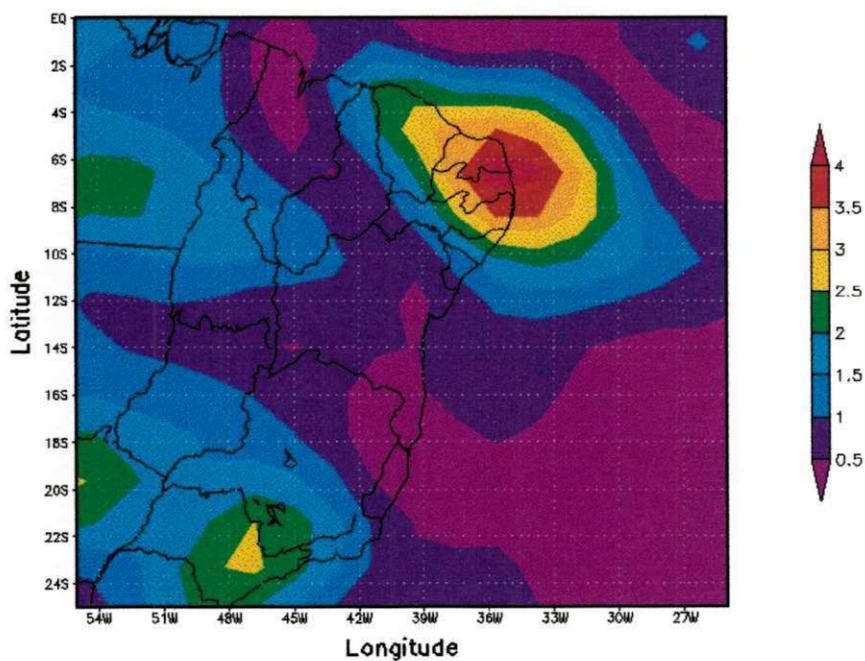


Figura 20 - Umidade específica (g/kg) em 500 hPa, em 01/08/2000 a 00:00 UTC

Fazendo-se uma análise mediante corte vertical da atmosfera, em 35°W de longitude, entre 40°S e 10°N de latitude, e entre os níveis 1000 hPa e 200 hPa, do dia 29/07 a 00:00 UTC ao dia 02/08/2000 a 00:00 UTC para o movimento vertical (ω) (Figura 21), pode-se acompanhar a formação, o desenvolvimento e a dissipação do

sistema. No dia 29/07 às 12:00 UTC nota-se o surgimento de uma região com movimentos ascendentes, centrada em 10°S, melhor configurada que no horário anterior, porém com magnitude similar (de até -0,15 Pa/s), e com área de atuação entre 800 hPa e a superfície. Passadas 24 horas, ou seja, às 12:00 UTC do dia 30/07, essa área se expande chegando até próximo do nível de 500 hPa o seu núcleo mais intenso, que neste dia e horário apresentou valores superiores à -0,2 Pa/s, centrado no nível de 700 hPa. Após mais 24 horas, no dia 31/07 às 12:00 UTC, o sistema atingiu seu ápice, a área com movimentos verticais se expandiu verticalmente e intensificou. Valores de até -0,25 Pa/s atingiram o nível de 400 hPa, e entre 500 e 600 hPa foram registrados valores superiores a -0,3 Pa/s. A partir daí, o sistema começou a dissipar, apresentando valores de até -0,25 Pa/s no dia 01/08 a 00:00 UTC e de apenas -0,2 Pa/s, nos baixos níveis, no dia 02/08 a 00:00 UTC.

De particular interesse, para o presente estudo, foi o caso ocorrido do dia 31/07 para o dia 01/08/2000 que será investigado aqui. O evento foi bastante divulgado na imprensa de Pernambuco e nacional (Ver Apêndice B).

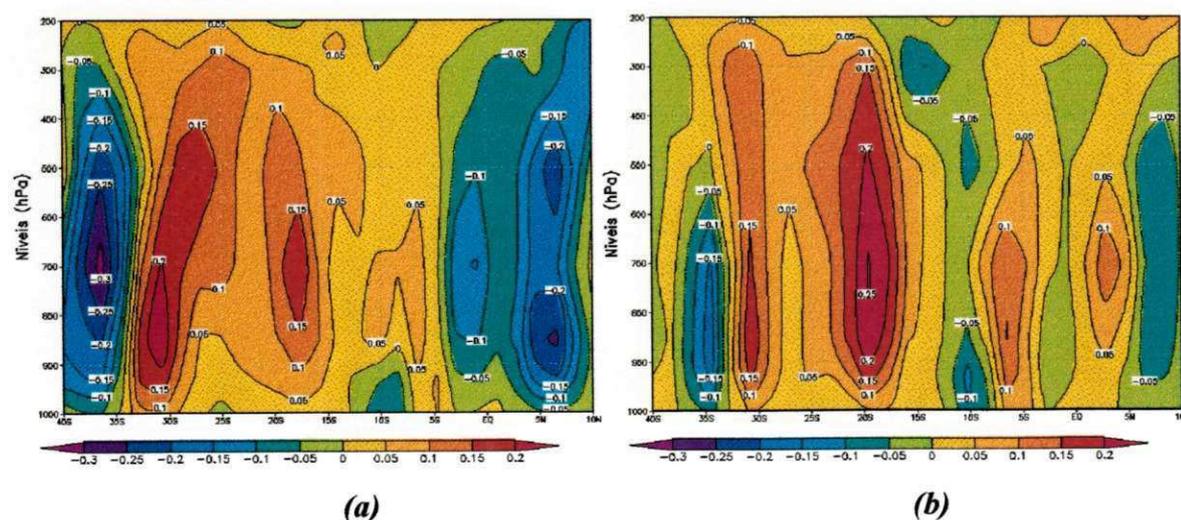


Figura 21 - Corte vertical, sobre 35°W de longitude, do movimento vertical (Pa/s), entre 40°S e 10°N, nos dias: (a) 29/07 a 00:00 UTC, (b) 29/07 às 12:00 UTC, (c) 30/07 a 00:00 UTC, (d) 30/07 às 12:00 UTC, (e) 31/07 a 00:00 UTC, (f) 31/07 às 12:00 UTC, (g) 01/08 a 00:00 UTC e (h) 02/08 a 00:00 UTC de 2000 (Continua)

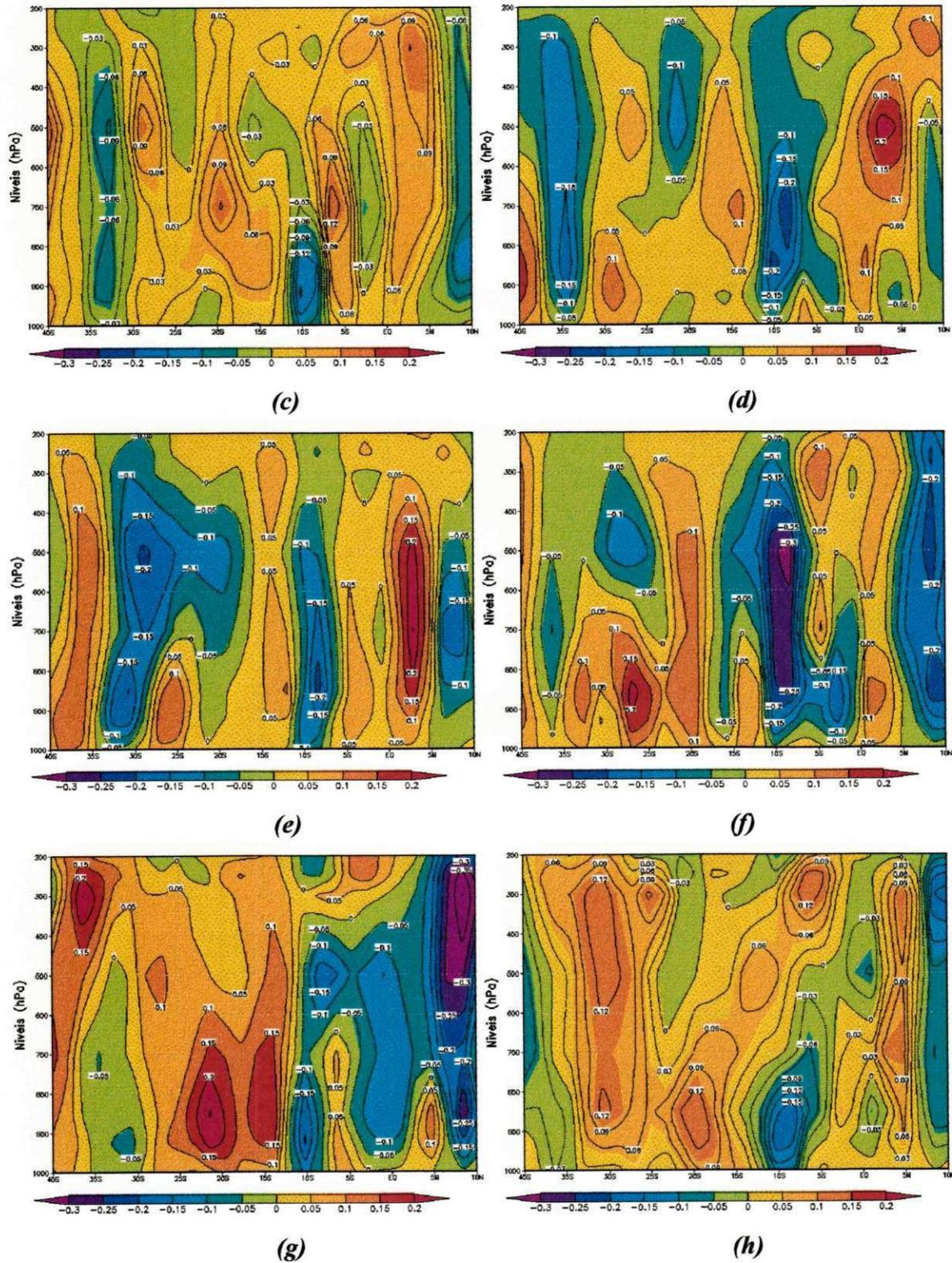


Figura 21 - Continuação

4.2. A Velocidade Vertical (w)

A partir daqui os campos apresentados referem-se aos resultados das simulações com o RAMS.

Inicialmente analisou-se, em todas as grades, os cortes verticais da velocidade vertical (w) na atmosfera, como também a evolução temporal dessa variável sobre as cidades de Recife e Maceió pertencentes, respectivamente, aos estados mais atingidos pelas chuvas do período, Pernambuco e Alagoas.

Na grade 1 os valores da velocidade vertical ascendente (w positivo) estiveram mais evidentes na faixa de latitude de 8°S a 10°S, durante todo o período de integração. Os maiores valores simulados, obtidos ao longo do experimento, foram superiores a 0,08 m/s, registrados no dia 30 de julho de 2000 às 18:00 UTC (Figura 22). Resultado este que concorda com o período das chuvas, tanto nos resultados da simulação quanto nos dados observados, como será visto na análise da precipitação mais adiante. Em todos os horários os valores mais significativos de w estiveram confinados abaixo dos 700 hPa.

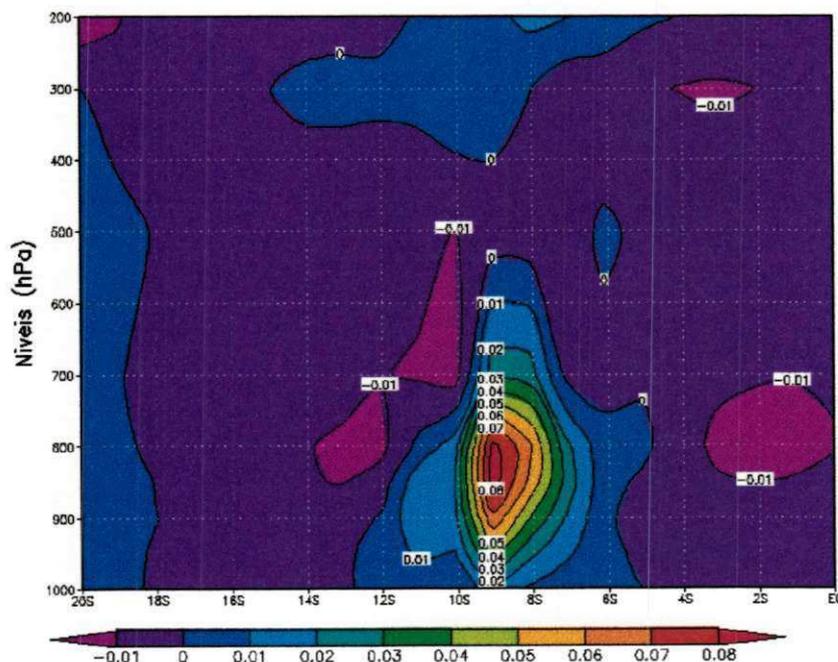


Figura 22 – Corte vertical da velocidade vertical (w), em m/s, sobre a longitude de 35°W, simulada na grade 1, dia 30/07/2000 às 18:00 UTC

A simulação do movimento vertical (w) na grade 2 mostrou concentração dos valores positivos de w entre as latitudes de 8°S a 9°S, com os maiores valores positivos concordando em data e horário com a grade 1, e ultrapassando os 0,18 m/s (Figura 23). É interessante observar que a velocidade vertical atingiu os altos níveis da atmosfera, acima dos 300 hPa, com valores de até 0,04 m/s (Figura 24).

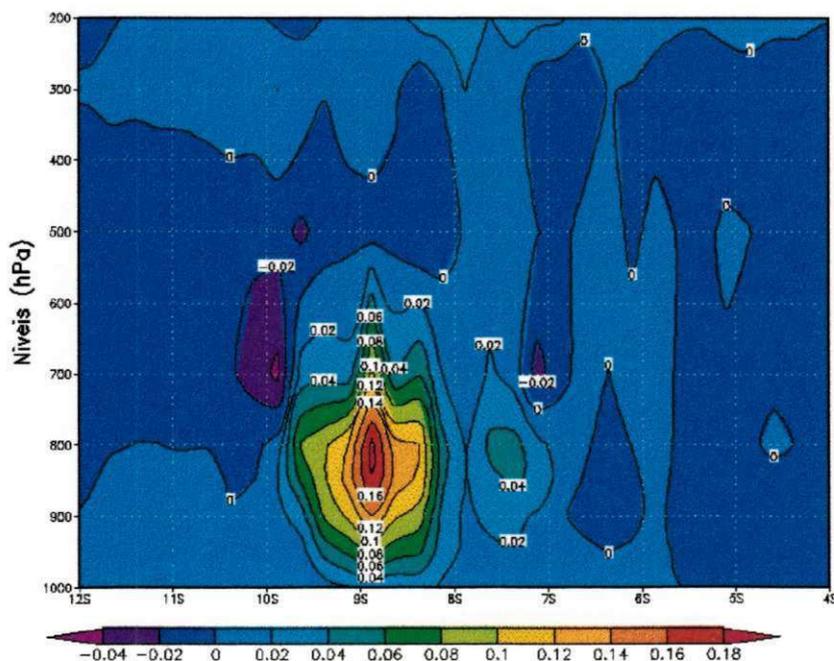


Figura 23 – Corte vertical da velocidade vertical (w), em m/s, sobre a longitude de 35°W, simulada na grade 2, dia 30/07/2000 às 18:00 UTC

Já a grade 3 apresentou resultados bastante significativos. A simulação indicou maior movimento vertical ascendente entre as latitudes de 8,5°S a 9°S, o que indica grande concordância com o evento ocorrido, não só pela região como também pelo dia e valores previstos nesta grade. Os maiores valores de w para a grade 3, que foram registrados no dia 31 de julho de 2000 a 00:00 UTC, chegaram a ultrapassar os 0,35 m/s, entre 800 e 900 hPa, e apresentou um núcleo secundário centrado em 300 hPa, com valores também superiores a 0,35 m/s (Figura 25).

Note-se também que a grade 3 mostra mais nitidamente a subsidência que geralmente ocorre na vizinhança de regiões de forte movimento ascendente.

Comparando-se as três grades pode-se ver como se ganha em detalhes à medida que se aumenta a resolução horizontal.

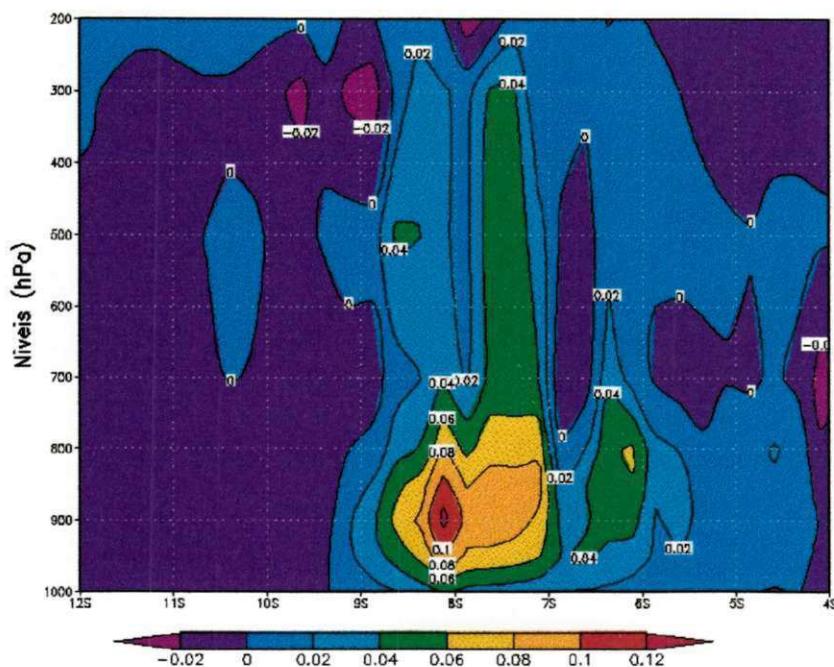


Figura 24 – Corte vertical da velocidade vertical (w), em m/s, sobre a longitude de 35°W, simulada na grade 2, dia 01/08/2000 às 18:00 UTC

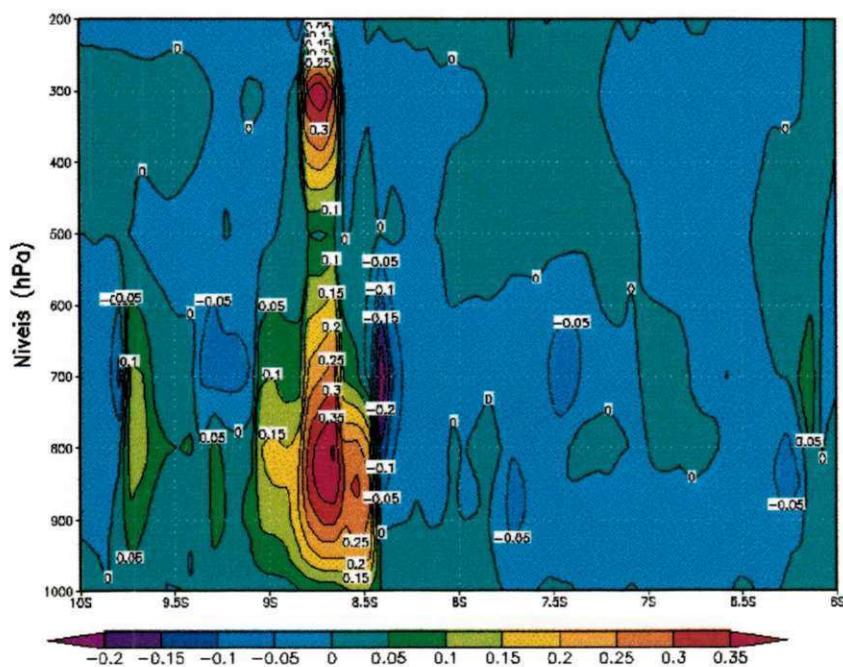


Figura 25 – Corte vertical da velocidade vertical (w), em m/s, sobre a longitude de 35°W, simulada na grade 3, dia 31/07/2000 a 00:00 UTC

A Figura 26 mostra a evolução temporal da velocidade vertical (w), em cortes verticais na atmosfera, sobre as cidades de Recife e Maceió, nas três resoluções espaciais.

Sobre a cidade de Recife – PE, na grade 1 (Figura 26 - a), observa-se que durante todo o período de integração a velocidade vertical apresentou valores positivos até em torno de 700 hPa, o que indica movimento predominantemente ascendente. Com relação aos núcleos mais intensos da velocidade vertical, destaca-se o que se configurou entre as 12 UTC do dia 30 de julho e início do dia 31 de julho, o qual apresentou núcleo com valores um pouco acima de 0,06 m/s, próximo do nível de 800 hPa. Esse resultado está coerente com o período de maior precipitação observada, que será visto na Figura 23 mais adiante, já que os maiores índices foram registrados no dia 31 de julho de 2000, acompanhados pelo dia 30 de julho de 2000. Na grade 2 também se observam valores predominantemente positivos, da velocidade vertical, abaixo do nível de 700 hPa (Figura 26 - c). Observam-se núcleos mais intensos de w no mesmo período que o citado para a grade anterior, porém os maiores foram previstos ao longo do dia 1º de agosto de 2000, próximo da 00:00 UTC do dia 2 de agosto de 2000, quando o modelo previu alguns núcleos com valores da velocidade vertical superiores a 0,12 m/s. De acordo com os dados registrados na região da cidade do Recife-PE, as principais chuvas desse município e vizinhança realmente ocorreram no dia 1º de agosto de 2000. Tome-se como exemplo os dados da PCD de Recife, que havia registrado 114,5 mm no dia 31 de julho de 2000, e registrou 169,5 mm no dia 1º de agosto de 2000, e da cidade de Olinda-PE, que do dia 31 de julho para o dia 1º de agosto de 2000, passou de 34,2 mm para 160,5 mm. Na grade de maior resolução, na grade 3, o campo com a variável aparece com maior riqueza de detalhes (Figura 26 - e), concordando em linhas gerais com o que foi dito para as duas grades anteriores, inclusive os dias e horários dos núcleos mais intensos de w . Nesta grade, os valores que apareceram no núcleo configurado entre os dias 30 e 31 de julho de 2000 foram de até 0,12 m/s, também em torno de 800 hPa. E para o final do dia 1 de agosto, surgiram valores um pouco acima de 0,21 m/s.

Sobre a cidade de Maceió – AL os valores para w também foram predominantemente positivos abaixo dos 700 hPa, nas três grades. Na grade 1 o principal núcleo, dentro de todo o período, esteve entre 00:00 UTC e 12:00 UTC do dia 31 de julho de 2000, e apresentou valores para w superiores a 0,08 m/s próximos ao nível de 800 hPa (Figura 26 - b). Resultado bastante coerente com o período dos maiores valores de

precipitação observados, conforme mencionado anteriormente. Na grade 2 houve a configuração de um núcleo com características similares ao descrito para grade anterior, porém com valores da velocidade vertical de até 0,14 m/s (Figura 26 - *d*). Observou-se também a formação de um outro núcleo, centrado no dia 1 de agosto às 12:00 UTC, o qual apresentou valores um pouco superiores a 0,14 m/s, centrados em 900 hPa. Na grade 3, sobre Maceió (Figura 26 - *f*), nota-se o predomínio de valores positivos de w , durante o período de integração, mais claramente que sobre Recife. Neste campo há um núcleo que se destaca, também às 12:00 UTC do dia 1 de agosto de 2000, com valores um pouco superiores a 0,21 m/s.

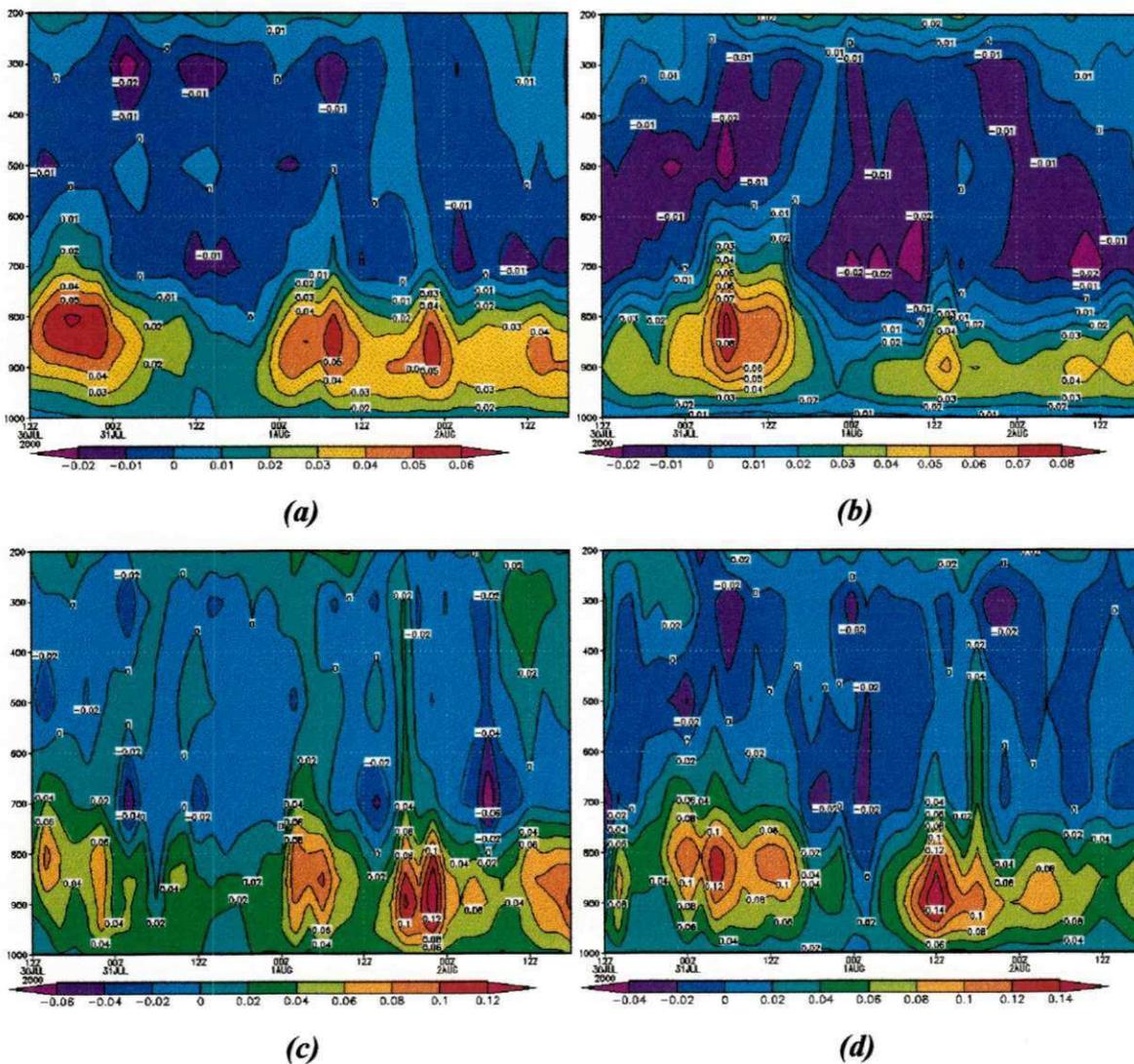


Figura 26 – Evolução temporal da velocidade vertical (w), em m/s, sobre Recife-PE: (a) grade 1, (c) grade 2, e (e) grade 3; e sobre Maceió-AL: (b) grade 1, (d) grade 2, e (f) grade 3 (Continua)

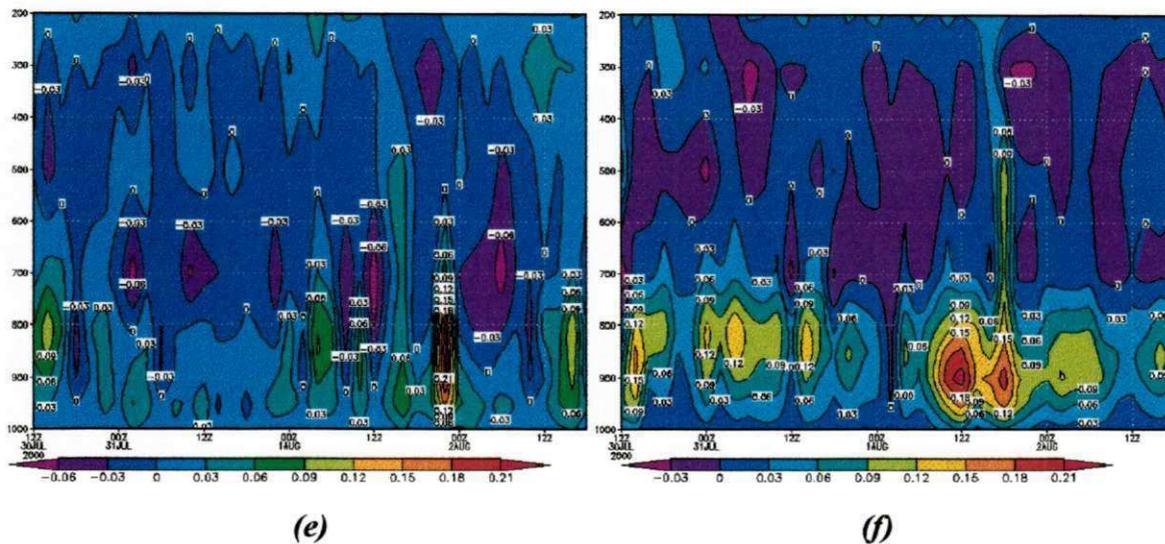


Figura 26 – Continuação

4.3. Precipitação

De acordo com a precipitação observada no período de 30 de julho de 2000 a 02 de agosto de 2000 (Figura 27), pode-se ver que os maiores índices ocorreram no dia 31 de julho, entre o litoral sul de Pernambuco e o litoral norte de Alagoas, quando os totais pluviométricos estiveram em torno dos 180,0 mm. Vale salientar que os dados da Figura 27 estão interpolados sobre a região. Sabe-se que valores pontuais chegaram a atingir os 300,0 mm neste dia, a exemplo de localidades no litoral sul de Pernambuco, como citado anteriormente.

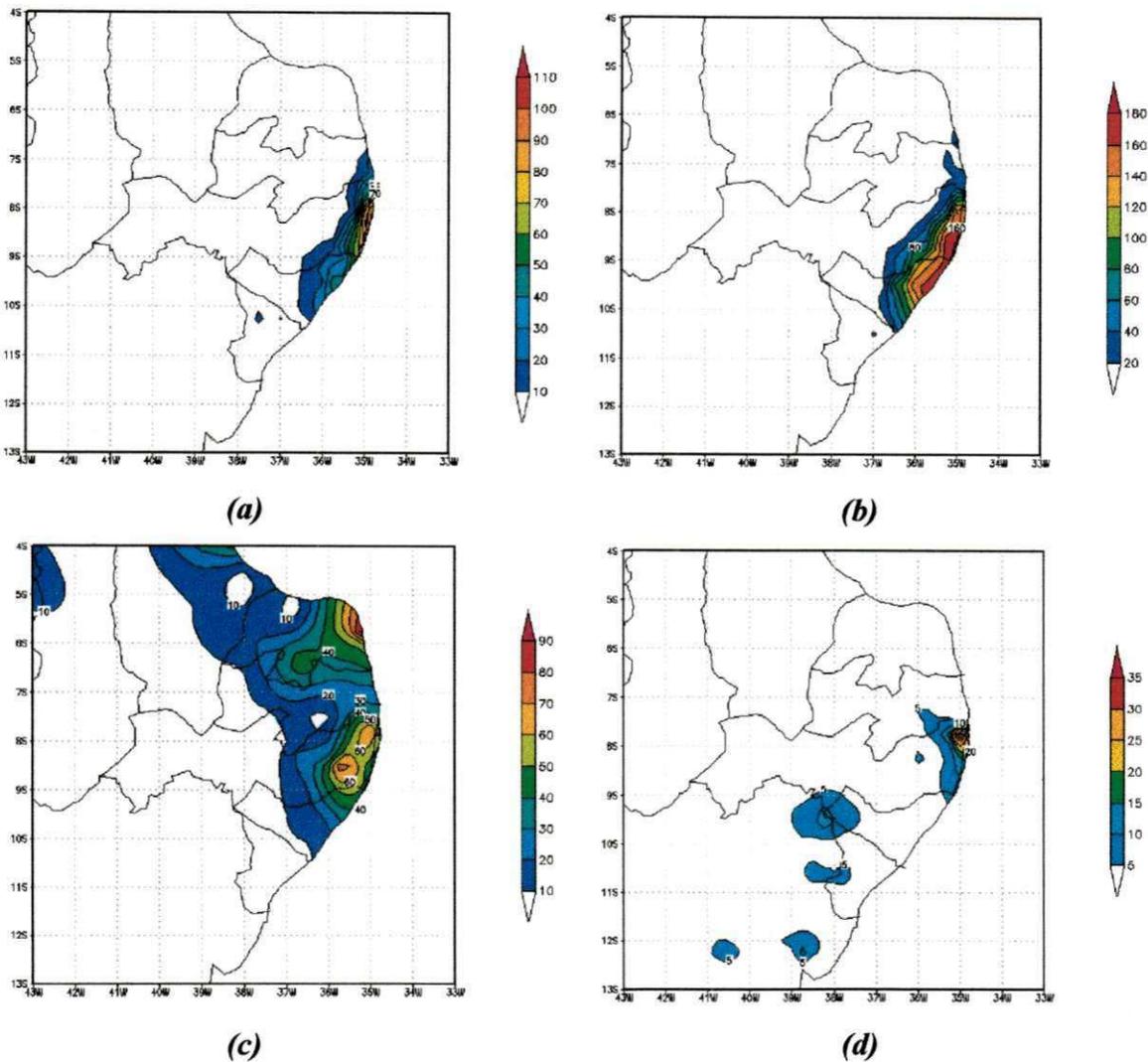


Figura 27 – Precipitação observada (mm), do dia 30/07/2000 à 02/08/2000: (a) dia 30/07/2000, (b) dia 31/07/2000, (c) dia 01/08/2000 e (d) dia 02/08/2000

Analisando-se os resultados da precipitação da grade 1, nota-se boa concordância, com relação à localização do evento, no caso da precipitação da microfísica. Esta grade obteve sucesso na localização do evento no dia 31 de julho (Figura 28 - a), como também registrou os maiores totais neste dia (em torno de 11,0 mm), porém esse resultado subestimou muito a precipitação observada, que chegou a índices em torno de 180,0 mm. Houve concordância também na redução das chuvas para os dias 01 e 02 de agosto, porém com diferenças significativas na área de abrangência da pluviometria, principalmente no dia 01 (Figura 28 - b), quando na realidade as chuvas se generalizaram de Alagoas ao Rio Grande do Norte, com totais menores, como foi visto na Figura 27 - c.

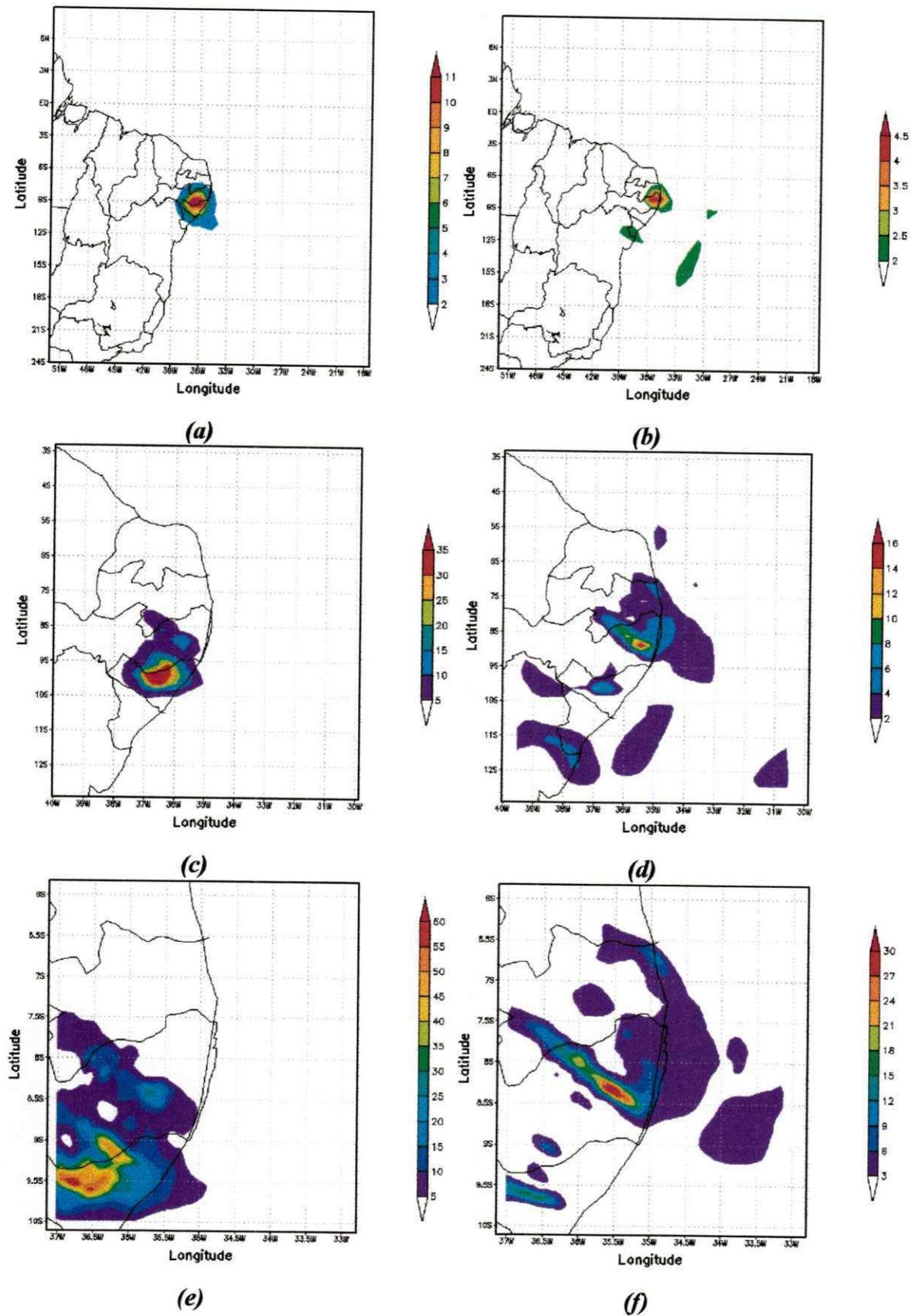


Figura 28 – Precipitação (mm) da microfísica simulada, na grade 1 para os dias: (a) dia 31/07 e (b) 01/08; na grade 2 para: (c) dia 31/07 e (d) 01/08 e na grade 3 para: (e) dia 31/07 e (f) 01/08 de 2000

Os resultados da pluviometria da microfísica, obtidos na grade 2, foram mais satisfatórios que os da grade 1. O modelo continuou acertando bem a região de atuação do sistema, como também o dia de maior intensidade das chuvas. Para o dia 31 de julho o modelo indicou pluviosidade diária em torno de 35,0 mm entre Pernambuco e Alagoas, porém um pouco para o interior do continente (Figura 28 - *c*). Também houve acerto no sentido da redução dos totais pluviométricos para os dias seguintes mas ainda com divergência na área total atingida (Figura 28 - *d*).

Como esperado, a grade de maior resolução (a grade 3) melhorou ainda mais os resultados positivos das duas grades anteriores. Essa grade também acertou bem a localização do sistema. Como as anteriores, indicou que os maiores totais ocorreriam no dia 31 de julho de 2000, no qual o modelo previu índices em torno de 60,0 mm para região entre Pernambuco e Alagoas (Figura 28 - *e*). Contudo, esses maiores totais também estiveram um pouco deslocados continente adentro como na grade 2. Como nos casos anteriores, houve redução gradativa dos índices pluviométricos observados (Figura 28 - *f*). Um caso interessante, das grades 2 (Figura 29 - *a*) e 3 (Figura 29 - *b*), foi o do dia 02 de agosto de 2000, quando o modelo indicou um núcleo com índices mais elevados sobre a Paraíba, quando nos dados observados este núcleo esteve localizado sobre o litoral norte de Pernambuco. A localização desse núcleo ($7,3^{\circ}\text{S}$ e 36°W) coincidiu com a localização do município de Campina Grande ($7,2^{\circ}\text{S}$ e $35,9^{\circ}\text{W}$) na Paraíba.

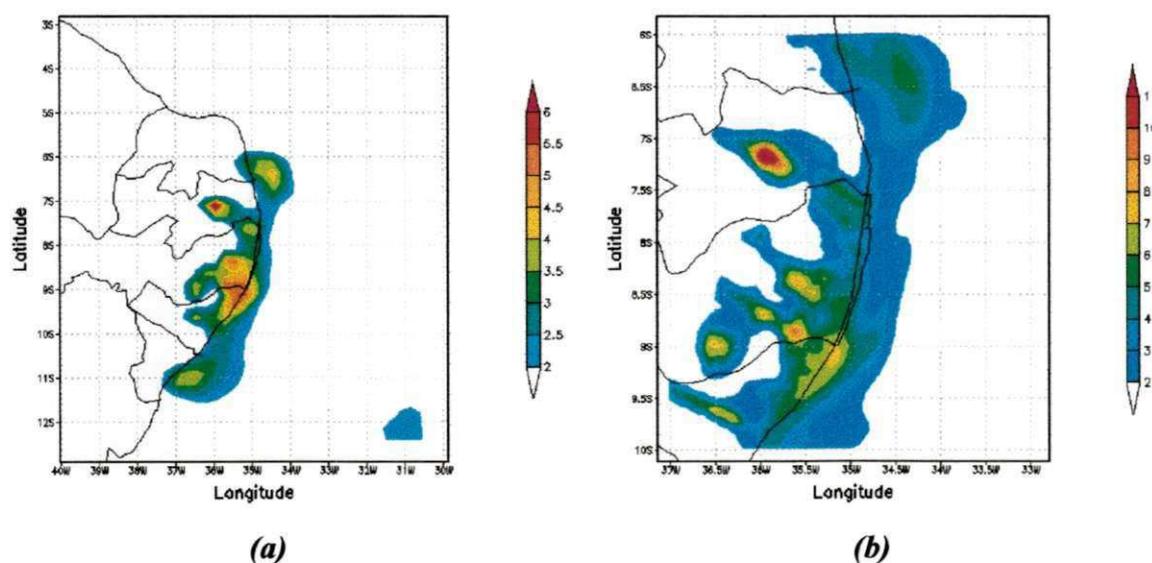


Figura 29 – Precipitação (mm) da microfísica, simulada para o dia 02/08/2000, nas grades: (a) grade 2 e (b) grade 3

Verificando os dados observados no dia 02 de agosto de 2000, para essa localidade, constatou-se a ocorrência de 20,4 mm, indicando bom acerto da simulação, para a região.

A precipitação convectiva acumulada não obteve boa concordância com a área de atuação do sistema, como também houve uma subestimativa dos totais observados de pluviometria, nas três grades analisadas. Entretanto, tal variável também apresentou pontos positivos como serão vistos a seguir.

A Figura 30 - *a* traz a precipitação convectiva simulada, na grade 1, para o dia 31 de julho de 2000. Nota-se que os valores mais intensos de precipitação, esperados pela simulação, estão em torno de 8,0 mm. Observa-se também que, apesar de não prever um núcleo com chuvas mais fortes próximo de Pernambuco, existe um núcleo com pluviometria mais intensa, comparativamente aos outros valores da região, sobre o oceano, próximo à costa leste do Nordeste. Uma característica positiva da precipitação convectiva é que nela é possível capturar a atuação da grande escala, como é possível notar, nesta mesma figura, a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), o que não foi assinalado nas simulações com a precipitação da microfísica somente.

Para a grade 2, Figura 30 - *b*, nota-se que a simulação indica índices de pluviometria com o dobro do valor (16,0 mm) da grade 1, além de indicar a ocorrência de chuvas sobre o continente na região de interesse. como se observa sobre o estado de Alagoas, o que não foi indicado pela grade 1.

Finalmente na grade 3, Figura 30 - *d*, com a simulação para o dia 01 de agosto de 2000 nota-se que a precipitação convectiva já indica chuvas mais generalizadas ao longo de toda a costa leste do Nordeste, como também em muitas áreas dentro do continente. Note-se o núcleo no litoral de Pernambuco, entre 8°S e 9°S, concordando com os dados observados, com relação à região.

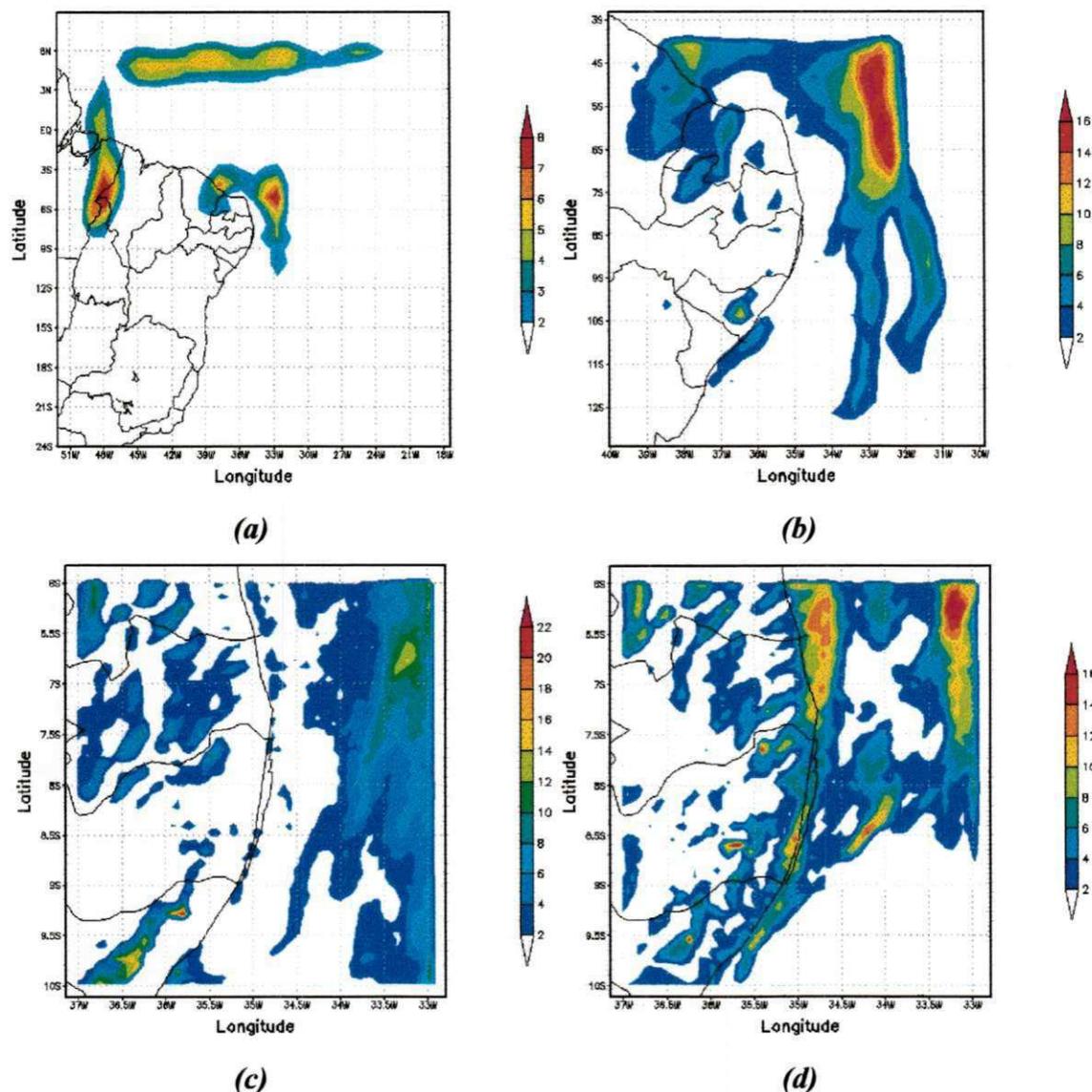


Figura 30 – Precipitação (mm) convectiva simulada: (a) na grade 1 para o dia 31/07, (b) na grade 2 para o dia 31/07, (c) na grade 3 para o dia 31/07e (d) na grade 3 para o dia 01/08 de 2000

Os resultados da precipitação analisados acima podem ser confirmados nos gráficos a seguir, que trazem a evolução temporal da precipitação da microfísica, sobre 35°W e entre faixas que variam de acordo com a resolução da grade.

Na Figura 31, correspondente à grade 1, nota-se que os principais valores estiveram entre 8°S e 10°S, concordando com as análises sinóticas realizadas, com máximos de precipitação acumulada em torno de 16,0 mm.

Na grade 2, Figura 32, os principais valores de precipitação também estiveram entre 8°S e 10°S, com índices acumulados superando os 24,0 mm. Na grade 3,

os índices acumulados chegaram aos 35,0 mm e estiveram confinados entre 8,5°S e 9°S, como pode ser visto na Figura 33.

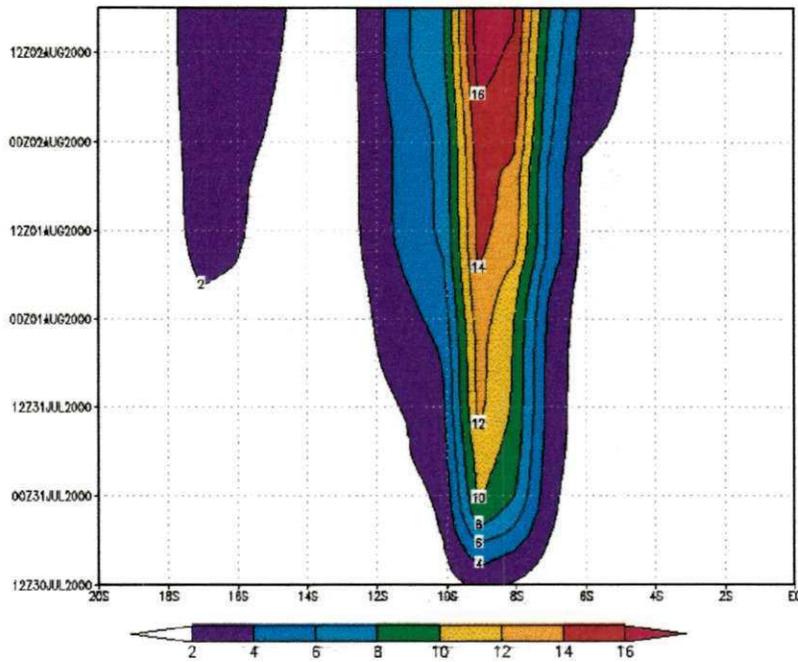


Figura 31 – Gráfico com a evolução temporal da precipitação (mm) da microfísica simulada, da grade 1, sobre 35°W, e entre 20°S e o equador

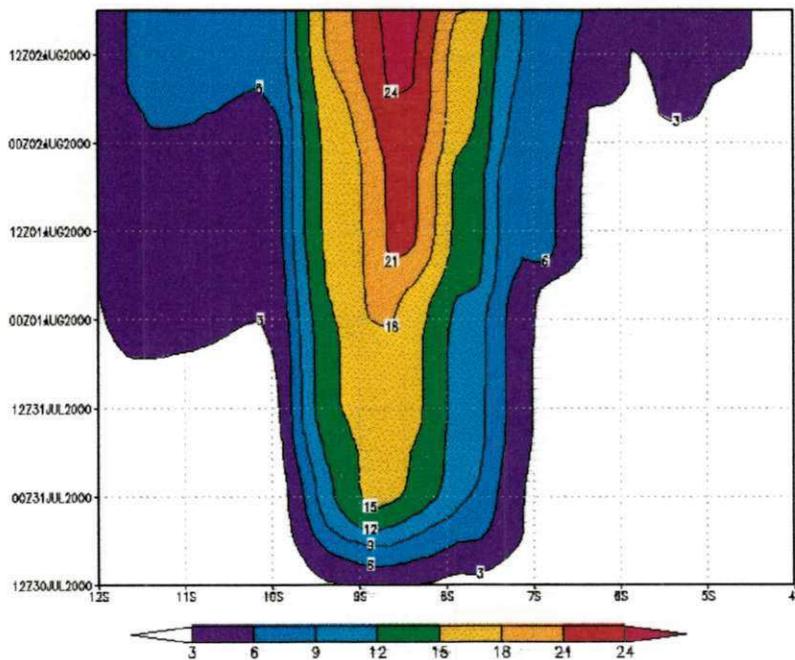


Figura 32 – Gráfico com a evolução temporal da precipitação (mm) da microfísica simulada, da grade 2, sobre 35°W, e entre 12°S e 4°S

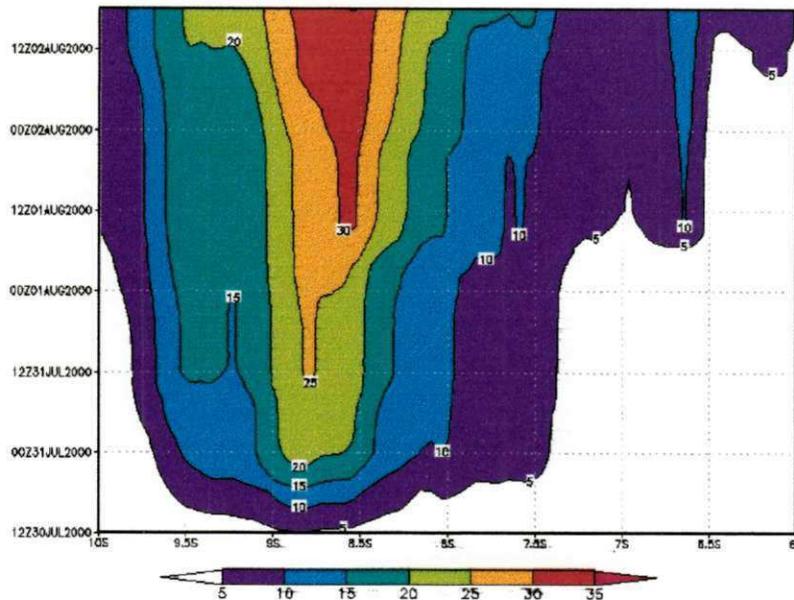


Figura 33 – Gráfico com a evolução temporal da precipitação (mm) da microfísica simulada, da grade 3, sobre 35°W, e entre 10°S e 6°S

Analisando-se a precipitação total, a da microfísica mais a convectiva, através das Figuras 34, 35 e 36, nota-se que a região de 8°S a 10°S apresenta o evento mais significativo do período, ao longo da longitude de 35°W. Este resultado está em concordância com os dados observados de precipitação, apresentados anteriormente, que mostram os valores mais intensos de pluviometria entre 8°S a 10°S, principalmente nos dias 30 e 31 de julho de 2000. Aqui a Figura 34 traz a simulação realizada pela grade 1, na qual se nota precipitação total acumulada acima de 18,0 mm, em torno de 9°S. Já a Figura 35, correspondente à simulação da grade 2, indica índices acumulados superiores aos 27,0 mm, entre 8°S e 9°S.

A grade 3, Figura 36, tem como faixa latitudinal dos maiores valores da precipitação total acumulada, 8°S a 9°S, aonde os índices chegaram a superar os 50,0 mm de precipitação, ao final da integração.

Para se ter uma idéia do ganho de informação obtido com a redução de escala, tome-se como base o dia 01 de agosto de 2000, a 00:00 UTC, nas três figuras (34, 35 e 36), e comparem-se os valores da precipitação total prevista. Na grade 1, Figura 34, a precipitação total chegou próximo dos 14,0 mm. Na grade 2, Figura 35, esse valor foi um pouco inferior aos 21,0 mm, ao passo que, na grade 3 (Figura 36), a precipitação total chegou a atingir valores superiores aos 30,0 mm, mais que o dobro da primeira grade.

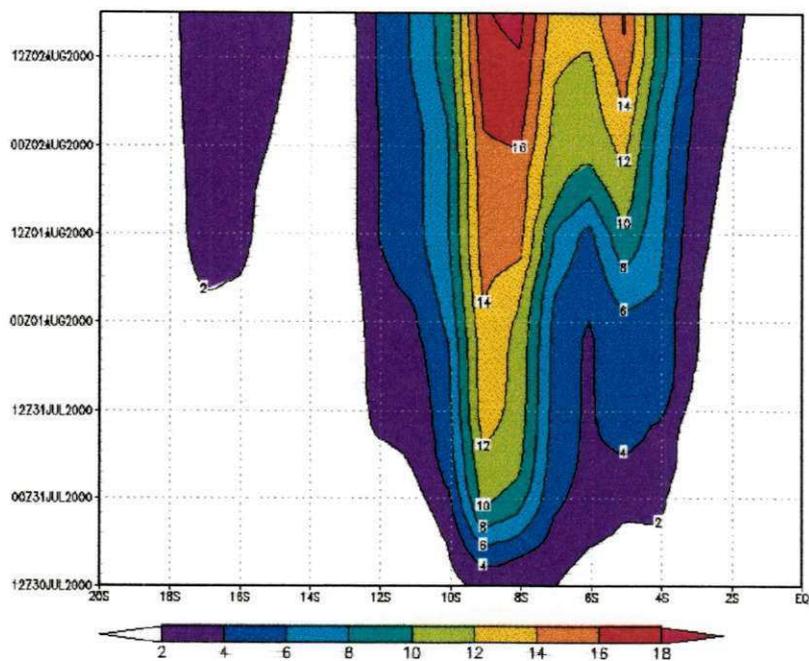


Figura 34 – Gráfico com a evolução temporal da precipitação total (mm) simulada, da grade 1, sobre 35°W, e entre 20°S e o equador

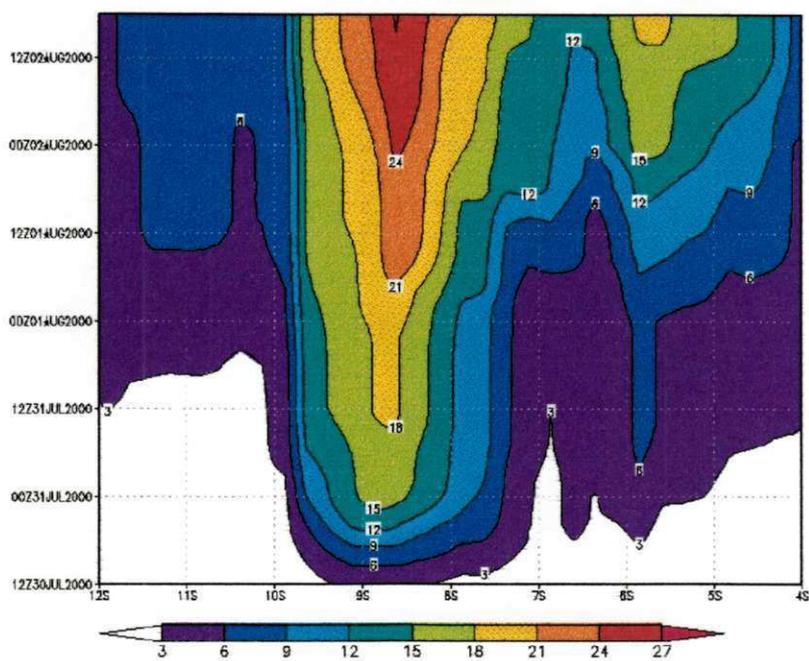


Figura 35 – Gráfico com a evolução temporal da precipitação total (mm) simulada, da grade 2, sobre 35°W, e entre 12°S e 4°S

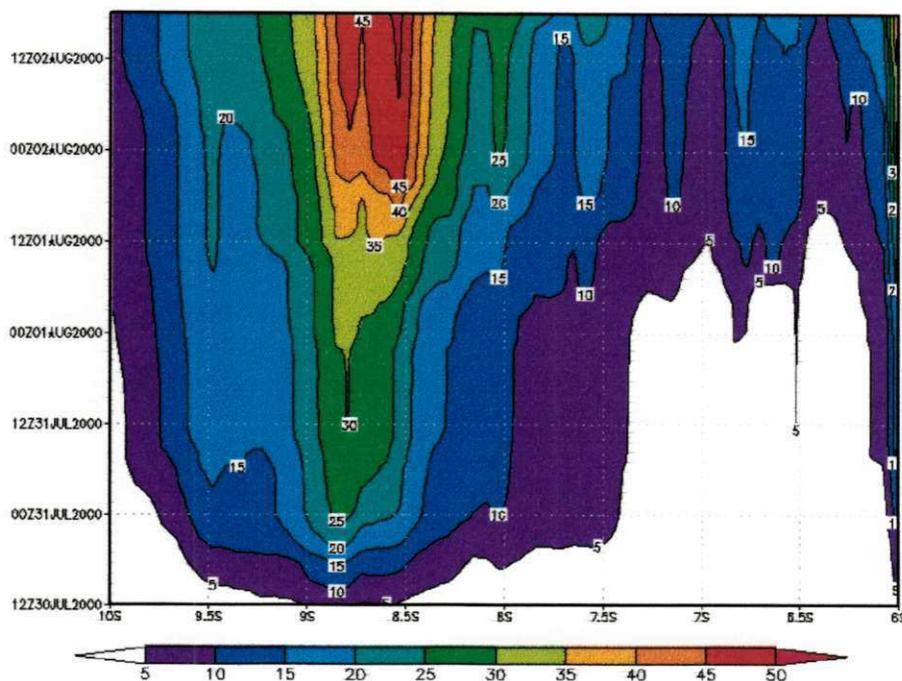


Figura 36 – Gráfico com a evolução temporal da precipitação total (mm) simulada, da grade 3, sobre 35°W, e entre 10°S e 6°S

4.4. Advecção de Umidade

A análise dos campos de advecção, tanto de umidade específica e vorticidade quanto de temperatura, mostrou também a boa representação do modelo com relação a estes tipos de variáveis. Iniciando a análise pelo campo de advecção de umidade específica, nota-se que na grade 1, para o dia 30 de julho de 2000, em 850 hPa e a 00:00 UTC, havia advecção de umidade para a região do litoral do Nordeste, principalmente o setor norte (Figura 37). Este transporte fica mais evidente quando se analisa o nível de 700 hPa (Figura 38) para o mesmo dia e horário. Neste caso todo o litoral leste do Nordeste, de Alagoas ao Rio Grande do Norte, apresentou advecção positiva de umidade, indicando que havia condições favoráveis ao desenvolvimento de sistemas convectivos na região, já que o movimento vertical também era favorável, como visto anteriormente.

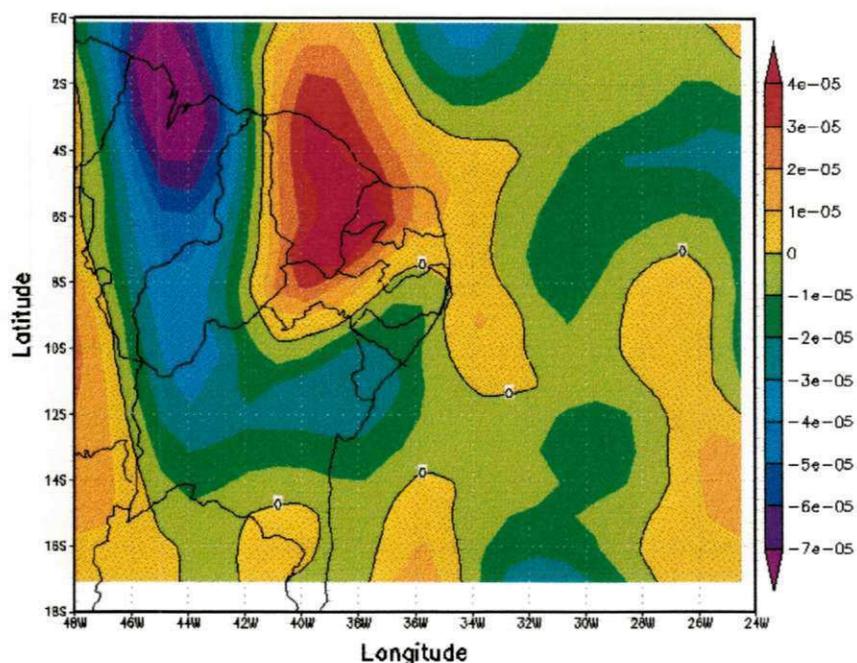


Figura 37 – Advecção de umidade específica (g/kg.s) simulada, da grade 1, em 850 hPa, dia 30/07/2000 a 00:00 UTC

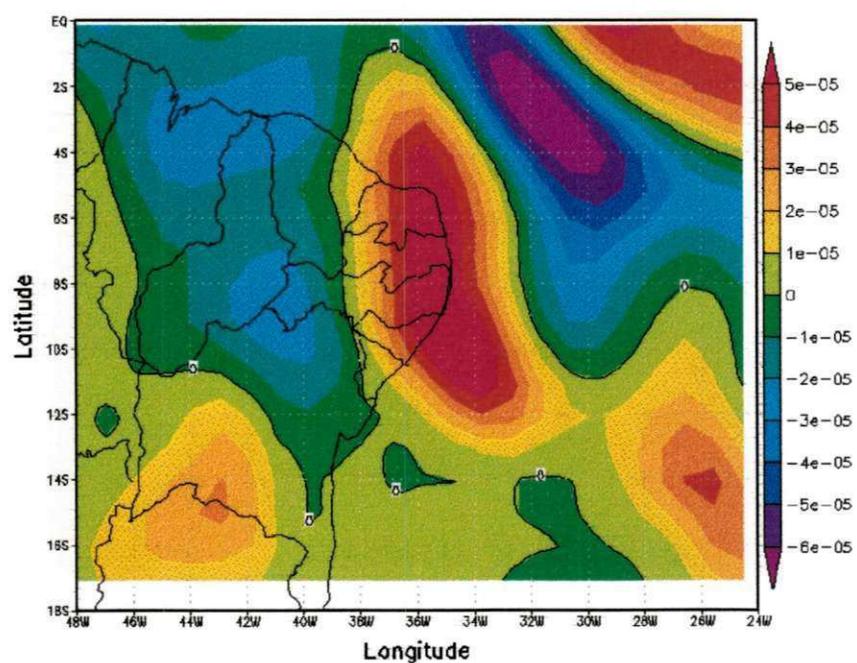


Figura 38 – Advecção de umidade específica (g/kg.s) simulada, da grade 1, em 700 hPa, dia 30/07/2000 a 00:00 UTC

A grade 2 também traz valores positivos da advecção de umidade para a região do litoral do Nordeste e oceano adjacente, como pode ser visto na Figura 39, também para o dia 30 de julho de 2000 a 00:00 UTC. No campo da umidade advectada

nesta grade, neste horário e nível, percebe-se maior riqueza de detalhes que na grade 1. Para o nível de 700 hPa na grade 2, assim como na grade 1, configurou-se uma região de advecção de umidade mais bem definida que no nível de 850 hPa, assim como de valores maiores que no nível mais baixo (Figura 40). Esse resultado vem confirmar, como os anteriores já citados, o acerto da região em que se observou maior nebulosidade nos dias de maiores chuvas do evento, 30 e 31 de julho de 2000.

Na grade 3 confirma-se o que foi visto nas duas outras grades, com advecção positiva de umidade para a região do litoral do Nordeste e oceano adjacente em 850 hPa (Figura 41), e valores mais significativos no nível de 700 hPa na região do litoral entre Paraíba e Pernambuco (Figura 42). Com relação às Figuras 41 e 42, apesar de serem referentes ao dia 31 de julho de 2000, escolheu-se tal dia com intuito de ilustrar características não observadas nas grades 1 e 2. Note-se que é possível distinguir-se regiões de advecção negativa próximo ao litoral, detalhes que não podiam ser vistos nas grades maiores.

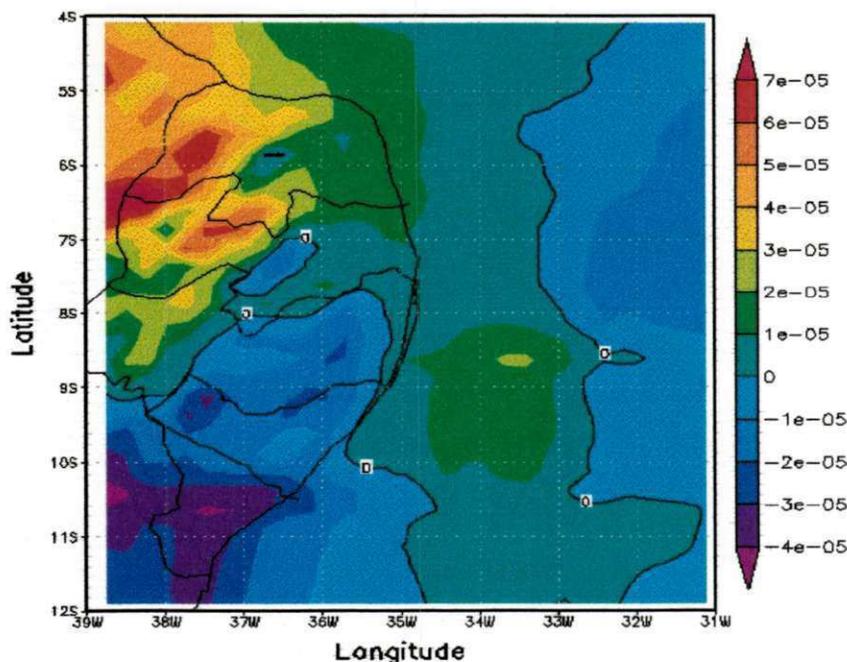


Figura 39 – Advecção de umidade específica (g/kg.s) simulada, da grade 2, em 850 hPa, dia 30/07/2000 a 00:00 UTC

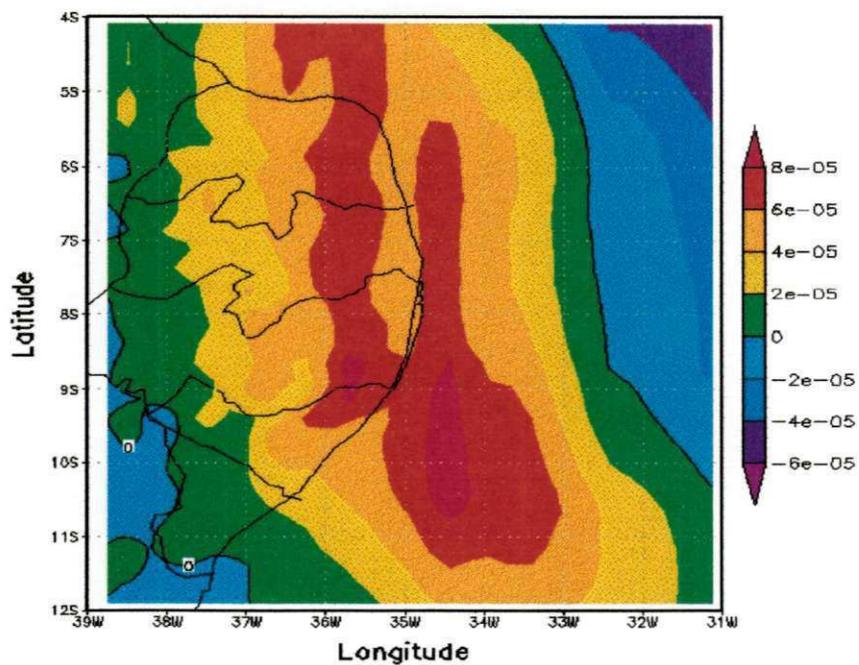


Figura 40 – Advecção de umidade específica (g/kg.s) simulada, da grade 2, em 700 hPa, dia 30/07/2000 a 00:00 UTC

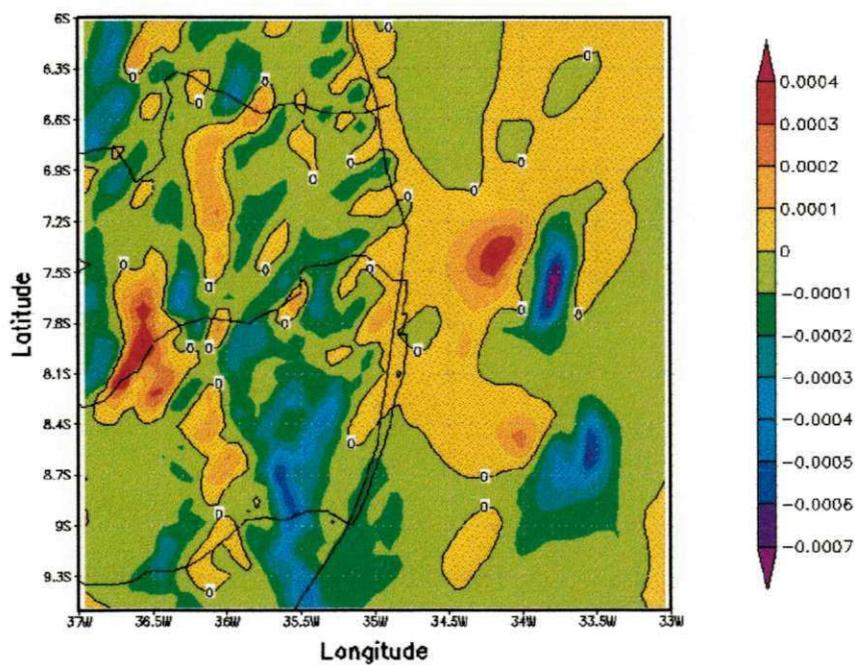


Figura 41 – Advecção de umidade específica (g/kg.s) simulada, da grade 3, em 850 hPa, dia 31/07/2000 às 18:00 UTC

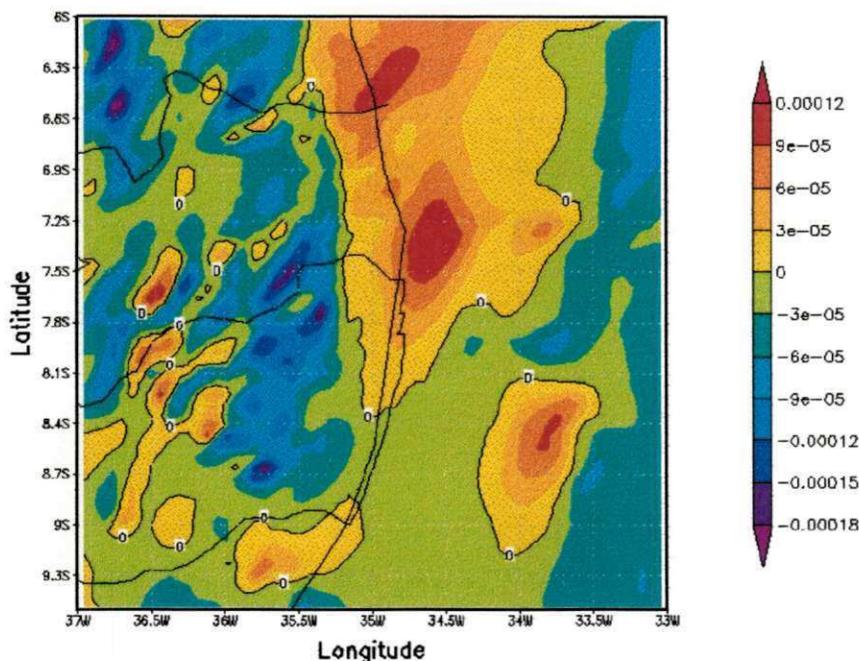


Figura 42 – Advecção de umidade específica (g/kg.s) simulada, da grade 3, em 700 hPa, dia 31/07/2000 às 18:00 UTC

4.5. Advecção de Vorticidade

Com relação a advecção de vorticidade, o modelo simulou advecção positiva da vorticidade sobre a região de interesse nas três grades, indicando deslocamento do sistema para oeste. Analisando-se o nível de 850 hPa para a grade 1, e para os dias 31 de julho de 2000 a 00:00 UTC (Figura 43) e 31 de julho de 2000 às 18:00 UTC (Figura 44), percebe-se a onda de advecção de vorticidade positiva se deslocando para oeste, continente adentro. Esta advecção de vorticidade mostra que o sistema propagou-se para dentro do continente e deslocou um pouco para sul, como se percebe na Figura 44. Este resultado também mostra concordância com o movimento do sistema observado no período do evento.

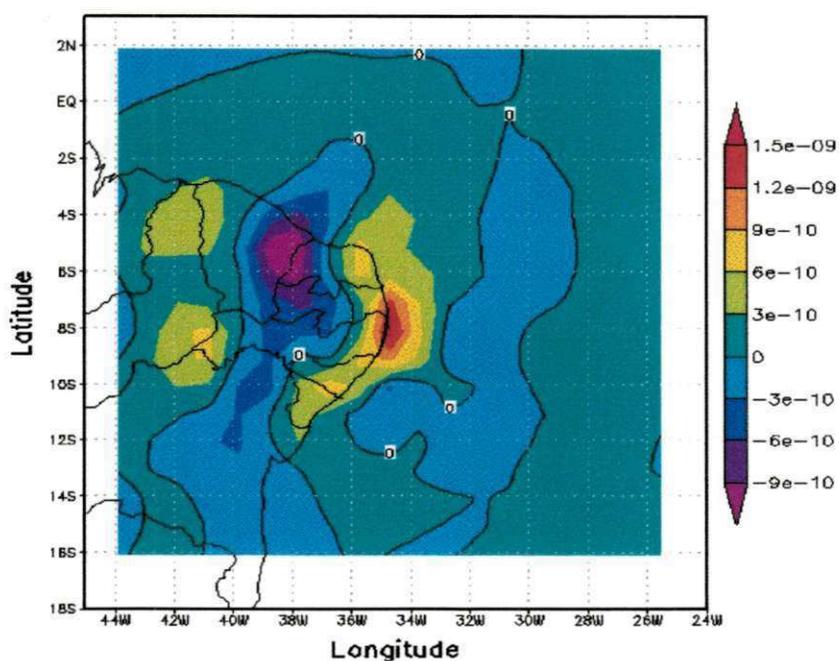


Figura 43 – Advecção de vorticidade (s^{-2}) simulada, da grade 1, em 850 hPa, dia 31/07/2000 a 00:00 UTC

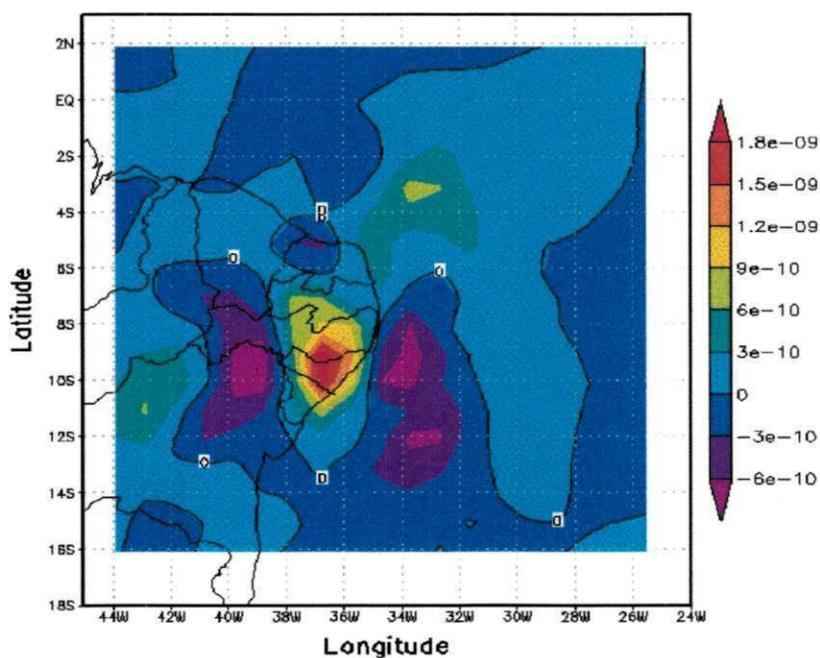


Figura 44 – Advecção de vorticidade (s^{-2}) simulada, da grade 1, em 850 hPa, dia 31/07/2000 às 18:00 UTC

A mesma área com advecção positiva de vorticidade pode ser vista em 700 hPa, também para o dia 31 de julho de 2000 às 18:00 UTC (Figura 45).

Resultado similar ao observado na grade 1 também foi obtido na grade 2, onde são percebidas áreas com advecção positiva de vorticidade no litoral entre

Pernambuco e Alagoas (Figura 46), exatamente na área de maior ocorrência de pluviosidade, entre o litoral sul de Pernambuco e o litoral norte de Alagoas.

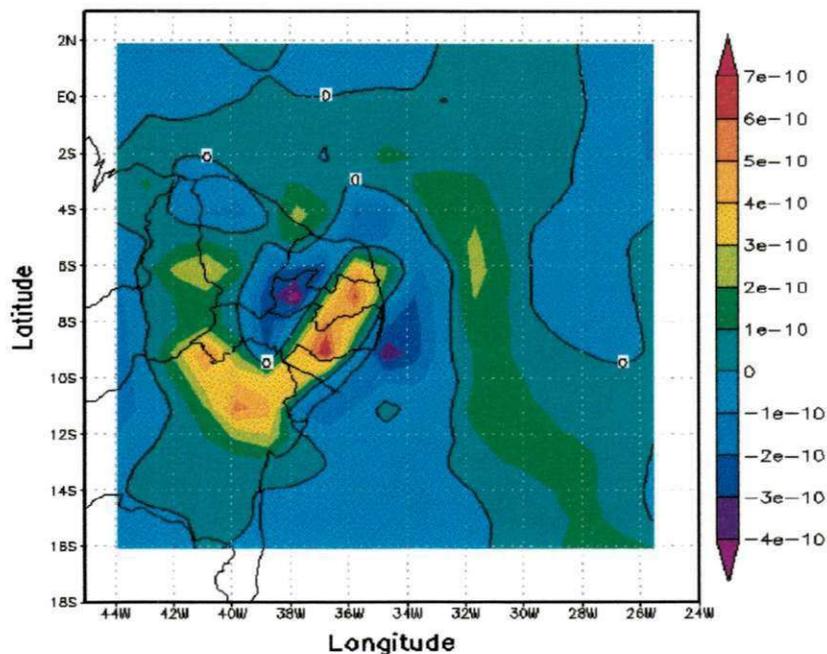


Figura 45 – Advecção de vorticidade (s^{-2}) simulada, da grade 1, em 700 hPa, dia 31/07/2000 às 18:00 UTC

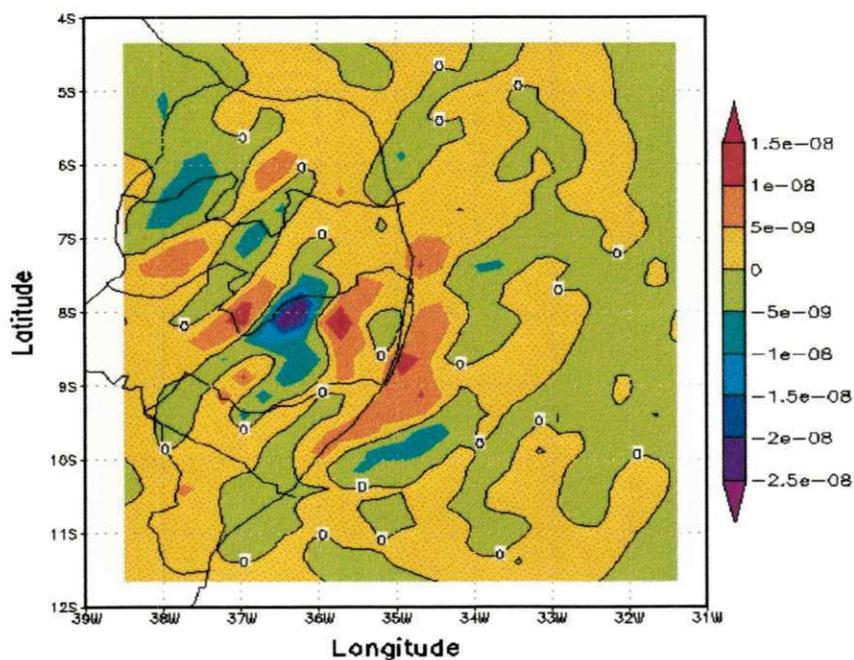


Figura 46 – Advecção de vorticidade (s^{-2}) simulada, da grade 2, em 850 hPa, dia 31/07/2000 a 00:00 UTC

4.6. Advecção de Temperatura

Os resultados das simulações referentes a advecção de temperatura também mostraram acerto da área de atuação do sistema nas três grades, como pode ser visto nas Figuras 47, 48 e 49, para as grades 1, 2 e 3 respectivamente, todas no nível de 850 hPa. A advecção positiva de temperatura, no início do dia 31 de julho de 2000, indica a existência de uma fonte de alimentação que manteria o sistema em desenvolvimento, assim como a advecção de umidade vista anteriormente, e de vorticidade que deslocou o sistema em direção ao interior do continente.

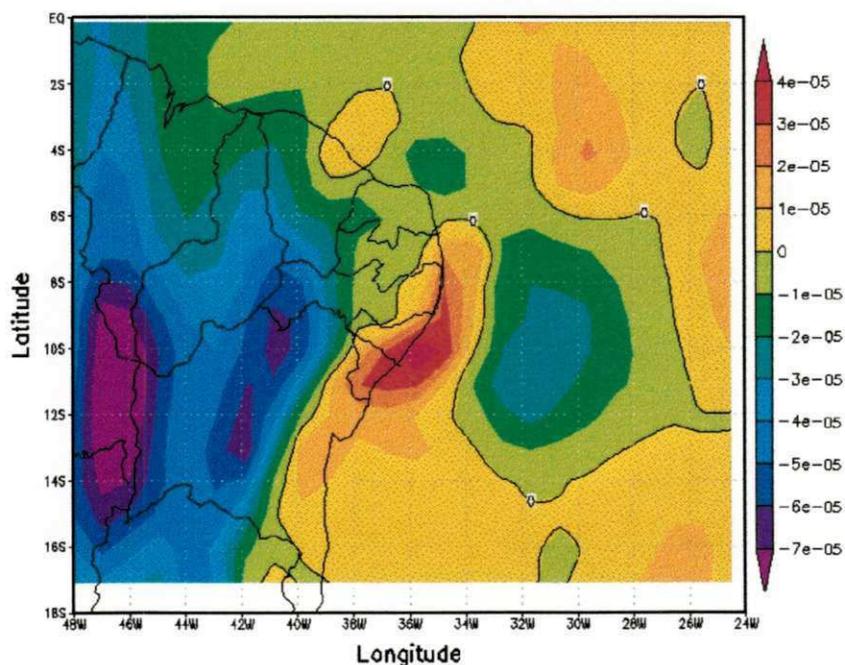


Figura 47 – Advecção de temperatura (K/s), da grade 1, em 850 hPa, dia 31/07/2000 a 00:00 UTC

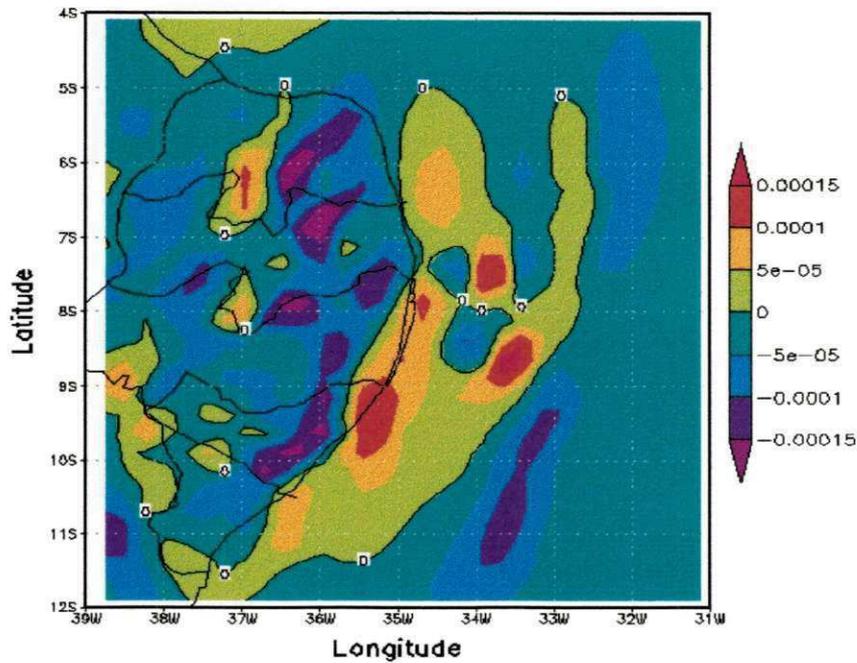


Figura 48 – Advecção de temperatura (K/s), da grade 2, em 850 hPa, dia 31/07/2000 às 18:00 UTC

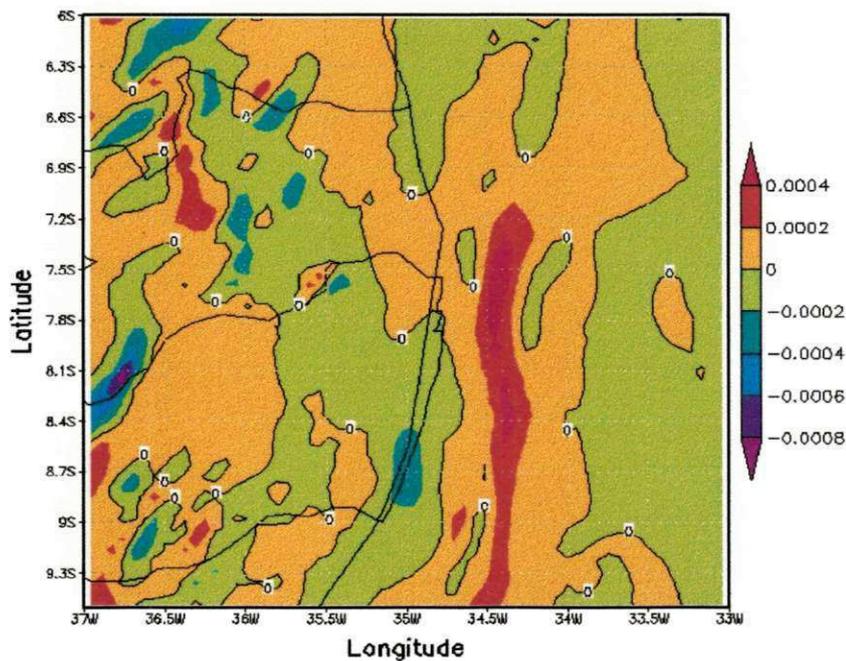


Figura 49 – Advecção de temperatura (K/s), da grade 3, em 850 hPa, dia 31/07/2000 a 00:00 UTC

Utilizou-se aqui uma ferramenta que mostrou resultados considerados satisfatórios em todas as resoluções utilizadas. Dentro de suas características, cada resolução obteve resultados positivos, com destaque para a grade 3, a de maior resolução

que, apesar de gerar alguns resultados que oferecem maior dificuldade de interpretação, mostrou detalhes os quais não foram visíveis nas grades 1 e 2. Isso dá a certeza e a confiança de que a modelagem regional pode ainda melhorar muito e apresentar, no futuro, resultados mais significativos, os quais só serão alcançados a partir do momento que trabalhos, como o presente, estejam sendo produzidos pela comunidade científica.

A partir do momento que se conhece mais de perto uma ferramenta como o modelo regional que se utilizou neste trabalho, pode-se maximizar e otimizar os resultados simulados, com base no conhecimento do dia-a-dia adquirido com o modelo. A exemplo do que ocorreu aqui, se alguém tivesse uma ferramenta dessas nas mãos e conhecesse as limitações inerentes a essa ferramenta, a partir do momento que ela verificasse que, por exemplo, a precipitação total estava indicando índices acima de 30,0 mm para as próximas 24 horas, seria muito prudente acionar os órgãos responsáveis pela defesa civil e deixá-los em estado de alerta (YU *et al.*, 1998).

5. CONCLUSÕES

Com relação à resolução horizontal, todas as três grades captaram o evento em estudo, com a grade 3 se destacando com relação aos valores previstos comparativamente às outras duas grades, como também nos detalhes capturados por esta resolução, e a grade 2 em relação à grade 1, principalmente no campo de precipitação da microfísica.

A precipitação convectiva obteve bons resultados com relação à previsão de regiões com precipitação associada à grande escala, como pôde ser observado na grade 1. A grade 3 obteve maior sucesso na simulação da chuva sobre o continente, na região de interesse, apesar dos valores simulados estarem muito abaixo dos dados observados.

Tanto a precipitação da microfísica quanto a convectiva subestimaram os valores da precipitação, mesmo com a microfísica obtendo melhores resultados que a convectiva. Esse fato também já foi registrado por outros trabalhos que utilizam modelagem regional (ZOU & KUO, 1996; SILVA *et al.*, 2002). Contudo, as simulações podem ser consideradas qualitativamente boas.

Este resultado reforça a idéia de que a modelagem regional é um bom caminho a se seguir.

A velocidade vertical foi bem prognosticada nas três grades, as quais obtiveram bons acertos na região e horário de atuação do sistema. As diferenças notadas entre as grades estiveram relacionadas aos valores simulados para a variável. A grade 3 previu velocidade vertical mais intensa no local e horário do evento, além de fornecer detalhes importantes, não tão visíveis nas outras duas grades, como as regiões com valores negativos de w (movimento descendente) próximos às áreas com convecção intensa. Em resultados como estes é que se vê a importância da redução de escala.

As simulações da advecção de temperatura, de umidade e de vorticidade, em todas as grades, indicaram a existência de um sistema que tinha condições favoráveis para intensificar e se deslocar em direção ao continente, provocando chuvas na região do litoral do Nordeste. Alguns campos, como o advecção de umidade em 850 hPa, na grade 3, mostram áreas com maiores detalhes onde são percebidos núcleos com advecção negativa de umidade sobre o oceano.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Quando da análise das simulações da velocidade vertical (w) e da precipitação, notou-se que ao campo de movimento vertical sobre Recife – PE não correspondeu uma grande precipitação convectiva. É interessante que se investigue formas de se melhorar a precipitação quantitativamente.

Neste trabalho, a grade de maior resolução, a grade 3, se destacou tanto pelos resultados quantitativos quanto por detalhes não enxergados de forma trivial nas outras grades. Um fato percebido durante a fase de preparação dos resultados é que a grade 3 consegue identificar a circulação de brisa, algo que poderia ser alvo de maior investigação, pois como é sabido, uma fração considerável da precipitação ocorrida no setor leste do Nordeste é atribuído à circulação de brisa, principalmente no período noturno (KOUSKY, 1980).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

12 MORTOS: A tragédia se repete. **Jornal do Comércio**, Recife, 01 ago. 2000. Disponível em <http://www2.uol.com.br/JC/_2000/0108/cd0108a.htm>. Acesso em: 24 jan. 2002.

ALVES, J. M. B. et al. Uma avaliação preliminar da simulação de precipitação sobre o Nordeste do Brasil usando um aninhamento de um modelo numérico regional em um modelo numérico global. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Jaboticabal, SP: Fábrica da Palavra, 2002. 1 CD-Rom.

BERNARDO, S. O.; MOLION, L. C. B. Comparação entre totais de precipitação observados e os estimados pelas reanálises do CPC/NCEP para o litoral do Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Jaboticabal, SP: Fábrica da Palavra, 2002. 1 CD-Rom.

BRYSON, R. A.; BRYSON, R. U. Site-specific high-resolution models of the monsoon for Africa and Asia. **Global and Planetary Change**, v. 26, p. 77 - 84, 2000.

CAVALCANTI, E. P. **Teor e transporte de vapor d'água na atmosfera do Nordeste do Brasil**. 2001. 115 p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2001.

MELLOR, G. L.; YAMADA, T. Development of a turbulence closure model geophysical fluid problems. **Rev. Geophysics Space Physics**, v. 20, p. 851-857. 1982.

MOLINARI, J.; CORSETTI, T. Incorporation of cloud-scale and mesoscale downdrafts into a cumulus parametrization: Results of one- and three-dimensional integrations. **Monthly Weather Review**, v.113, p. 485-501. 1985.

MOTA, G. V. **Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no Nordeste brasileiro**. 1997. 95 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Sinótica) - Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

PBCLIMA, **Boletim de Monitoramento Climático da Paraíba**. Ano VI, n. 7, p. 6 - 8, 2000.

PIELKE, R. A. et al. A comprehensive meteorological modeling system – RAMS. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 49, p. 69-91, 1992.

PRESTE, A. C. A. **Um estudo da relação entre precipitação, evaporação e advecção de umidade no Nordeste brasileiro**. 2001. 70f. Dissertação (Mestrado em Sinótica-Dinâmica da Atmosfera Tropical) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2001.

RAO, V. B.; LIMA, M. C.; FRANCHITO, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 6, p. 1754 - 1763, 1993.

RMR sofre com a força das águas. **DIÁRIO DE PERNAMBUCO**, Recife, 01 ago. 2000. Disponível em <<http://www.pernambuco.com/anteriores/2000/08/01/index.html>>. Acesso em: 15 out. 2002.

SILVA, A. B. P.; MOLION, L. C. B. Extremos de precipitação sobre a costa Leste do Nordeste do Brasil: O evento de agosto de 2000. In: Congresso Brasileiro de

Meteorologia, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Jaboticabal, SP: Fábrica da Palavra, 2002. 1 CD-Rom.

SILVA, A. S.; COELHO, D. G; SILVA, M. G. A. J. Impacto do aumento da resolução espacial na previsão do tempo regional. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Jaboticabal, SP: Fábrica da Palavra, 2002. 1 CD-Rom.

SILVA, E. M. **Impacto da convecção rasa em um modelo de meso-escala: sensibilidade aos parâmetros do esquema de parametrização.** 2001. 69 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Sinótica-Dinâmica da Atmosfera Tropical) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2001.

SILVA, E. M. et al. Resultados de uma simulação climática utilizando "downscaling" dinâmico sobre o Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Jaboticabal, SP: Fábrica da Palavra, 2002. 1 CD-Rom.

SOUZA, E. P. **Estudo teórico e numérico da relação entre convecção e superfícies heterogêneas na região amazônica.** 1999. 121 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

SOUZA, E. P.; RAO, T. V. R.; PRESTE, A. C. A. Contribuições dos efeitos locais advectivos para a precipitação no Nordeste do Brasil em dois períodos chuvosos contrastantes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n. 2, p. 135-143, 2001.

WALKO, R. L.; TREMBACK, C. J. **RAMS – The Regional Atmospheric Modeling System Version 2C: User's guide.** Aster Inc., 86 p. Fort Collins, Colorado. 1991.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V. B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 55, n. 2, p. 205 - 207, 1977.

YU, W.; LIN, C. A.; BENOIT, R.; ZAWADZKI, I. High resolution model simulation of precipitation and evaluation with doppler radar observation. **Water Science and Technology**, v. 37, n. 11, p. 179 - 186, 1998.

YU, Z. et al. Evaluation of basin-scale hydrologic response to a multi-storm simulation. **Journal of Hydrology**, v. 257, p. 212 - 225, 2002.

ZOU, X.; KUO, Y. H. Rainfall assimilation through an optimal control of initial and boundary conditions in a limited-area mesoscale model. **Monthly Weather Review**, v.124, p. 2859 - 2882, 1996.

A P Ê N D I C E

APÊNDICE A:

O IMPACTO SÓCIO-ECONÔMICO

O mês de julho de 2000, desde o início, já apresentava precipitações intensas, na costa leste do Nordeste. Estes eventos de precipitações intensos e repetidos deixaram o solo com alto índice de umidade nos últimos dias do mês, como pode ser visto na Figura A1.

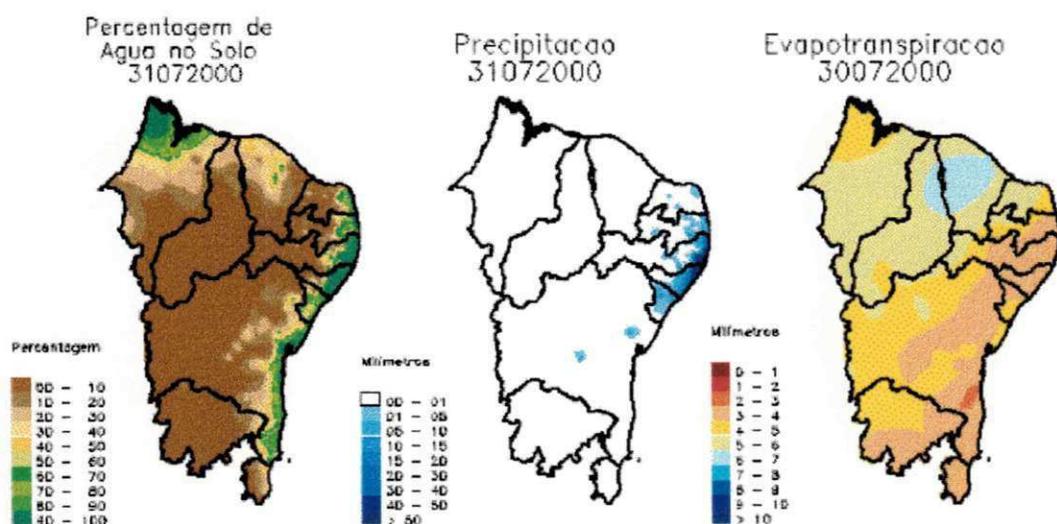


Figura A1 – Componentes do Balanço Hídrico sobre o Nordeste, para o dia 31/07/2000.
Fonte: CPTEC/INPE

Com isso, o evento ocorrido no final do mês encontrou o solo bastante encharcado, com barragens próximas de sangrar e rios cheios. Além disso, a precipitação pluviométrica foi bastante intensa, ou seja, ocorreu muita chuva em curto intervalo de tempo. Com encostas encharcadas, o deslizamento de barreiras tornou-se comum. Os rios

invadiram as cidades, estradas foram interditadas, cidades inteiras ficaram isoladas e houve muita destruição provocada por deslizamentos, ventos e pela chuva (RMR sofre com a força das águas, 2002). Algumas fotos ilustrativas podem ser encontradas no Apêndice B.

Um evento desta natureza trás grandes prejuízos financeiros para a sociedade provocando um estado de calamidade. O número de mortes também foi muito elevado, em Alagoas chegou a 37 óbitos e 80 mil pessoas ficaram desabrigadas. Já em Pernambuco, foram registradas 18 mortes e 53 mil desabrigados (SILVA & MOLION, 2002).

APÊNDICE B:

A DIVULGAÇÃO NA IMPRENSA

O fato ocorrido naquele 31 de julho de 2000 foi bastante divulgado na imprensa de Pernambuco e do Brasil. Apresenta-se aqui algumas matérias e fotos da época divulgadas na imprensa, principalmente no Jornal do Comércio (JC) de Pernambuco.

Na Foto 1 pode-se ver a dificuldade encontrada por carros, ônibus e motos para vencerem a inundação e o engarrafamento formado numa das principais avenidas do bairro do Pina, Zona Sul do Recife.



Foto 1 – Inundação no bairro do Pina no Recife – Foto: Marcelo Soares /JC

Na Foto 2 vê-se um quadro desolador, o qual se assemelha a imagens de guerras e do qual fizeram parte os moradores de Catende, que fica a 129 quilômetros de Recife.

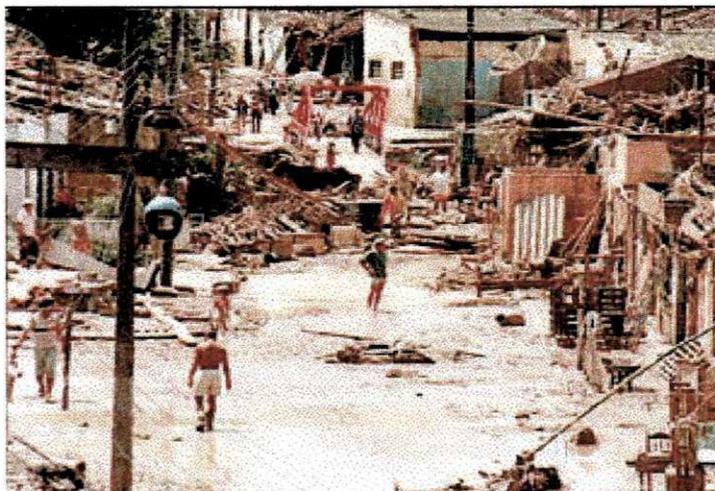


Foto 2 – Escombros em Catende, a 129 km de Recife – Foto: Arnaldo Carvalho /JC

Devido à grandeza da tragédia, e a divulgação do evento pelos vários tipos de mídia, o Recife recebeu a visita do Presidente do Brasil, Fernando Henrique Cardoso, e de seu Vice, Marco Maciel (Foto 3). Na ocasião, eles foram recepcionados pelo governador Jarbas Vasconcelos, que mostrou as áreas mais afetadas.

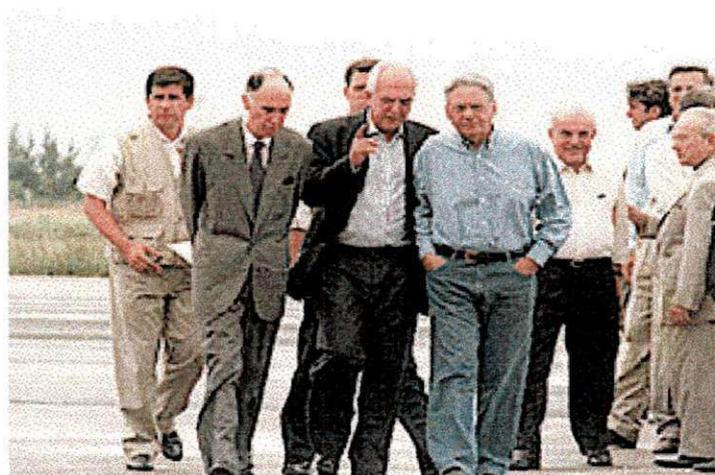


Foto 3 – Visita de Fernando Henrique Cardoso ao Recife – Foto: João Carlos Lacerda /JC

Em Jaboatão dos Guararapes, um município vizinho ao Recife, a cidade ficou submersa, na Foto 4 pode-se ver apenas os telhados de algumas casas, sem distinguir as ruas.

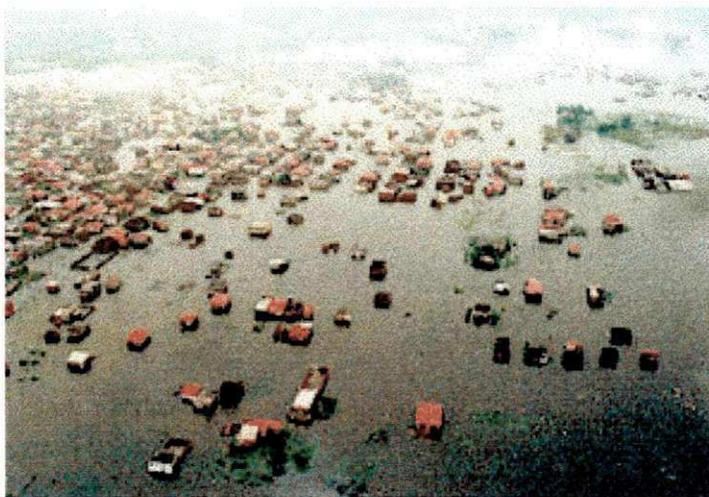


Foto 4 – Vista aérea de Jaboatão dos Guararapes – Foto: Mariana Guerra /JC

O sofrimento dos moradores de Rio Formoso para salvar, da enchente, os móveis de suas casas pode ser visto na Foto 5. A solidariedade das pessoas foi muito importante para recuperarem o maior número de pertences possíveis.



Foto 5 – Moradores de Rio Formoso retirando os pertences de casas – Foto: Marcelo Soares /JC

A cidade de Palmares (Foto 6), na Zona da Mata Sul de Pernambuco, também ficou submersa.



Foto 6 – Cidade de Palmares, Zona da Mata Sul de Pernambuco – Foto: Heudes Régis /JC

Também na mata sul de Pernambuco, o município de Barreiros teve suas ruas inundadas, com forte correnteza, devido ao transbordamento do Rio Una (Figura 7).



Foto 7 – Fúria, o Rio Una transborda e invade Barreiros – Foto: Heudes Régis /JC

A barragem de Tapacurá, que tem uma capacidade de 94 milhões de m³, e abastece a Zona Norte do Grande Recife (Foto 8), sangrou após três anos. De 1989 até o ano 2000, a barragem verteu apenas três vezes, em 1989, 1995 e 1997 (Jornal do Comércio, 02/08/2000).



Foto 8 – A barragem de Tapacurá sangrou, o que não acontecia desde 1997. – Foto:
Heudes Régis /JC