



AVALIAÇÃO DO MODELO ETA EM SITUAÇÕES DE CHUVAS INTENSAS ASSOCIADAS COM DESLIZAMENTOS

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Jessica Motta Guimarães (UFRJ, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: jessica.meteoro@gmail.com

Dra. Chou Sin Chan (DMD/CPTEC/INPE, Orientadora)
E-mail: chou@cptec.inpe.br

COLABORADORA

Dra. Claudine Pereira Dereczynski (IGEO/UFRJ)

Julho de 2007

O presente relatório enumera as atividades realizadas no decorrer da Bolsa de Iniciação Científica PIBIC/ CNPq no período de julho de 2006 até julho de 2007.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	2
2. DADOS E METODOLOGIA	3
2.1. Dados Utilizados	3
2.2. Metodologia.....	4
3. RESULTADOS	7
3.1. Análise sinótica para o caso 1 (1 a 8 de janeiro de 2007)	7
3.2. Análise sinótica para o caso 2 (30 a 31 de janeiro de 2007)	10
3.3. Integrações com resolução de 10km para o caso 1 (1 a 8 de janeiro de 2007)	11
3.4. Análise dos índices de instabilidade termodinâmica para o caso 2 (30/01/2007 a 31/01/2007).....	133
4. CONCLUSÕES	15
5. TRABALHOS FUTUROS	16
BIBLIOGRAFIA	17
APÊNDICE	22

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as previsões de tempo obtidas a partir de integrações efetuadas em modelos numéricos ainda não permitem determinar com grande precisão a localização e intensidade exatas de um evento de chuvas intensas. Observa-se que casos de precipitação extrema estão freqüentemente atrelados à uma série de graves problemas, tais como ocorrência de deslizamentos e enchentes, provocando um grande número de mortes, acidentes e prejuízos materiais.

Dessa forma, é importante a pesquisa e aplicação efetiva de indicadores do potencial de ocorrência de um evento crítico, permitindo que alertas eficazes sejam emitidos com antecedência à defesa civil e população em geral, para tomadas de providências que reduzam os possíveis acidentes provocados por esses fenômenos.

Espera-se como resultado deste trabalho obter ferramentas que auxiliem os previsores a identificar antecipadamente a correta localização e intensidade dos eventos intensos de chuva. Este projeto se enquadra dentro dos objetivos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de gerar melhores previsões de tempo sobre a América do Sul, e aprimorar a detecção de eventos extremos de chuva.

Assim sendo, o presente trabalho tem como objetivo identificar condições atmosféricas típicas que auxiliem na interpretação das previsões do modelo Eta, além de avaliar o desempenho do Modelo Eta (Chou, 1996) que vem sendo utilizado operacionalmente no CPTEC, nas previsões do caso estudado. Também são aplicados índices de instabilidade termodinâmica atmosférica como ferramentas que visam auxiliar os previsores na determinação de casos chuvosos extremos.

O trabalho desenvolvido e aqui apresentado consta de duas etapas principais que correspondem ao estudo de dois casos chuvosos associados com fenômenos distintos, a fim de avaliar o desempenho do modelo Eta nas duas situações.

2. DADOS E METODOLOGIA

2.1. Dados Utilizados

Dados Observacionais de Precipitação: Totais diários das estações de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e estações automáticas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Plataformas de Coleta de Dados – PCD). Este conjunto de dados denominado “análise do CPTEC” foi interpolado em uma grade de resolução 0,25° x 0,25° latitude-longitude.

Reanálise diária do NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996): Campos atmosféricos na resolução espacial de 2,5° X 2,5° latitude-longitude e temporal de 6 em 6 horas. Foram utilizados dados de baixos (850 hPa), médios (500 hPa) e altos (200 hPa) níveis. 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: No canal infravermelho, com frequência horária, foram utilizadas para localizar os sistemas meteorológicos deflagradores dos eventos de precipitação intensa.

Previsões do Modelo Regional Eta: Resolução espacial de 10 x 10 km com 48 h de antecedência com relação a data do evento. Este modelo é rodado operacionalmente no CPTEC (Chou, 1996) para previsões de curto prazo. 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.

O modelo foi integrado com condições iniciais de 01/01 a 08/01/2007 as 00 e 12 Z.

No presente estudo, foram utilizadas as previsões de 48 h para os casos estudados, situação em que o modelo apresentou melhor desempenho de forma geral. Ressalta-se que a precipitação observada (análise do CPTEC) contém dados somente para o

território brasileiro e a precipitação prevista mostra valores para toda a América do Sul e oceano Atlântico.

2.2. Metodologia

Inicialmente foi elaborado um banco de informações meteorológicas baseado nos registros de acidentes do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), referentes a deslizamentos ocorridos no Brasil. O banco de dados desenvolvido contém informações sobre casos de precipitação associados com deslizamentos ocorridos na região da Serra do Mar desde 1996 até 2005. (tabela2.2)

Posteriormente foi feita uma análise estatística dos eventos meteorológicos mais freqüentemente associados com a ocorrência de deslizamentos. A partir desse conjunto de informações, foi selecionado um primeiro caso para estudo mais detalhado, que correspondeu ao evento ocorrido no município de Angra dos Reis, entre os dias 08/12/2002 e 09/12/2002 que esteve associado com a atuação de um sistema frontal na região, que posteriormente acabou configurando uma situação de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Tal caso foi estudado por apresentar altos valores de precipitação observada (188,4 mm em 24 h), além de ter provocado graves danos localmente.

Tabela 2.2: Extrato do banco de informações elaborado, com destaque em sombreado para o caso anteriormente selecionado para estudo.

Evento Meteorológico	Início	Término	Evento Geofísico Provocado	Ocorrência do evento	Regiões Afetadas	Mortos	Desabrigados	Prejuízos Materiais	Imagens de Satélite	Mapas De Precipitação	Imagens/ Notícias Veiculadas na Mídia
linhas de tempestade	1/1/00	6/1/00	Enchente	1/1/00 e 05/01/00	Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo	26		0 U\$	X	X	X
passagem de frente fria			Deslizamentos / deslizamentos de terra	9/12/02	Angra dos Reis e Estado do Rio de Janeiro	74	1500	11000 U\$	X	X	X
dois períodos de ZCAS no mês de janeiro, dois em fevereiro e passagem de três frentes frias em março	10/1/04	8/3/04				161	230000		X	X	X

Foi feita uma atualização do banco de dados anteriormente citado, no qual foram inseridos novos casos de chuvas intensas ocorridos até janeiro de 2007. Dentre os novos eventos incluídos, dois foram selecionados para estudo mais detalhado. O primeiro caso correspondeu a um evento de chuvas intensas associadas com a atuação de ZCAS ocorrido no período de 01/01/2007 até 08/01/2007. Neste evento ocorreram mais de 50 mortes em toda a Região Sudeste devido à ocorrência de deslizamentos e enchentes. Durante esse período a região serrana do estado do Rio de Janeiro sofreu grandes prejuízos com a ocorrência de deslizamentos, que se concentraram no dia 06/01/2007 nessa região. O segundo caso selecionado correspondeu a um evento de chuvas intensas associadas com um sistema frontal atuante no período de 27/01/2007 a 30/01/2007, ocorrido na região do extremo norte do Rio de Janeiro, e que configurou, posteriormente, uma situação de ZCAS. Esse evento acabou deflagrando o transbordamento do rio Itabapoana no dia 31/01/2007. Esse caso esteve associado com altos valores de precipitação observada, provocando graves prejuízos na região afetada.

Para ambos os estudos foi adotada alta resolução do modelo (resolução espacial de 10 x 10 km). Posteriormente foi feita uma descrição do ambiente atmosférico de grande escala e uma avaliação comparativa do modelo Eta utilizando

resolução espacial de 40km no âmbito da escala sinótica. Os dados utilizados nesta descrição inicial etapa foram as imagens de satélite, a precipitação observada (Análise do CPTEC), as informações do Climanálise (CPTEC/INPE), a Reanálise do NCEP-NCAR (Kalnay et al., 1996), além das previsões do modelo Eta-40km. Os campos atmosféricos avaliados na escala sinótica foram precipitação, pressão ao NMM, linhas de corrente em baixos (850 hPa) e altos (300 hPa) níveis, temperatura potencial equivalente e umidade relativa em 850 hPa e altura geopotencial e movimento vertical em 500 hPa. A precipitação foi acumulada em 1 h (06/01/2007 as 12Z) para o primeiro caso, e em 24 h (30/01/2007 – 31/01/2007 ambos as 12Z) para o segundo caso e no restante dos campos, foi analisado o horário de 12 Z dos dois dias para os dois casos estudados. Para o primeiro caso, o modelo foi integrado com condições iniciais de 01/01/2007 a 08/01/2007 as 00 e 12 Z. Durante esse período, selecionou-se o dia 06/01/2007 para a avaliação do modelo, quando ocorreram deslizamentos em toda a região serrana do Rio de Janeiro. Verificou-se posteriormente que com a previsão de 48 h o modelo demonstrou um melhor desempenho de forma geral. Já para o segundo caso, utilizaram-se as datas 29/01/2007 e 30/01/2007, ambos as 12Z, como condições iniciais nas integrações do modelo, gerando assim previsões de 48h e 24h, respectivamente, para o dia 31/01/2007, data da ocorrência do transbordamento do rio Itabapoana.

Índices de instabilidade termodinâmica atmosférica (definidos no Apêndice) foram gerados para os períodos estudados a fim de avaliar seus desempenhos como ferramentas auxiliaadoras na detecção de eventos extremos de precipitação intensa.

Foi determinada uma área de estudo, onde será focalizada a avaliação do modelo em relação às variáveis anteriormente citadas e outro domínio para a análise dos índices de instabilidade.

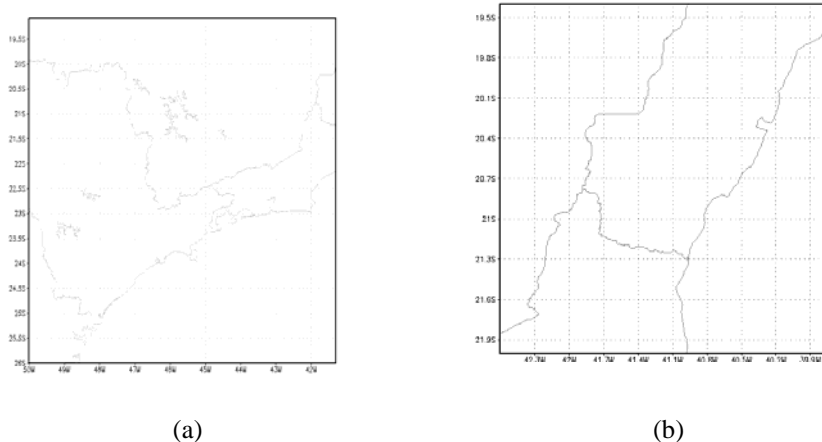


Figura 1 – Domínios utilizados no modelo para o estudo de caso de 1 a 8 de janeiro de 2007 (a) e para o estudo dos índices de instabilidade durante o caso de 30 a 31 de janeiro de 2007

3. RESULTADOS

A seguir são apresentados uma análise sinótica elaborada a partir das rodadas do modelo com resolução de 40 km (Eta-40km), para os casos estudados no horário das 12Z.

3.1. Análise sinótica para o caso 1 (1 a 8 de janeiro de 2007)

A partir dos campos médios (média do período de 01 a 08/12/2007) da previsão de 48-h dos campos de PNMM, movimento vertical em 500 hPa, linhas de corrente em 200 hPa e precipitação (figuras não mostradas) nota-se que o modelo consegue apresentar um bom desempenho.

A análise do movimento vertical em 500 hPa, nos leva a concluir que a região de máximo movimento ascendente localizou-se na região de atuação do sistema de ZCAS, mostrando valores mais intensos no oceano.

No campo de PNNM observa-se que o cavado posiciona-se inicialmente entre os dois sistemas de alta pressão, permanecendo com esta configuração por um período de 4 dias, configurando o caso de ZCAS. No quinto dia, porém, esse sistema encontra-se bastante enfraquecido.

Na análise de linhas de corrente em 200 hPa, conclui-se que o modelo consegue configurar bem os sistemas normalmente associados com a ocorrência de ZCAS, tais como a Alta da Bolívia, o cavado da ZCAS e o vórtice ciclônico do Nordeste. O campo de precipitação indica que a faixa de máxima precipitação coincide com a região de atuação da ZCAS.

A seguir é feita uma avaliação do modelo utilizando os dados de reanálise como comparação para as integrações feitas no presente estudo. Os resultados mostrados são as integrações de 48h com condição inicial em 04/01/2007 12Z.

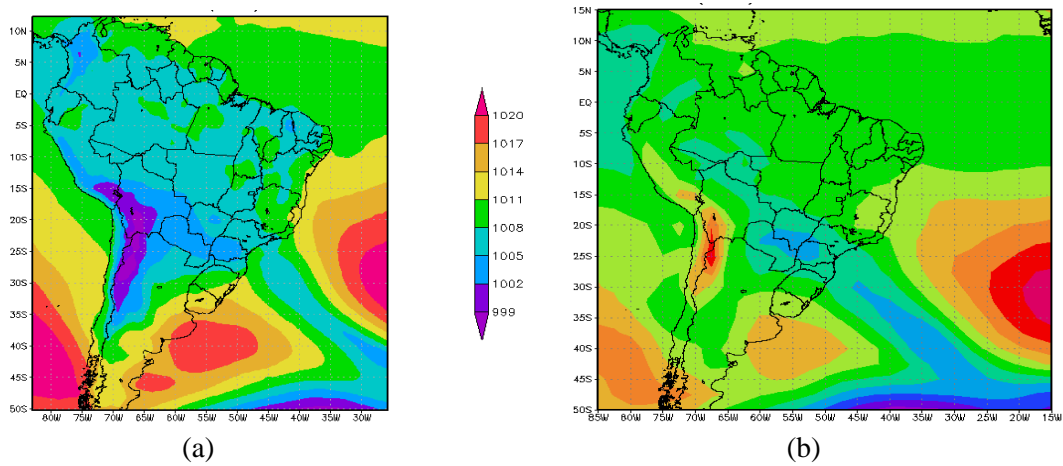


Figura 2 – PNMM (hPa) em 06/01/2007 12Z, (a) Eta-40km e (b) dados de reanálise.

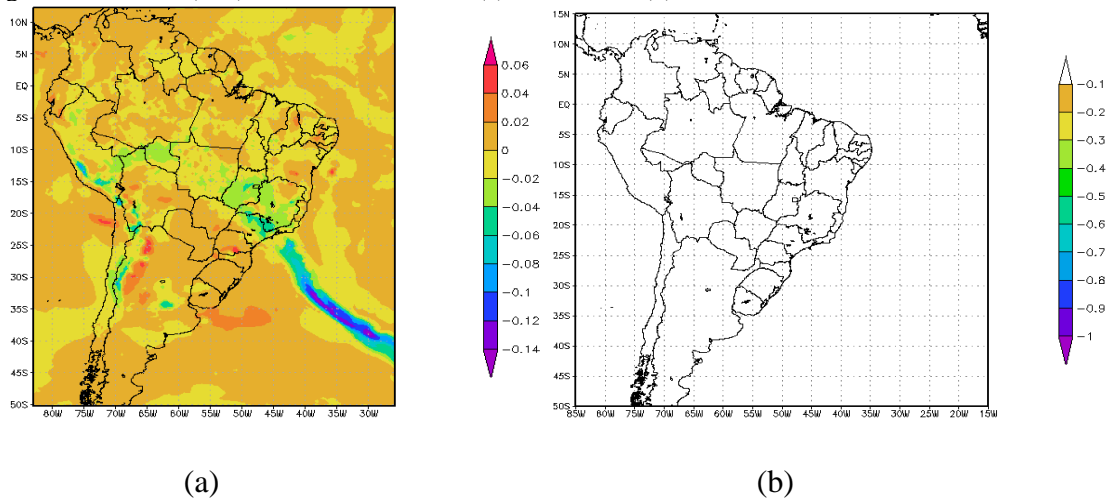


Figura 3 – Movimento vertical em 500 hPa (Pa/s) 06/01/2007, (a) Eta-40km e (b) dados de reanálise.

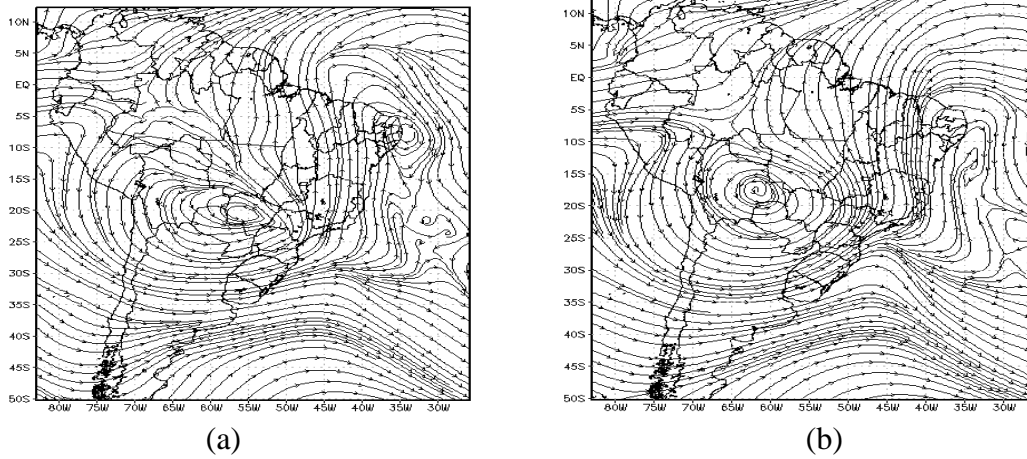


Figura 4 – Linhas de corrente em altos níveis (200 hPa) 06/01/2007 12Z, (a) Eta-40km e (b) dados de reanálise.

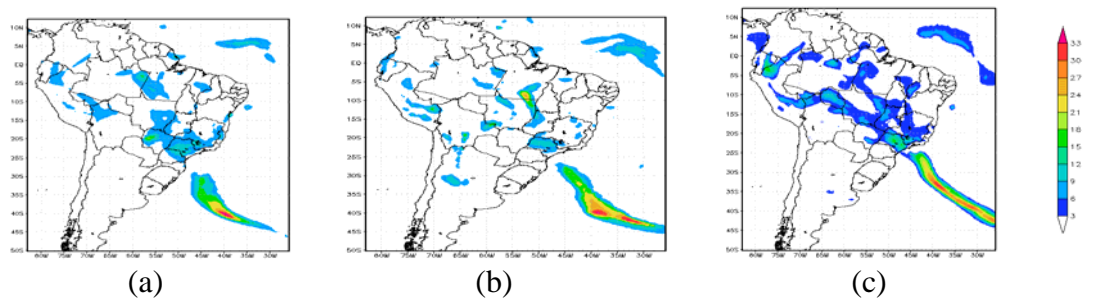


Figura 5 – Precipitação acumulada em 6h (mm) 06/01/2007, (a) integração iniciada em 03/01/2007 12Z, (b) integração iniciada em 04/01/2007 00Z e (c) integração iniciada em 05/01/2007 12Z.

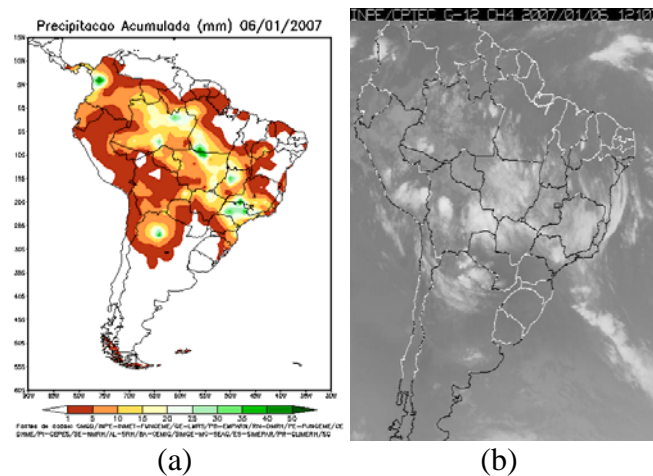


Figura 6 – Dados observacionais de precipitação acumulados em 24h (a) e (b) imagem de satélite do canal infravermelho em 06/01/2007 1210Z

3.2. Análise sinótica para o caso 2 (30 a 31 de janeiro de 2007)

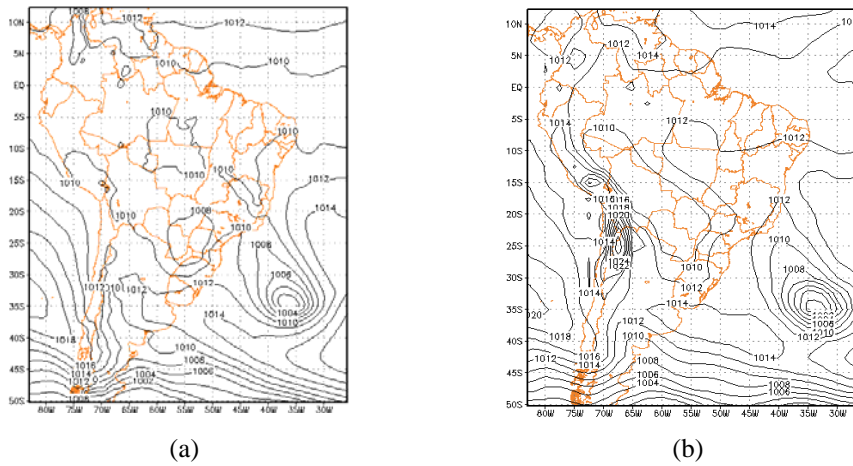


Figura 7 - PNMM (hPa) em 31/01/2007 06Z, (a) Eta – 40 km e (b) dados de reanálise

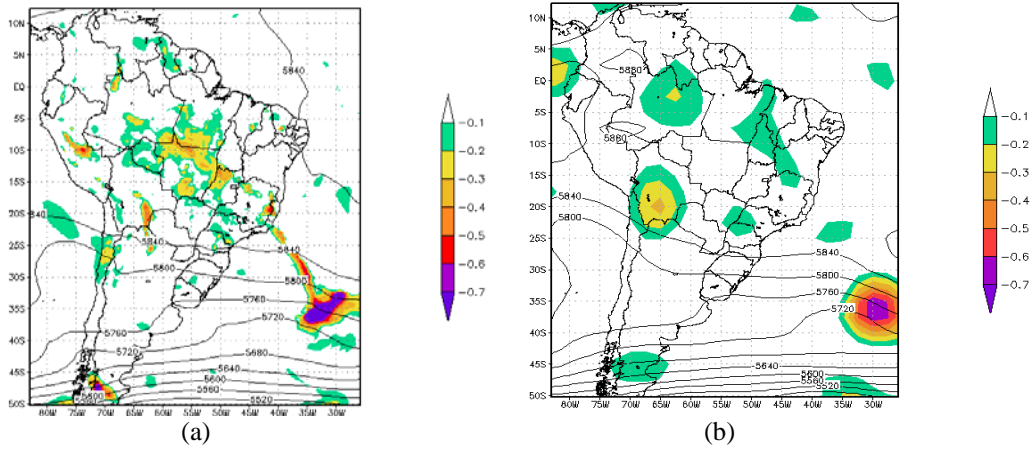


Figura 8 – movimento vertical em 500 hPa (Pa/s) 31/01/2007 06Z, (a) Eta-40km e (b) dados de reanálise.

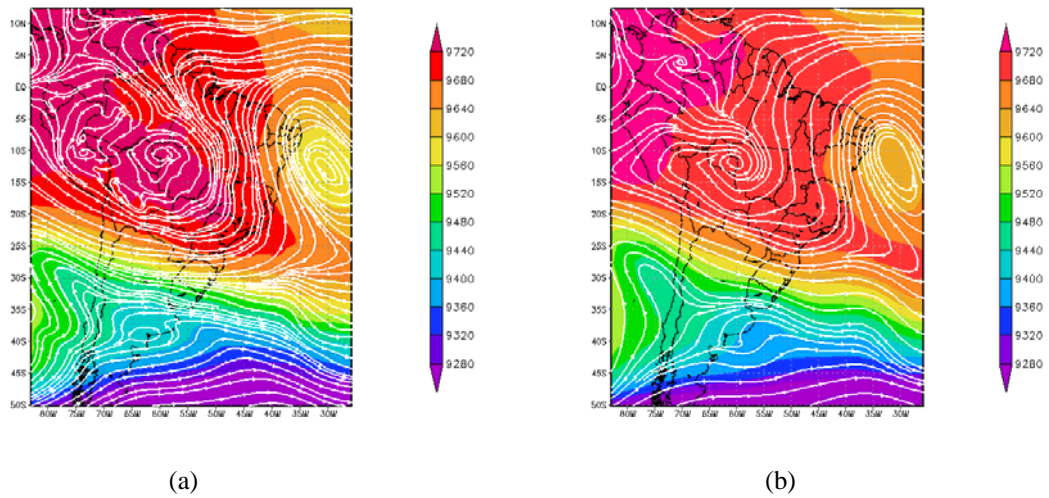


Figura 9 - Ventos e altura geopotencial em altos níveis (300 hPa) 31/01/2007 06Z, (a) Eta-40km e (b) dados de reanálise.

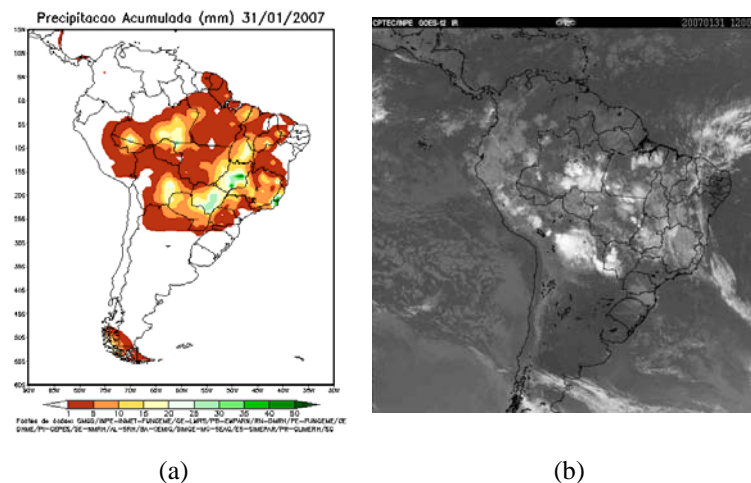


Figura 10 – Dados observacionais de precipitação acumulados em 24h (a) e (b) imagem de satélite do canal infravermelho em 31/01/2007 120Z.

Ao analisar-se o campo de movimento vertical em 500 hPa, concluímos que a região de máximo movimento ascendente localizou-se na região de atuação do sistema de atuação do sistema frontal, mostrando valores mais intensos no oceano.

No campo de PNNM, observa-se que o modelo posiciona bem o centro de baixa pressão associado ao sistema frontal. Na análise de linhas de corrente em 300 hPa, conclui-se que o modelo consegue configurar bem os sistemas normalmente associados com a ocorrência de ZCAS, tais como a Alta da Bolívia, o cavado da ZCAS e o vórtice ciclônico do Nordeste, como no caso anteriormente descrito.

3.3. Integrações com resolução de 10km para o caso 1 (1 a 8 de janeiro de 2007)

A seguir são apresentados resultados obtidos com as integrações do modelo utilizando alta resolução horizontal (10X10km). Os resultados obtidos com o modelo Eta se mostraram similares para os dois casos estudados, portanto optou-se por mostrar no presente trabalho o resultado obtido no primeiro caso, quando o desempenho obtido pelo modelo foi ligeiramente mais satisfatório. Os campos de PNNM, movimento vertical em 500 hPa, linhas de corrente em 200 hPa e 1000 hPa (altos e baixos níveis, respectivamente) e precipitação são apresentados a seguir. Os resultados mostrados correspondem à integração de 48h feita com condições iniciais em 04/01/2007 12Z.

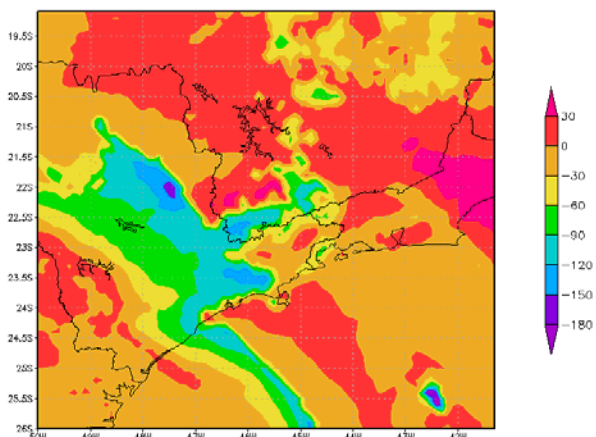


Figura 11 – Movimento vertical em 500 hPa (Pa/s) em 06/01/2007 12Z, integração de 48h do modelo Eta-10km de resolução.

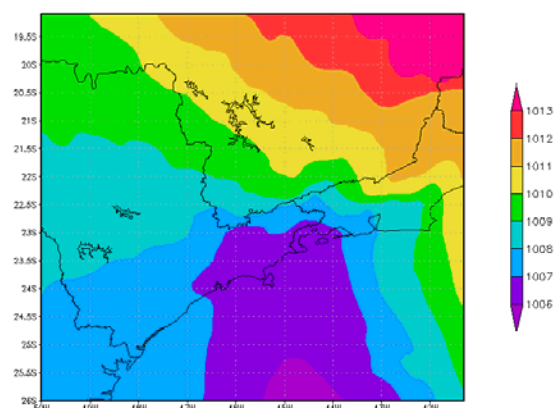


Figura 12 – PNMM (hPa) em 06/01/2007 12Z, integração de 48h do modelo Eta-10km de resolução.

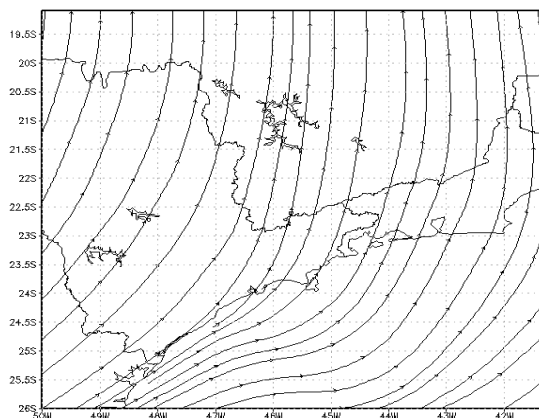


Figura 13 – Linhas de corrente em 200 hPa em 06/01/2007 12Z, integração de 48h do modelo Eta-10km de resolução.

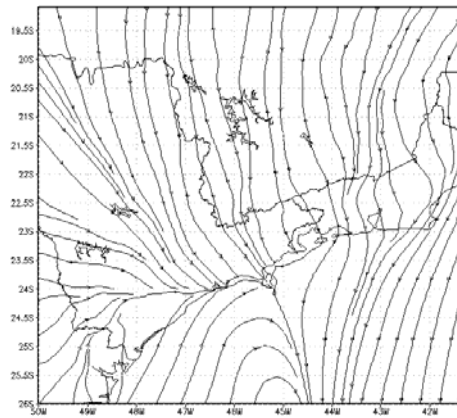


Figura 14 - Linhas de corrente em 1000 hPa em 06/01/2007 12Z, integração do modelo Eta de 48h -10km de resolução.

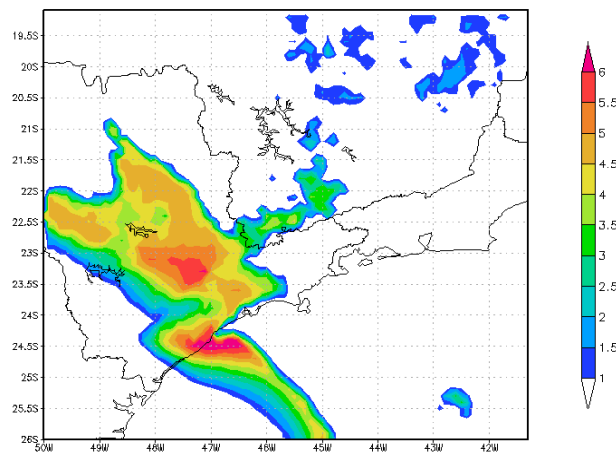


Figura 15 – Precipitação acumulada (mm) em 1h em 06/01/2007 12Z, integração de 48h do modelo Eta-10km de resolução.

A análise dos resultados acima mostrados indica que o modelo também apresenta bom desempenho quando utilizado com maior resolução, localizando de maneira satisfatória a região de atuação da ZCAS através da região de máximo movimento ascendente, assim como pela localização da faixa de máxima precipitação. Outras características como a circulação em baixos níveis e a localização do cavado também são bem configuradas pelo modelo.

3.4. Análise dos índices de instabilidade termodinâmica para o caso 2 (30/01/2007 a 31/01/2007)

Os índices de instabilidade atmosférica foram gerados para os dois casos estudados e a seguir é apresentado o resultado obtido para o segundo caso, situação em que a utilização desses índices se mostrou mais eficiente. Isso pode ser explicado

devido ao fato de que durante a passagem de um sistema frontal pode-se localizar de forma mais acurada regiões de maior instabilidade termodinâmica atmosférica, tal como acontece no caso 2. Já durante a atuação de uma ZCAS, tal como ocorre no primeiro caso, a atmosfera comporta-se de forma mais homogênea e sem núcleos destacáveis de instabilidade máxima. Vale destacar que esses índices de instabilidade aqui estudados já começam a ser usados operacionalmente na rotina de previsão de tempo, como uma ferramenta auxiliadora na detecção de tempo severo. Porém, devido ao fato de serem apenas indicativos da instabilidade atmosférica, um desvio de algumas horas nos resultados das previsões é considerado aceitável no trabalho com essas ferramentas. Aqui serão apresentados os resultados nos horários em que cada índice apresentou melhor desempenho como ferramenta para indicar regiões de intensa instabilidade e propensas a chuvas intensas a partir das integrações do modelo com resolução espacial de 10km.

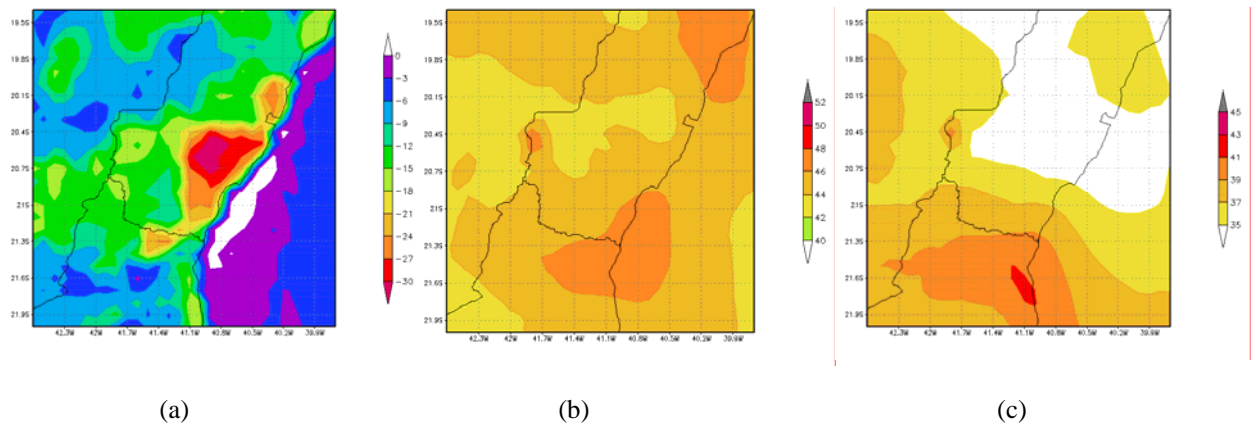


Figura 16 – Índices de instabilidade no dia 30/01/2007, ILEV (°C) as 17Z (a), ITT (°C) as 19Z (b) e K (°C) para as 22Z (c)

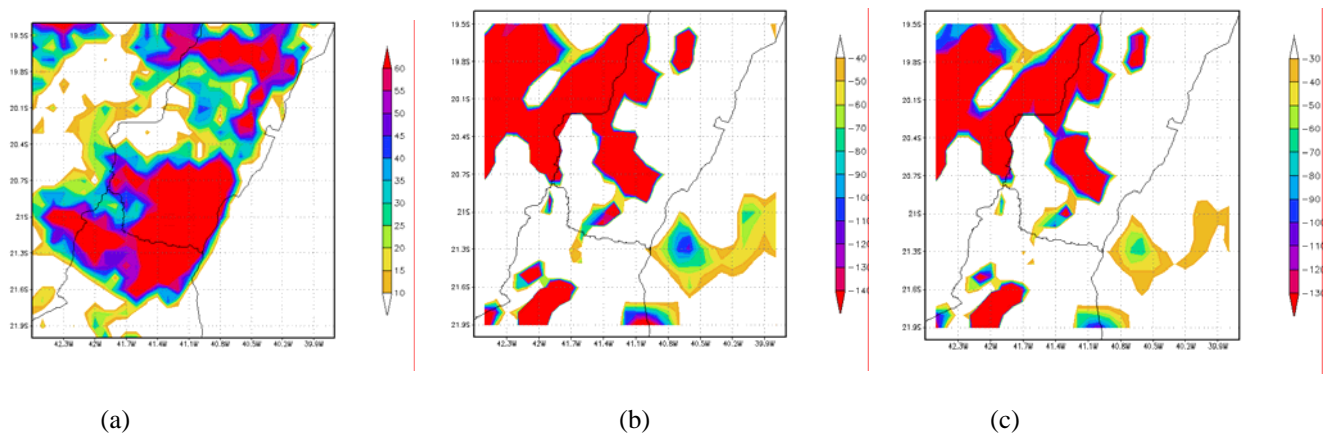


Figura 17 – Índices de instabilidade no dia 30/01/2007, CILEV (°C) as 22Z (a), CITT (°C) as 17Z (b) e CK as 17Z (c)

Os índices conseguem localizar de forma geral áreas onde há maior instabilidade próximas ao local do evento. Cada índice apresenta um desempenho característico, representando tanto localmente quanto temporalmente o evento de formas distintas. Os índices localizaram melhor os máximos de instabilidade quando associados com a convergência de umidade. Para esse estudo específico, os índices **K** e **CILEV** apresentaram melhores resultados de forma geral.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesse estudo mostram que as características sinóticas típicas observadas durante ambos os eventos analisados desse tipo estavam evidentes nas reanálises do NCEP/NCAR, tais como cavado em baixos níveis associado à frente a superfície, além da configuração tanto do cavado associado à ZCAS que se formaria posteriormente e da Alta da Bolívia, ambos em altos níveis.

As previsões de 48 horas do modelo Eta-40km representaram bem várias destas características em escala sinótica, incluindo o padrão geral da precipitação ao longo do período estudado. O modelo localizou bem as regiões de máxima precipitação. A utilização de alta resolução espacial nas integrações do modelo Eta proporcionou bons resultados, pois o modelo conseguiu representar bem os eventos locais estudados.

A utilização dos índices de instabilidade mostrou-se eficaz pois localizou áreas de maior instabilidade atmosférica próximas aos locais dos eventos de chuvas intensas analisados. É necessário, porém, um estudo mais detalhado, incluindo mais casos, dessas ferramentas visando definir limiares mais significativos para a nossa região, já que os limiares atualmente propostos não foram estabelecidos para regiões tropicais, implicando em uma análise mais eficiente e representativa a partir desses índices.

5. TRABALHOS FUTUROS

As atividades programadas consistem em realizar simulações com o modelo Eta utilizando os dados da Reanálise para outros casos de precipitação intensa a fim de avaliar o desempenho do modelo. Futuramente pretende-se realizar simulações utilizando o modelo com dados obtidos na Reanálise do NCEP-NCAR. Os casos a serem investigados estão associados com deslizamentos e encontram-se listados abaixo (Tab. 2.1)

Tabela 2.1 – Seleção de casos de deslizamentos ocorridos na Região da Serra do Mar para estudo mais detalhado

Evento Meteorológico associado	Data registrada do deslizamento	Total de Precipitação Acumulada (mm)	Localização
ZCAS intensificada pela aproximação de SF	5 a 7/1/96	13,12 (5/1/96)	São Paulo S. J. dos Campos Campinas
ZCAS intensificada pela aproximação de SF	6/2/96	25,90	São Paulo
passagem de SF	13 a 15/2/96	40,04 (15/2/96)	Ubatuba Cunha S.Luiz do Piraitinga
passagem de frente fria	21/4/97	31,86	São Paulo
SF	5/6/97	36,47	Jandira
SCMs organizados pela chegada de SF	5/3/98	48,32	São Paulo
Pós SF	1 a /3/99	35,68 (4/3/99)	São Paulo
SF	11 e 12/3/99	35,50 (12/3/99)	São Bernardo do Campo
Precipitação intensa associada com ZCAS	3 a 8/1/00	65,58 (4/1/00)	Campos do Jordão Queluz Guarulhos Santos
SCMs	27/2/00	31,73	São Paulo
SF	26/11/00	44,16	Guarujá
SCMs	14 a 16/1/02	30,75 14/1/02	Mairiporã
Passagem de SF	22/2/03	34,27	Jacupiranga
Casos de precipitação intensa associada com ZCAS	25 a 27/1/04	37,73 (25/1/04)	Itapetininga/Ribeirão Grande/Ituverava
Convecção associada a um SF no oceano	19/7/04	23,66	São Bernardo do Campo
Passagem de SF	12/1/05	34,85	São Bernardo do Campo
Período de ZCAS	17/3/05	7,47	São Paulo Fco Morato
Passagem de SF	25/5/05	128,0 (em 6 h)	Guarujá

Outra atividade a ser realizada é a avaliação das previsões do modelo Eta através de índices estatísticos de desempenho (RMSE, ETS, BIAS, SKILL SCORE, etc) (Chou e Justi da Silva, 1999) para situações de chuvas intensas. Esta avaliação visa estabelecer um grau de confiabilidade das previsão do modelo de forma mais objetiva.

Outro estudo a ser realizado é a utilização da técnica de agrupamento como forma de separar casos chuvosos moderados dos mais severos, gerando assim mais um recurso que implemente a análise desses eventos. Serão selecionados vários casos de eventos chuvosos (separados em chuvas moderadas e intensas) preferencialmente na região Sudeste. Esses casos serão agrupados de acordo com os fenômenos meteorológicos predominantes durante os eventos. Serão utilizadas diversas variáveis como critério para gerar os grupos verificando quais apresentam melhor desempenho e agrupam de maneira mais satisfatória os eventos estudados.

BIBLIOGRAFIA

Beneti, C. A.; Silva Dias, M. A. 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, v.2, p.65-70, 1986.

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

Bolton, D. The Computation of Equivalent Potential Temperature. *Monthly Weather Review*, v.108, p. 1046-1053, Jul. 1980.

Figuerola, S. N. Simulações da Circulação Atmosférica no verão sobre a América do Sul com a presença da Cordilheira dos Andes usando coordenadas eta.

(Dissertação de Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 90p. (INPE-5269-TDI/445)

Figuerola, S. N.; Silva Dias, P. L. Influência dos Andes no escoamento associado à forçantes térmicas no continente sulamericano. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 6: 498-502. Salvador, 1990. Anais II.

Figuerola, S. N. Estudo dos sistemas de circulação de verão sobre a América do Sul e suas simulações com modelos numéricos. (Dissertação de Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. (INPE-7121-TDI/672)

Fogaccia, C. V. C; Pereira Filho, A. J. 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, 2000.

Galway, J. G. The lifted index as a predictor of latente intability. Bull. Amer. Meteor. Sc., v.43. p.528-529, 1956.

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

Gonzales da Silva, R. Identificação e Análise Intrasazonal de Eventos ZCAS (Verão 2001/2002). Rio de Janeiro. Monografia (Bacharelado em Meteorologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2004.

Henry, W. The Skew-T, Log P Diagram. National Weather Service Training Center, EUA, 68 pp., 1987.

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. The NCEP/NCAR 40- Year Reanalysis Project. Bulletin of the Meteorological Society, v.77, p. 437-471, 1996.

Kalnay, E.; Mo, K. C.; Peagle, J. Large-amplitude, short-scale stationary Rosby waves in the Southern Hemisphere: observations on mechanistic experiments to determine their origin. Journal of the Atmospheric Sciences, 43(3):252-275, Feb. 1986.

Kodama, Y. 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, v.71, n.5, p. 581-610, Out. 1993.

Kodama, Y. 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, v.70, n.4, p. 813-835, Ago. 1992.

Kousky, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American Sector, revista Brasileira de Meteorologia, 3 p. 217-231, 1988.

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

Miller, R. C. 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, 190pp., 1972.

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

Nobre, C. Ainda sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul: a importância do Oceano Atlântico. Climanálise, v3, n.4 p.30-35, Abr. 1988.

Quadro, M. F. L. Estudos de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. São José dos Campos. 94p. (INPE-6341-TDI/593). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1994.

Satyamurti, P.; Rao, V. B. Zona de Convergência do Atlântico Sul. *Climanálise*, v.3, p.31-35, Mar. 1988.

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

Slobodan Niković; Dragutin Mihailović; Berivoj Rajković. Scientific Documenttationof Eta Model. World Meteorological Organization (Geneva, Switzerland) and Federal Hydrometeorological Institute (Belgrade, Yugoslávia).

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

Wallace, J. M. e Hobbs, P.V. *Atmospheric Science – An Introduction Survey*. Academic Press, INC, 1977.

APÊNDICE

Definição dos parâmetros que serão futuramente aplicados neste tipo de estudo a fim de aumentar a eficácia para identificar eventos de precipitação intensa.

A.1 Índice de instabilidade por levantamento (ILEV)

O ILEV é definido como (Galway, 1956):

$$ILEV = T_{500} - T_{P_{500}} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Onde, originalmente, T_{500} é a temperatura do ar ambiente em 500 hPa e $T_{P_{500}}$ é a 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 da superfície com a temperatura máxima prevista para o dia em questão e a razão de mistura média para os primeiros 900m da sondagem. Devido à 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 projetados para regiões e para condições atmosféricas diferentes das apresentadas aqui, no presente trabalho, consideraremos os valores citados na tabela abaixo:

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

Tabela 2.2: Valores de ILEV e seus significados.

A.2 Índice Total totals (ITT)

Introduzido por Miller (1972), o ITT é dado por:

$$ITT = T_{850} - Td_{850} - 2 \cdot T_{500} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Onde T e Td são respectivamente temperatura do ar e temperatura do ponto de orvalho. Os valores em subscripto são relacionados ao nível de pressão onde estas variáveis deverão ser tiradas. O ITT combina três informações básicas: a 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. Ressalta-se que, devido à Td não ser uma variável direta do modelo, ela foi calculada da seguinte forma:

$$Td = \frac{243.5 \ln e - 448.8}{19.48 - \ln e}, \text{ onde}$$

$$e = \frac{UR}{100} \cdot e_s \quad e_s = 6.112 \exp \left[\frac{17.67 T}{T + 243.5} \right] \quad (\text{Bolton, 1980})$$

A.3 Índice K

O índice K é definido como (George, 1960):

$$K = T_{850} - T_{500} - Td_{850} - DEP_{700} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Onde T, Td e DEP são, respectivamente, temperatura, temperatura do ponto de orvalho e depressão do bulbo úmido ambientais (em °C). Os valores em subscrito são relacionados ao nível de pressão onde estas variáveis deverão ser tiradas. Desta forma o K leva em conta a Lapse Rate de níveis médios (primeiros dois termos do lado direito da equação acima), a umidade em 850 hPa e o nível de secura da atmosfera em 700 hPa (último termo do lado direito). 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).

A.4 Índice Combinado de Convergência e K (CK)

O índice CK é definido como (Lima, 2005):

$$CK = conv \square K$$

Onde *conv* representa a convergência em baixos níveis a qual, neste trabalho será utilizado a convergência em 900 hPa e K representa o índice K citado acima. Não há ainda uma estatística formada em relação a valores de CK. Sendo assim, os valores citados na tabela abaixo foram testados devido aos resultados apresentados na etapa anteriormente realizada neste estudo nos campos de K, Convergência de Massa e do próprio índice CK:

Valores	<-30°C.s ⁻¹	<-50°C.s ⁻¹
Significado	Valores altos	Valores extremamente altos

Tabela 2.3: Valores de CK e seus significados.

A.5 Índice Combinado de Convergência e ILEV (CILEV)

Este índice, testado originalmente neste trabalho, foi inspirado no índice CK (Lima, 2005) no qual foi citado acima. Este índice é dado por:

$$CILEV = conv \square ILEV$$

Onde *conv* representa a convergência em baixos níveis a qual, neste trabalho será utilizado a convergência em 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 testados devido aos resultados apresentados na etapa anteriormente realizada neste estudo nos campos de ILEV, Convergência de Massa e do próprio índice CILEV:

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

Tabela 2.4: Valores de CILEV e seus significados.

A.6 Índice Combinado de Convergência e ITT (CITT)

Este índice, que será testado originalmente neste trabalho, foi inspirado no índice CK (Lima, 2005) no qual foi citado acima. Este índice é dado por:

$$CITT = conv \square ITT$$

Onde *conv* representa a convergência em baixos níveis a qual, neste trabalho foi utilizado a convergência em 900 hPa e ITT representa o índice total totals citado acima. Não há ainda uma estatística formada em relação a valores de CK. Sendo assim, os valores citados na tabela abaixo foram testados devido aos resultados apresentados na etapa anteriormente realizada neste estudo nos campos de ITT, Convergência de Massa e do próprio índice CITT:

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

Tabela 2.5: Valores de CITT e seus significados