

ANÁLISE SINÓTICA E AVALIAÇÃO DE UM MÉTODO OBJETIVO DE PREVISÃO DE TEMPO PARA UM EVENTO EXTREMO OCORRIDO NO CENTRO E NOROESTE DA ARGENTINA

Henri Rossi Pinheiro¹, Kelen Martins Andrade¹, Gustavo Carlos Juan Escobar¹

¹Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto **Nacional** de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, Brasil, henri.pinheiro@cptec.inpe.br

Resumo

Neste trabalho foi feita uma análise sinótica de um evento extremo sobre o centro e noroeste da Argentina, ocorrido no final de janeiro de 2012. Foi avaliado qualitativamente um método objetivo de previsão de tempo severo, cuja metodologia é baseada na combinação de índices de instabilidade e da componente termodinâmica e dinâmica da atmosfera. A escolha do limiar para cada índice de instabilidade permite determinar a intensidade da instabilidade atmosférica. O modelo utilizado foi o regional ETA nas resoluções espaciais de 15, 20 e 40 km. Embora as três resoluções analisadas tenham confirmado a ocorrência de temporais sobre parte da Argentina, na região de Córdoba o método não foi eficiente. Isto pode estar associado com o limiar usado para a umidade do ar e o movimento ascendente. Este resultado sugere que, tempestades severas sobre a Região Sudeste da América da Sul podem acontecer mesmo na ausência de valores elevados de umidade relativa do ar, necessitando neste caso de ajustes nas cartas de previsão automática.

Palavras chave: tempo severo, previsão de tempo

SYNOPTIC ANALYSIS AND EVALUATION OF AN OBJECTIVE METHOD OF SEVERE WEATHER FORECASTING OCCURRED IN THE CENTER AND NORTHWEST REGION OF ARGENTINA

Abstract

In this work was done a synoptic analysis of an extreme event over central and northwestern Argentina occurred in late January 2012. An objective method of weather severe forecasting was qualitatively evaluated, which methodology is based on instability index and thermodynamics and dynamics component of the atmosphere. The choice of each instability index threshold determines the intensity of atmospheric instability. The model used was the ETA in the 15, 20 and 40 km spatial resolutions. Although all resolutions analyzed have confirmed the occurrence of thunderstorms over Argentina, none of them was efficient for particular Cordoba region. This may be associated with the threshold used for humidity and the upward movement. This result suggests that severe storms over the Southeast Region of South America can develop in the absence of air relative humidity high values, requiring adjustments in the automatic forecast tool.

1- Introdução

Na tarde do dia 30 de janeiro de 2012, fortes temporais atingiram diversas regiões da Argentina, provocando impactos em localidades das Províncias de Buenos Aires, Córdoba e Mendoza. A cidade mais castigada pelas tormentas foi Córdoba, onde duas pessoas morreram e ao menos 30 ficaram feridas. Houve alagamentos em diversos pontos da cidade e registro de granizo, com diâmetro de até cinco centímetros. No entanto, os maiores danos foram causados pelas fortes rajadas de vento, que chegaram a 120 km/h, derrubando dezenas de árvores e causando destruição de casas, construções e danos na rede elétrica. Eventos meteorológicos extremos frequentemente atingem a Argentina durante o verão (dezembro-março), período quando a convecção a leste dos Andes é intensificada pelo forte aquecimento na Região da Baixa do Chaco (BC). De acordo com Nicolini et al. (2002), na Região Sudeste da América do Sul (SEAS) mais de 80% dos sistemas convectivos de mesoescala ocorrem na presença da BC, cuja circulação através do Jato de Baixos Níveis (JBN) promove intensos fluxos de calor e umidade entre a Região Amazônica e os extratropicais. Vários estudos mostram a relação da intensidade do JBN com a precipitação sobre o SEAM

(Nogués-Paegle e Mo, 1997; Nicolini e Saulo, 2000, Marengo et al., 2002; entre outros), que também pode ser reforçada pelo deslocamento de sistemas frontais (Machado, 2004). Salio et al. (2002) observaram que, na presença de eventos fortes de JBN, ocorre uma significativa redução das chuvas sobre a região da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

A maioria dos modelos numéricos tem dificuldade em prever a localização e intensidade de sistemas convectivos de mesoescala, principalmente no que se refere à quantidade de precipitação. Em vista da importância de um prognóstico confiável, o presente estudo tem como objetivo caracterizar o ambiente sinótico e termodinâmico deste evento severo, permitindo identificar as condições e os parâmetros atmosféricos associados a este caso. Pretende-se também avaliar para este evento a aplicação de um método objetivo para previsão de severidade.

2- Metodologia

A análise do evento em estudo foi realizada a partir de imagens do satélite GOES-12 (infravermelho) e de simulações com o modelo regional ETA. Os dados do modelo foram usados para análise do comportamento de alguns índices de instabilidades, obtidos com 18 horas de integração e usando diferentes resoluções horizontais (40km, 20km e 15km). Atualmente, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) utiliza operacionalmente apenas o modelo ETA na resolução de 15 km. No entanto, considera-se importante conhecer o comportamento deste modelo para um evento de tempo severo, utilizando diferentes resoluções espaciais.

A metodologia utilizada pelo GPT para a elaboração das ferramentas objetivas de previsão de tempo severo considera uma combinação de variáveis meteorológicas que são relevantes para a previsão de tempo extremo, com o intuito de ressaltar a combinação da componente termodinâmica e dinâmica da atmosfera. A seleção das diferentes variáveis meteorológicas combinadas, bem como os respectivos limiares que servem para caracterizar um evento extremo, foi determinada de maneira subjetiva através da experiência dos meteorologistas operacionais do GPT e de valores de referência citados na literatura (Beneti e Silva Dias 1986; Henry 1987; Silva Dias 2000; Nascimento 2005).

A seguir descrevem-se cada um das três cartas obtidas da combinação de diferentes variáveis e sua respectiva aplicabilidade.

i. Carta- Pancada de Chuva com Trovoada: o objetivo desta carta é identificar chuvas geralmente moderadas ou intensas e acompanhadas de atividade elétrica. Neste caso, leva-se em consideração a combinação das seguintes variáveis: umidade relativa média na camada 1000/850 hPa e na camada média 850/500 hPa, acima de 60%; omega no nível de 500 hPa negativo inferior a -0.05 Pa/s; índices de instabilidade Total Totals (TTS) > 45 e K > 30.

ii. Carta - Tempestade: o objetivo desta carta é identificar a ocorrência de tempo mais severo, geralmente associado com chuvas torrenciais, grandes acumulados de chuva, rajadas de vento, fortes descargas elétricas e até presença de tornados. Neste caso, leva-se em consideração a combinação das mesmas variáveis descritas na Carta anterior (i), porém aumentando os limiares dos outros índices e as seguintes variáveis: umidade relativa média na camada 1000/850 hPa e na camada média 850/500 hPa, acima de 60%; Total Totals (TTS) > 48, K > 33.

iii. Carta – Granizo: esta carta é bastante similar à anterior (ii), porém tem como intuito identificar prováveis áreas com potencial ocorrência de granizo. A seguinte carta também apresenta: temperatura negativa no nível de 500 hPa; temperatura no nível de 850 hPa; omega negativo em 500 hPa inferior a -0.3 Pa/s; umidade relativa média na camada 1000/850 hPa e na camada média 850/500 hPa, acima de 60%; SWEAT > 220, Total Totals (TTS) > 52.

3- Resultados

3.1- Análise Sinótica

As Figuras 1 (a-i) mostram a sequência de imagens de satélite durante o evento extremo na Argentina. Observa-se na Figura 1a, a formação de uma célula convectiva isolada, situada próxima à capital da Província de Córdoba. Esta célula se expande nos instantes seguintes (Figura 1 b-e), aprofundando-se verticalmente e adquirindo dimensões horizontais maiores. Este crescimento foi acompanhado pelo desenvolvimento da convecção imediatamente a leste dos Andes, atingindo as Províncias de San Juan, La Rioja, Catamarca, Salta e Jujuy, além da porção sul e oeste da Bolívia. Na Figura 1e percebe-se que o sistema convectivo atinge o seu estágio maduro, podendo ter alcançado o estágio de uma supercélula. Nota-

se que no início da noite (Figura 1g-i), a convecção esteve bastante profunda, atingindo topos com temperatura inferiores a -80C em várias áreas do território Argentino.

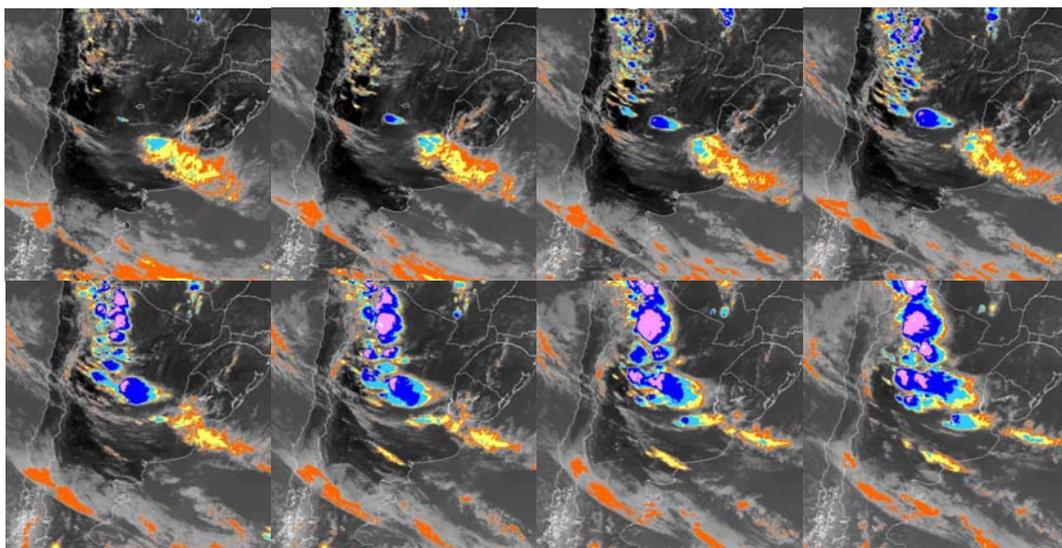


Figura 1: Imagens no canal infravermelho (realçada) do satélite GOES-12, para as 16:00, 17:00, 18:00, 18:45, 20:00, 21:00, 22:00, 23:00 UTC de 30 de janeiro de 2012.

Na Figura 2 é apresentada a análise do dia 31/01/2012 às 00Z. Em superfície (Figura 2a), observa-se a presença de uma ampla área de baixa pressão sobre o noroeste da Argentina, enquanto que ao sul de 38S aproximadamente atua uma massa de ar mais frio, associado a um pulso anticiclônico, originado do Pacífico Sudeste. Na região norte e noroeste da Argentina observa-se temperaturas elevadas (entre 30 e 35 °C), inclusive com uma variação em 48 horas superior a 10 °C em alguns pontos (Figura 2b). O forte aquecimento e a umidade transportada pelo JBN para áreas do centro-norte da Argentina favoreceram a intensificação da instabilidade sobre esta região. Na Figura 2c, nota-se a presença do jato subtropical sobre a borda sul da circulação anticiclônica em altitude, centrada entre o norte do Paraguai e parte da Bolívia. Este padrão de circulação gera difluência no escoamento, que provoca divergência de massa em altitude e intensifica o movimento ascendente na coluna atmosférica. O JBN associado ao padrão em altitude contribuiram para configuração de uma área potencialmente instável, favorecendo forte convecção, inclusive com queda de granizo em localidades de Córdoba e Buenos Aires.

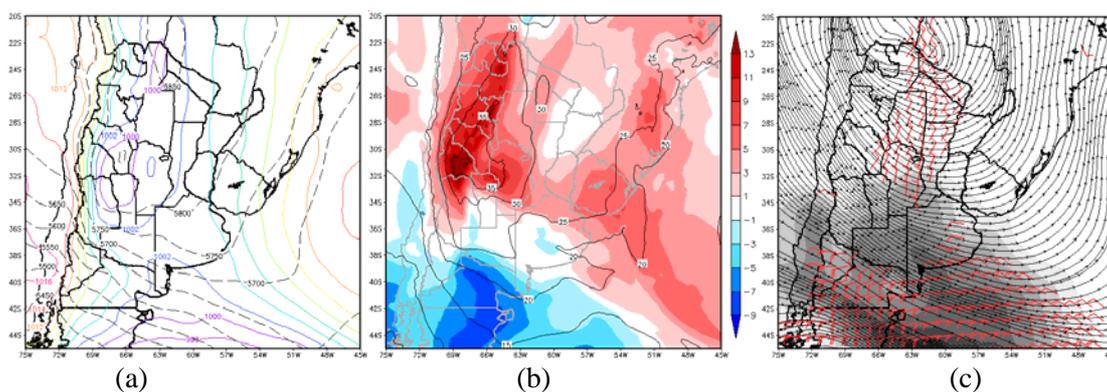


Figura 2: (a) Pressão ao nível médio do mar (hPa) e espessura em 1000/500 hPa (linha tracejada); (b) temperatura (°C) e variação da temperatura em 925 hPa entre às 00Z dos dias 29 e 31/01/2012; (c) Linhas de corrente e magnitude do vento zonal em 250 hPa/Vento em 850 hPa (barbela vermelha). As variáveis referem-se à análise do modelo ETA 15 km da 00Z de 31/01/2012.

3.2- Análise Termodinâmica

3.2.1- Índice K

Com o intuito de caracterizar ambientes favoráveis a ocorrência de tempestades severas, principalmente aquelas associadas às chuvas fortes, rajadas de vento e queda de granizo, foi avaliado dois índices de instabilidade, K e Total Totals. O índice K é definido como (GEORGE, 1960):

$$K = [T(850) - T(500)] + T_d(850) - [T(700) - T_d(700)]$$

Este índice indica o potencial para tempestades, baseando-se na taxa de variação vertical de temperatura, no conteúdo de umidade na baixa troposfera e na extensão da camada úmida. Observa-se na Figura 3 valores elevados de K em uma ampla faixa sobre a Argentina, que se estende das áreas próximas à Cordilheira dos Andes até a Região da Bacia do Prata. Em alguns pontos, os valores de K estiveram acima de 40, inclusive sobre a Província de Córdoba. Nota-se um comportamento bastante semelhante entre o ETA 20 e 40, enquanto que o ETA15 indica valores mais elevados sobre algumas áreas, como a Província de Buenos Aires e em alguns pontos da Província de Córdoba. Nesta última, os valores de K previsto pelo ETA15 estiveram superiores a 46 próximo a capital de Córdoba, indicativo de uma região favorável para forte instabilidade.

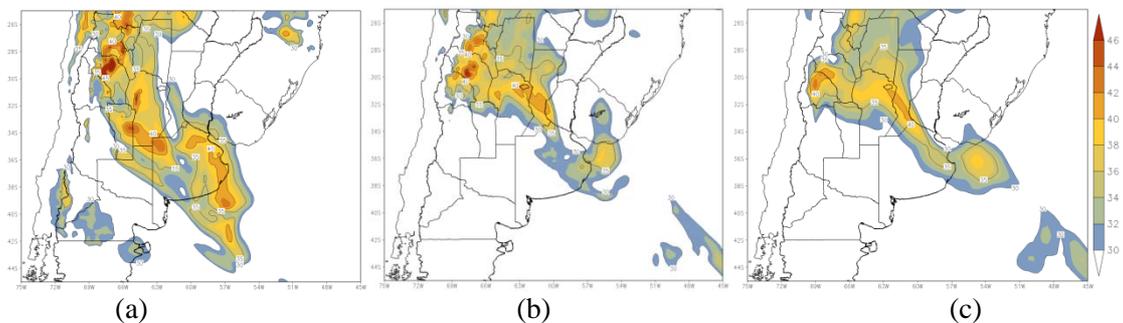


Figura 3: Previsão do índice K para 18Z do dia 30/01/2012 do modelo regional ETA, com resolução espacial (a) 15km, (b) 20km e (c) 40km.

3.2.2- Índice Total Totals

O índice Total Totals (TT) é a soma de dois índices de estabilidade (MILLER, 1972): o Vertical Totals (VT), dado pelo lapse rate entre os níveis de 850 e 500 hPa, e o Cross Totals (CT), dado pela diferença do nível de umidade em 850 hPa e a temperatura em 500 hPa. Assim, temos que:

$$TT = [T(850) + T_d(850)] - 2T(500)$$

Este índice é útil para avaliar o entranhamento de ar frio na troposfera média, sendo relevante para previsão de eventos severos associados à queda de granizo. A avaliação do modelo ETA para previsão deste índice mostra valores bastante elevados ao redor da região de Córdoba, principalmente pelo ETA15, que indica valores extremos (acima de 55) a leste da montanha. É interessante notar que o ETA15 superestima os valores de TT em relação às demais versões. O ETA 20 e 40 mostram índices menores sobre a Província de Córdoba, embora ainda significativos para o desenvolvimento de tormentas.

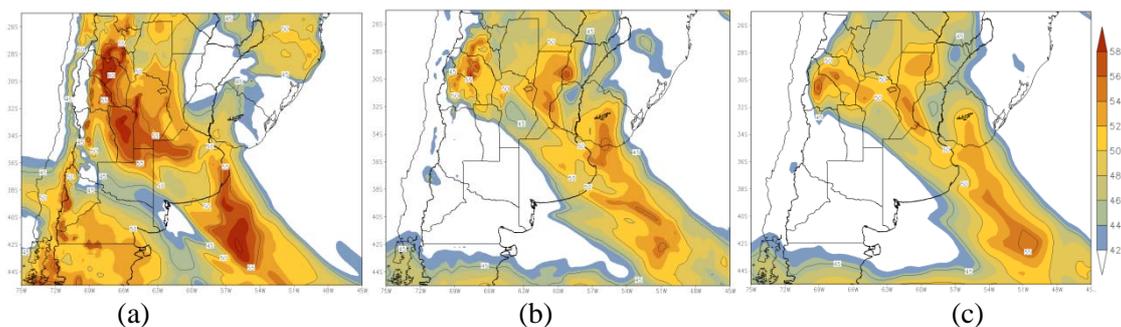


Figura 4: Previsão do índice Total Totals para 18Z do dia 30/01/2012 do modelo regional ETA, com resolução espacial (a) 15km, (b) 20km e (c) 40km.

3.2.3- Umidade na camada baixa e média

A previsão do conteúdo de umidade na atmosfera é uma importante variável para previsão de tempo, sendo essencial para o desenvolvimento da convecção. As Figuras 5a,b,c mostram um comportamento bastante semelhante da umidade relativa do ar na camada baixa e média, sendo que a área mais úmida se encontra sobre a Província de Buenos Aires e noroeste da Argentina. É interessante notar que na área onde a tormenta se formou, na região de Córdoba, não apresentava valores significativos de umidade relativa, apenas o ETA15 indicava valores acima de 60% no norte da Província de Córdoba na camada 850/500 hPa.

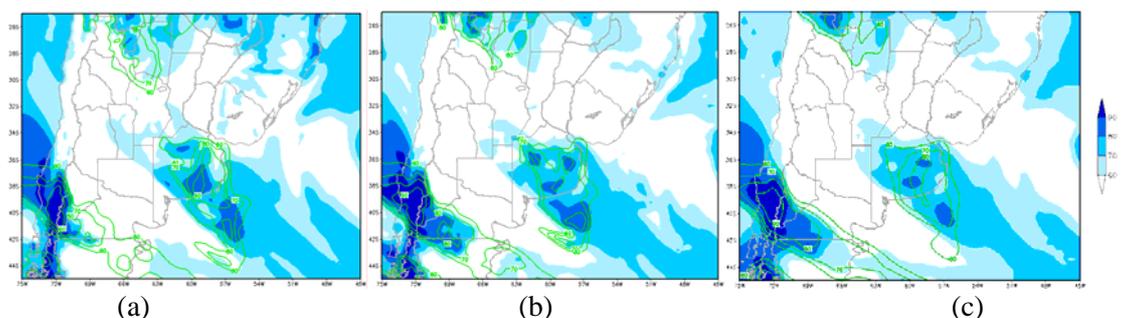


Figura 5: Previsão da umidade na camada 1000-850 hPa (sombreado) e na camada 850-500 hPa (linha verde) para 18Z do dia 30/01/2012 do modelo regional ETA, com resolução espacial (a) 15km, (b) 20km e (c) 40km.

3.1- Avaliação do método objetivo

Nas Figuras 6a, 7a e 8a são mostradas as áreas com condições para pancadas de chuva com trovoadas (sombreado em vermelho) para o modelo ETA nas resoluções 15 km, 20 km e 40 km respectivamente. Observa-se que as três resoluções do modelo ETA indicaram condições favoráveis à ocorrência de tempo severo sobre a Província de Buenos Aires, no norte e noroeste da Argentina. Porém, sobre Córdoba apenas a resolução de 15 km indicou um ambiente propício no norte desta Província. O mesmo ocorre quando os limiares dos índices K e TT são aumentados (Figuras 6b, 7b e 8b). Em relação à Carta Granizo (Figuras 6c, 7c e 8c), as áreas com potencial para o fenômeno aparecem mais restritas a pontos isolados da Província de Buenos Aires e no noroeste argentino. Na Província de Córdoba o ETA15 foi o único que mostrou condição para granizo. Ressalta-se que o campo de chuva previsto pelo modelo não indicava volumes significativos sobre a região de Córdoba, reforçando a necessidade do uso da ferramenta objetiva para previsão de eventos extremos no ambiente operacional.

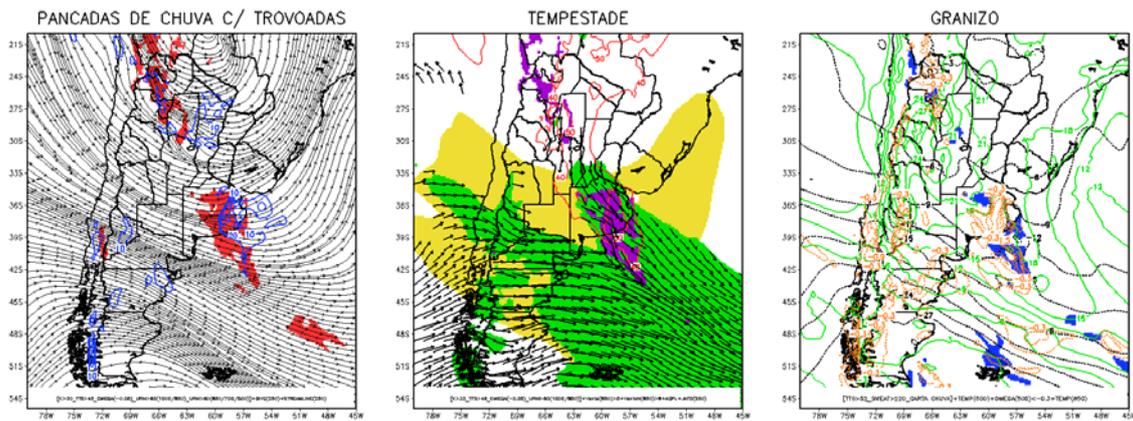


Figura 6: Cartas previstas para 18Z do dia 30/01/2012, a partir da aplicação da ferramenta objetiva de previsão de tempo. a) Pancadas de chuva com trovoadas, b) tempestade, c) granizo pelo modelo ETA 15 km.

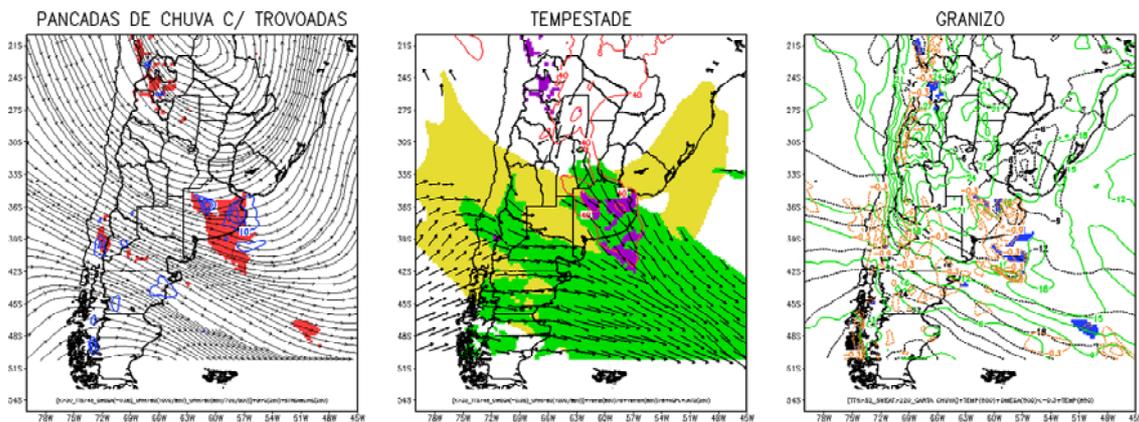


Figura 7: Cartas previstas para 18Z do dia 30/01/2012, a partir da aplicação da ferramenta objetiva de previsão de tempo. a) Pancadas de chuva com trovoadas, b) tempestade, c) granizo pelo modelo ETA 20 km.

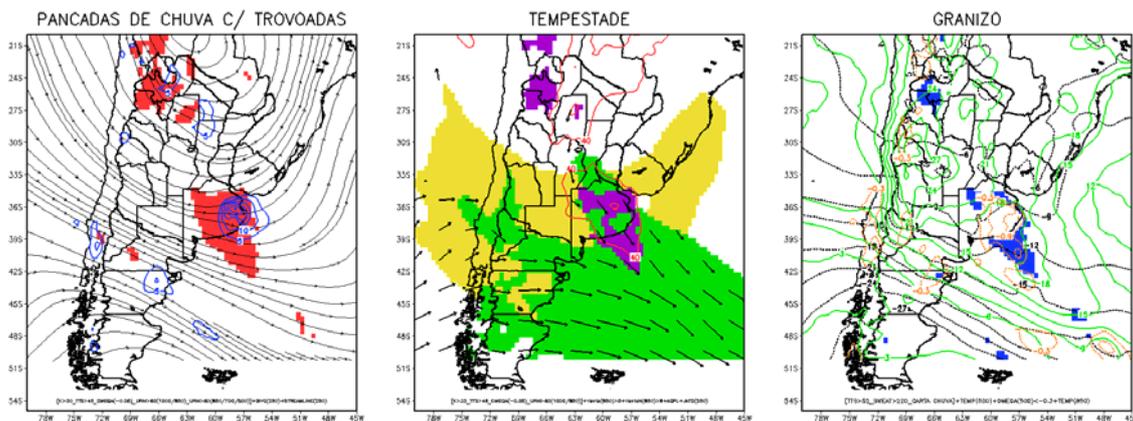


Figura 8: Cartas previstas para 18Z do dia 30/01/2012, a partir da aplicação da ferramenta objetiva de previsão de tempo. a) Pancadas de chuva com trovoadas, b) tempestade, c) granizo pelo modelo ETA 40 km.

4- Conclusões

Este estudo apresentou uma análise sinótica de um evento severo ocorrido na Argentina, atingindo várias Províncias do centro e noroeste do país. A análise do modelo ETA 15 km mostrou que a instabilidade foi gerada pela combinação de vários fatores, como a presença do Jato de Baixos Níveis a leste dos Andes, a divergência no escoamento em altitude e a aproximação de um sistema frontal em superfície, que intensificou a advecção de ar quente sobre as áreas afetadas.

As cartas de previsão automática, obtidas com modelo ETA nas resoluções 15 km, 20 km e 40 km, confirmaram a ocorrência de tempo severo sobre parte da Argentina, inclusive com condição para granizo, como foi observado em diversas localidades. No entanto, o método objetivo não foi eficiente para determinar o evento extremo sobre a região de Córdoba. Embora os índices de instabilidade K e TT tenham sido elevados, o limiar de umidade considerado na metodologia não foi suficiente para satisfazer o critério das cartas automáticas, assim como o movimento ascendente (omega em 500 hPa).

Por outro lado, os estudos de Escobar e Dias da Silva (2009) e Andrade et al. (2010) mostraram que o uso desta técnica de previsão automática foi eficaz para determinar as áreas com chuva forte na Argentina e no Sul do Brasil, respectivamente. Este resultado sugere que, tempestades severas sobre a Região Sudeste da América da Sul podem acontecer mesmo na ausência de valores elevados de umidade relativa, necessitando neste caso de ajustes nas cartas de previsão automática.

5- Referências Bibliográficas

ANDRADE, K. M.; WEIDE, M. C.; ESCOBAR, G. C. J.; DIAS DA SILVA, P. E. Avaliação qualitativa do desempenho da ferramenta objetiva de previsão de tempo utilizado no ambiente operacional do CPTEC/INPE para um caso de evento severo. **In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Belém (PA), 2010.

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

ESCOBAR, G. C. J. DIAS DA SILVA, P. E. Análise sinótica e avaliação qualitativa do desempenho sinótica e avaliação qualitativa do desempenho da ferramenta objetiva de previsão de tempo utilizada no ambiente operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) para um caso de evento severo ocorrido na cidade de Rosário (Argentina). **In: Congremet X, CLIMET XIII**, Buenos Aires. Los Desastres Naturales y el Cambio Climático, 2009.

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

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

MARENGO, J. A., DOUGLAS, M. W.; SILVA DIAS, P. L. The South American low level jet east of the Andes during the 1999 LBA TRMM and LBA-WET AMC campaign. **Journal Geophysical Research**. v.107, p. 8079, 2002

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

Nascimento, E. 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.113-122, 2005.

NOGUÉS-PAEGLE, J., and K. C. Mo, 1997: Alternating wet and dry conditions over South America during summer. *Mon. Wea.Rev.*, **125**, 279–291.

NICOLINI, M.; SAULO, A. C. ETA characterization of the 1997–98 warm season Chaco jet cases. Preprints, **Sixth Int. Conf. on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography**, Santiago, Chile, American Meteorological Society, p. 330–331, 2000.

SILVA DIAS, M. A. F. Índices de instabilidade para a previsão de chuva e tempestade severas. Universidade de São Paulo, SP. Disponível em: <<http://master.iag.usp.br/ensino>>, 2000.