

# **Análise sinótica e simulação numérica de um evento extremo de chuva sobre o litoral de São Paulo e do Rio de Janeiro em dezembro de 2011**

**Kelen Martins Andrade<sup>1</sup>, Henri Rossi Pinheiro<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>CPTEC/INPE - Cachoeira Paulista – SP - [kelen.andrade@cptec.inpe.br](mailto:kelen.andrade@cptec.inpe.br)

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho é analisar e simular com um modelo regional um evento de chuva forte ocorrido entre os dias 25 e 26/12/2011 em cidades do litoral paulista e fluminense. Em algumas localidades o volume de chuva ultrapassou 100 mm, sendo que na cidade de Ubatuba-SP o acumulado de chuva em 24 horas foi de 222,8 mm. Foram feitas simulações com o modelo regional ETA com resoluções de 15 e 5 km, com intuito de verificar a habilidade do modelo em casos extremos de chuva na Serra do Mar. As chuvas foram ocasionadas basicamente pela presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul, ventos de sudeste persistentes e o escoamento difluente em altitude, associados à orografia da região. Para este evento, tanto o modelo regional ETA com resolução horizontal de 15 km simularam bem a precipitação e o padrão sinótico.

**ABSTRACT:** The purpose of this study is to analyze and simulate event of heavy rain occurred between days 25 e 26/12/2011 in the coastal cities of Sao Paulo and Rio de Janeiro. In some places the rainfall exceeded 100 mm, and the city of Ubatuba-SP the accumulated rainfall in 24 hours was 222.8 mm. Simulations were made with the ETA model at resolutions of 15 and 5 km, in order to verify the ability of the model in cases of extreme precipitation in the Serra do Mar. The rains were caused primarily by the presence of the SACZ, persistent winds from the southeast and the divergence in high levels associated with the topography of the region. For this event both the resolution of 15 km and 5 km from the ETA model simulated well the precipitation and synoptic pattern.

## **1 – INTRODUÇÃO**

Eventos extremos de chuva frequentemente são observados na Região da Serra do Mar, como em Caraguatatuba (SP) em 1967, que causou a morte de 436 pessoas, e mais recentemente em Angra dos Reis (RJ), quando os deslizamentos de terra em primeiro de janeiro de 2010 soterraram 49 pessoas. Vários estudos numéricos e observacionais têm sido realizados como o propósito de compreender melhor a circulação atmosférica e a influência dos processos de superfície no regime de precipitação na Serra do Mar (Chou et al., 2006; Guimarães et al., 2006). Nesta região, eventos extremos de precipitação geralmente estão associados com a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sistemas frontais (Seluchi, 2006) ou com sistemas convectivos isolados (Teixeira e Satyamurty, 2006).

Em 2011, entre os dias 25 e 26 de dezembro houve chuvas torrenciais no litoral norte do Estado de São Paulo, em particular no município de Ubatuba, onde choveu 222,8 mm em apenas 24 horas, mais de 60% da climatologia de dezembro (INMET). As chuvas fortes também atingiram a capital fluminense (106 mm em Jacarepaguá), Guarujá-SP (198 mm), Baixada Santista-SP (92 mm) e localidades do Vale do Paraíba (120 mm em Areias-SP). Uma das preocupações que a comunidade meteorológica enfrenta está relacionada com a qualidade das previsões de tempo. Os modelos numéricos são as principais ferramentas, permitindo representar o comportamento da atmosfera em um período futuro. Neste sentido, os modelos regionais podem trazer vantagens para a previsão de tempo, devido à maior resolução e por serem capazes de representar com maior detalhamento os mecanismos de mesoescala, tipo de relevo e vegetação. Em vista da importância da previsão de eventos extremos de chuva, o presente estudo tem como objetivo realizar uma simulação numérica com o modelo ETA 15 km e 5 km, investigando a sua habilidade em prever as chuvas intensas ocorridas no litoral norte de SP e Região da Serra do Mar.

## 2 - MATERIAS E MÉTODOS

Os experimentos discutidos neste trabalho foram realizados para um caso de evento extremo de chuva, ocorrido no dia 25/12/2011 no litoral norte de São Paulo. As simulações foram efetuadas com tempo de integração de 72 horas, entre as latitudes de 26 °S e 19°S e entre as longitudes de 310 °W e 320 °W. Neste estudo foi utilizado a versão operacional do modelo regional ETA 15 km (ETA15) e ETA 5 km (ETA5) com 50 camadas na vertical. Um dos objetivos do uso de um modelo regional é prever com maiores detalhes fenômenos associados a frentes, orografia, brisa marítima, tempestades severas, entre outros sistemas de mesoscala (Chou, 1996). Estas previsões são fornecidas duas vezes ao dia em uma grade regular com resolução de 40 km, 20 km, 15 km e 5 km.

## 3 – RESULTADOS

A sequência de imagens de satélite (Figura 1), referente à madrugada do dia 26/12, indica muita nebulosidade sobre toda a faixa leste de SP e do RJ, se estendendo pelo interior da Região Sudeste. Este padrão está associado à presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que se estabeleceu no final do dia 25/12.

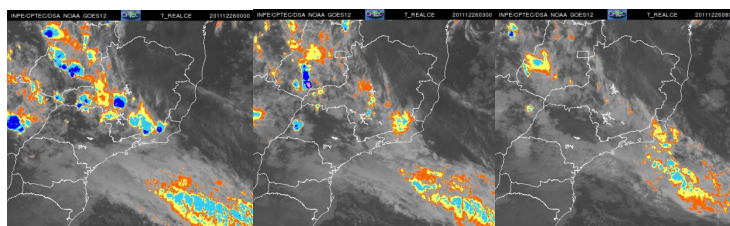


Figura 1: Imagem do satélite GOES-12 no canal infravermelho (realçada) das 00Z (esquerda), 03Z (centro) e 08Z (direita) do dia 26/12/11.

Na análise sinótica em superfície (Figura 2a) observa-se a presença da ZCAS sobre a região do Vale do Paraíba, se estendendo pelo interior de SP até o sul da Região Norte do Brasil. O escoamento em altitude (250 hPa) foi típico de um episódio clássico de ZCAS, com a Alta da Bolívia (AB) e o Vórtice Ciclônico do Nordeste (VCAN) bem configurados (Figura 2d). Nota-se também sobre SP, RJ e sul de MG, que há significativa difluência no campo de linhas de corrente, o qual favorece a convergência em superfície e conseqüentemente a convecção. Em 500 hPa (Figura 2c) observa-se um cavado entre o leste da Região Sudeste e o Atlântico, dando suporte para as chuvas sobre o SP e RJ. O escoamento de sudeste em 850 hPa (Figura 2b) esteve associado à presença de um cavado, que favoreceu a advecção de umidade do oceano para o continente.

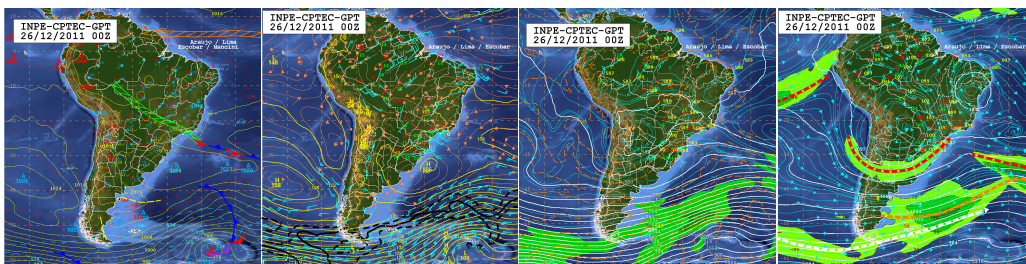


Figura 2: Análise sinótica referente às 00Z do dia 26/12/2011, elaborada pelo Grupo de Previsão de Tempo do CPTEC/INPE (a) PNM em superfície; (b) Escoamento em 850 hPa (c) Linha de corrente, magnitude do vento e temperatura em 500 hPa e (d) Linha de corrente e magnitude do vento em 250 hPa.

Nas simulações com o modelo regional ETA de 15 km (Figura 3 a-c) e 5 km (Figura 3 d-f) é possível notar um máximo de precipitação sobre o litoral de SP e sul do RJ, exatamente sobre as áreas atingidas pelas chuvas torrenciais. A precipitação observada nestas áreas foi razoavelmente simulada pelo modelo, que indicava volumes superiores a 100 mm para um período de 24 horas (entre 12Z dos dias 25 e 26/12) em pontos do litoral norte de SP e da Baixada Santista. Este comportamento foi representado com o modelo de 15 e 5 km com até 72 horas de antecedência. É interessante notar que os maiores volumes de chuva foram previstos com 48 e 72 horas de previsão. Em relação à resolução espacial, o modelo com 5 km parece distribuir melhor as chuvas sobre o litoral, enquanto o de 15 km indica pontos isolados de chuva extrema sobre a região de Ubatuba e Santos, confirmando com 48 horas de previsão a área e a intensidade da precipitação.

O comportamento dos ventos em superfície também foi bem simulado pelo modelo, representando o escoamento forte de sudeste (em torno de 20-30 kt) próximo da costa de SP. A advecção de umidade, gerada pelo gradiente de pressão em superfície, pode ter sido intensificada pela passagem da frente fria próximo ao litoral paulista.

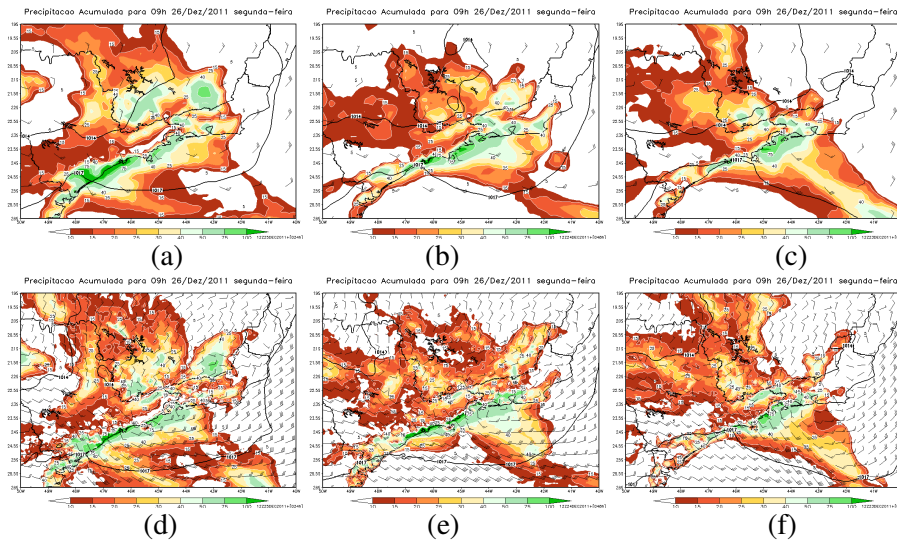


Figura 3: Previsão do modelo ETA de 15 km (a-c) e 5 km (d-f) com 24 horas (a,d), 48 horas (b,e) e 72 horas (c,f) de antecedência.

A figura 4 a-d apresenta as cartas previstas pelo modelo ETA5km referentes às 21h do dia 25/12/2011, com o modelo inicializado às 00Z do dia 25/12/2011. Na figura 4a nota-se o aporte de umidade tanto na camada baixa quanto média da atmosfera, com valores superiores a 90% na faixa litorânea e o vento de sudeste em baixos níveis superior a 5 m/s. Em níveis médios (figura 4b) observa-se um cavado sobre São Paulo, com a presença de movimento ascendente sobre o litoral de SP, fatores favoráveis à convecção. Na figura 4c nota-se áreas potencialmente instáveis (sombreadas em vermelho), onde o critério considerado é que os índices Total Totals seja maior que 45 e o K maior que 30, além de movimento ascendente (omega) inferior a  $-2 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  e que haja umidade na camada baixa da atmosfera. Se K e TT são altos a tendência é ter chuvas torrenciais, como foi o caso. A Figura 4c também mostra a linha de corrente em 250 hPa e nota-se um padrão difluente sobre a região do evento. Esse comportamento é favorável a ocorrência de chuva moderada ou intensa, como foi representado nas áreas sombreadas sobre o litoral norte de SP, sul do RJ, Vale do Paraíba e sul do RJ. Valores superiores a  $50 \text{ kg/m}^2$  para a água precipitável são observados sobre o litoral paulista (figura 4d).

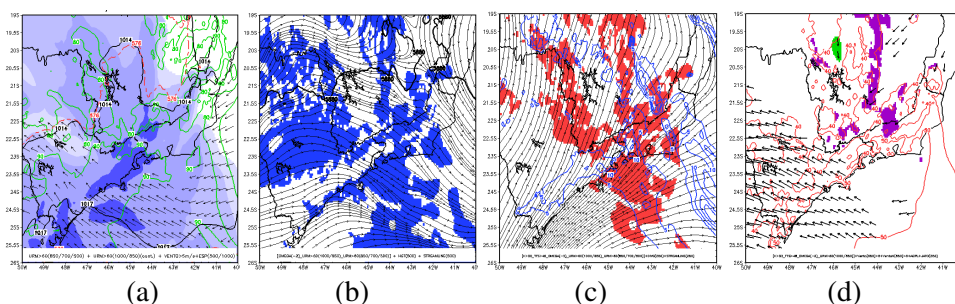


Figura 4: (a) Umidade relativa do ar média (URM) > 60% em 850-500 hPa (sombreado), URM em 1000-850 hPa (contorno) e vento > 5m/s; (b) omega <  $-2.10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , URM (1000-850) e URM (850-500hPa) > 60% (sombreado), linha de corrente em 500 hPa ; (c) URM em 1000/850 hPa e 850/500 hPa > 60%; omega em 500 hPa <  $-2.10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ; Total Totals > 45 e K > 30 (sombreado vermelho) e divergência em 250 hPa (contorno azul); (d) idem c, mas com (TTS) > 48, K > 33.

#### 4 – CONCLUSÕES

A ocorrência de eventos extremos de precipitação é comum sobre o Sudeste do Brasil, em especial durante a estação chuvosa, quando são freqüentes as ocorrências de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul ou de Zona de Convergência de Umidade. No entanto, incomum foi a quantidade de precipitação registrada no município de Ubatuba em apenas um dia, podendo assim caracterizar este caso como um evento meteorológico extremo. Observou-se que não houve severidade associada a este evento e sim precipitação intensa e contínua, devido à persistência dos ventos de sudeste, associados à presença do cavado em superfície e a ZCAS atuante. Embora várias localidades tenham registrado volumes significativos de chuva, a orografia da região de Ubatuba, muito próximo da Serra do Mar, pode ter intensificado a convergência de umidade para esta região.

Os resultados da simulação com o modelo ETA sugerem que as chuvas foram provocadas pela combinação de dois fatores: o escoamento em escala sinótica, que permitiu um transporte eficiente de umidade do oceano para o continente; e os efeitos locais, como a orografia e os mecanismos de circulação de mesoescala.

O máximo de precipitação em 24 horas observado sobre a faixa litorânea de SP foi bem simulado pelo modelo, que indicava volumes acima de 100 mm com 24h, 48h e 72h de previsão. Estes resultados não mostraram diferenças significativas entre a resolução horizontal de 15 km e 5 km, indicando que para o caso em estudo ambos apresentaram boa destreza na representação das chuvas. No entanto, é extremamente importante a realização de novas avaliações incluindo diferentes eventos meteorológicos sobre a Região Sudeste do Brasil, a fim de verificar o desempenho do modelo operacional ETA para diferentes situações.

#### 5 - REFERÊNCIAS

CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. L. Predictability of heavy rainfall events over the Serra do Mar. In: **International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography**, 08, Foz do Iguaçu (PR), Br. Proceedings... 2006. p. 1729-1731. CD-ROM. (INPE-13869-PRE/9050).

GUIMARÃES, J. M.; DEREZYNSKI, C. P.; CHOU, S. C. Avaliação do Modelo Eta durante um Episódio de Chuvas Intensas na Região da Serra do Mar. **Congresso Brasileiro de Meteorologia, XIV - (CBMET)**, Florianópolis, SC. Anais...2006. CD-ROM.

SELUCHI, M. E. Padrões sinóticos associados a situações de deslizamentos de encostas na serra do mar. **Congresso Brasileiro de Meteorologia, XIV - (CBMET)**, Florianópolis, SC. Anais...2006. CD-ROM.

TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTI, P. Eventos Extremos de Precipitação na Região da Serra do Mar: II – condições meteorológicas de grande escala. **Congresso Brasileiro de Meteorologia, XIV - (CBMET)**, Florianópolis, SC. Anais...2006. CD-ROM.