

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO MODELO REGIONAL ETA  
UTILIZANDO UMA TOPOGRAFIA DE 30 SEGUNDOS**

***Claudine Pereira Dereczynski<sup>1</sup>, José Roberto Rozante<sup>2</sup> e Sin Chan Chou<sup>2</sup>.***

***<sup>1</sup>Departamento de Meteorologia – UFRJ  
Av. Brigadeiro Trompowsky, s/n, Cidade Universitária  
Ilha do Fundão, Prédio do CCMN-IGEO, 21949-900  
e-mail: claudine@igeo.ufrj.br***

***<sup>2</sup>Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – INPE  
Rod. Pres. Dutra, km 40, Cachoeira Paulista – SP, 12630-000  
e-mails: rozante@cptec.inpe.br e chou@cptec.inpe.br***

**ABSTRACT**

The effects on the use of a higher resolution topography (30 seconds) on the prognostic fields produced by the regional Eta model are evaluated. Two experiments are performed for a case study of a cyclogenesis over the Atlantic Ocean, at the vicinity of the Brazilian southern coast. In one experiment the model topography was constructed from an original 30'' resolution topography dataset, and the other, from a 10' dataset. Comparisons between the two experiments show that, although changes are restricted to a local scale, the best performance is achieved using the higher resolution topography. It was also observed an increase (decrease) of temperature, convergence humidity and precipitation where mountains became lower (higher).

## **1. INTRODUÇÃO**

O modelo de área limitada Eta (Mesinger et al., 1988; Black, 1994) tem sido utilizado operacionalmente no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desde 1996 (Chou, 1996). Previsões para toda a América do Sul de 6 em 6 horas, até 60 horas, são disponibilizadas duas vezes ao dia na INTERNET e são acessadas diariamente por diversos usuários.

Uma boa representação da topografia, principalmente nos modelos numéricos de alta resolução, é essencial para garantir um bom desempenho do modelo. A precipitação, os ventos, a temperatura, a umidade e outras variáveis são direta e indiretamente afetados pela topografia e altitude. De acordo com Fu (1995) a precipitação numa região montanhosa depende da: velocidade e direção do vento, orientação e inclinação da encosta, temperatura do ar, umidade absoluta e umidade relativa na base da montanha, elevação do terreno e distribuição da temperatura e vapor d'água na atmosfera livre. Fu demonstrou que quando o ângulo entre o vento e a inclinação do terreno se aproxima de zero, e a inclinação da superfície se aproxima de 45°, a topografia tem seu efeito máximo sobre a precipitação.

A topografia do modelo Eta atualmente em uso no CPTEC, foi gerada a partir de um arquivo de topografia de 10 minutos, o que significa que o espaçamento entre pontos de elevação adjacentes é um arco de 10 minutos de latitude e longitude (aproximadamente 20 km). Esta topografia está sendo substituída por outra de maior resolução, constituída por dados de elevação regularmente espaçados, a cada 30 segundos (aproximadamente 1 km) de latitude e longitude, preparada pelo U. S. Geological Survey's EROS Data Center (EDC) em Sioux Falls, South Dakota, USA (<http://edc.usgs.gov/>).

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência desta nova topografia de 30 segundos na performance do modelo Eta, ou seja, deseja-se saber como os prognósticos de precipitação, ventos, umidade do ar e outras variáveis são afetadas pela substituição da topografia. No item 2 é apresentada uma descrição da topografia do modelo Eta. Os dados e a metodologia utilizados para avaliação são apresentados no item 3. No item 4 são apresentados os resultados e finalmente no item 5 as conclusões.

## 2. A TOPOGRAFIA DO MODELO ETA

A coordenada eta foi criada por Mesinger (1984) para reduzir os erros cometidos pela coordenada  $\sigma$  (Phillips, 1957) quando são calculados a força do gradiente de pressão, a advecção e difusão horizontais numa superfície íngreme. Assim como a coordenada sigma, eta também é baseada na pressão e normalizada (varia entre 0 e 1), o que significa que ambas tem a vantagem de descrever as equações governantes da atmosfera numa forma relativamente simples.

A coordenada eta é definida pela relação:

$$h = s h_s \quad (2.1)$$

onde:

$$s = \frac{p - p_T}{p_s - p_T} \quad (2.2)$$

$p_T$  = pressão no topo do domínio

$p_s$  = pressão à superfície

$p$  = pressão no ponto desejado

$$h_s = \frac{p_{ref}(z_s) - p_T}{p_{ref}(0) - p_T} \quad (2.3)$$

$p_{ref}$  = pressão de referência numa atmosfera padrão, que é uma função da distância acima do nível do mar.

$z_s$  = elevação no limite inferior do modelo

$p_{ref}(0) = 1013.25 \text{ hPa}$

A topografia do modelo Eta é representada por degraus discretos cujos topos coincidem com a interface das camadas do modelo. A altura de cada degrau é obtida a partir do método da silhueta (Black, 1994). Este método, ilustrado de forma esquemática na figura abaixo, consiste nos seguintes passos:

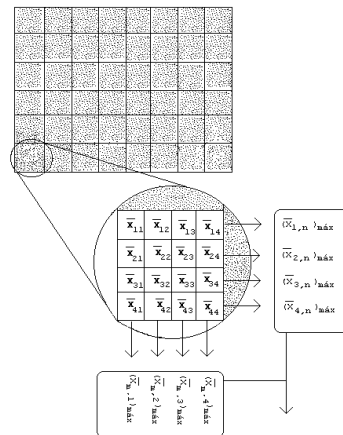


Fig. 2.1 – Representação esquemática do método da silhueta, utilizada para calcular a altura de cada degrau na topografia do modelo Eta (Fonte: Rozante, 1999).

- Divisão de cada grade horizontal em 16 sub-grades, de tal maneira que apresente uma configuração de 4 linhas e 4 colunas;
- para cada uma das 16 sub-grades é calculado um valor médio de altura. Esta média é feita a partir dos valores de elevação do terreno, neste caso provenientes do arquivo de 30'' (GTOPO30);
- para cada linha e cada coluna da grade é escolhido a maior média de elevação, resultando em oito valores máximos;

- d) calcula-se então a média destes oito valores e obtém-se uma altura intermediária e  
 e) a altura final será obtida simplesmente movendo-se a altura intermediária para cima ou para baixo, em direção a interface do nível que estiver mais próximo.

As alturas das interfaces dos níveis do modelo são previamente determinadas, da seguinte forma:

- Inicialmente define-se a espessura e os níveis de  $\eta_s$  de cada camada;
- a partir da equação 2.3, obtém-se a pressão de referência para cada  $\eta_s$  selecionado e
- finalmente, a elevação  $z_s$  é obtida para a pressão de referência calculada em b, a partir de considerações da atmosfera padrão.

### 3. DADOS E METODOLOGIA

O arquivo contendo os dados de elevação regularmente espaçados a cada 30 segundos (aproximadamente 1 km), denominado GTOPO30, foi obtido via ftp no endereço <http://edc.usgs.gov/webglis>.

A avaliação da performance do modelo Eta com a nova topografia de 30 segundos foi feita para uma área reduzida, a fim de tornar os experimentos mais econômicos. A área reduzida, estendendo-se desde 16 a 35°S e 39 a 62°W, abrange a região sul, quase toda o sudeste e parte do centro-oeste do Brasil, o Uruguai, o Paraguai e pequenas áreas da Argentina e da Bolívia. Os dois experimentos na área reduzida, (T30'' e T10'), foram rodados com a versão do modelo Eta de 38 níveis e resolução horizontal de 20 km.

Inicialmente foi feita uma comparação entre as alturas geradas pelo modelo Eta com T30'' e T10' e as alturas observadas das estações meteorológicas, fazendo-se a interpolação dos valores obtidos nos pontos de grade para a posição real onde estão localizadas as estações meteorológicas. Calculou-se então a raiz quadrada do erro quadrático médio (REQM) para as alturas geradas com T30'' e T10', utilizando-se a seguinte equação:

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z - Z_{obs})^2}$$

onde:

Z = altura gerada pelo modelo nos experimentos T30'' ou T10'

Zobs = altura observada da estação meteorológica

Uma avaliação subjetiva das topografias geradas por T30'' e T10' foi feita, comparando-as visualmente com o mapa topográfico GTOPO30 e com as folhas SG-22 e SH-22 da Carta do Brasil ao Milionésimo (IBGE, 1972).

Numa segunda etapa os dois experimentos (T30'' e T10') foram rodados para um caso de ciclogênese no litoral de Santa Catarina, ocorrido em 13 de abril de 2000. O vórtice ciclônico gerou ventos fortes e precipitação sobre os Estados de Santa Catarina, norte do Rio Grande do Sul e sul do Paraná. Utilizou-se como condição inicial a análise do modelo global do CPTEC (versão T062L28) do dia 11/04/2000 12Z e como condição de contorno as previsões geradas a partir desta análise, atualizadas a cada 6 horas.

As previsões para 48-h de alguns campos selecionados, geradas a partir da análise do dia 11/04, foram avaliadas, comparando-se T30'' com T10'. Para a avaliação da previsão de precipitação utilizou-se também dados sinóticos de chuva acumulada no período 12 a 13/04 – 12Z.

#### 3.1 Descrição do caso em estudo

O caso selecionado para estudo refere-se a uma ciclogênese ocorrida no oceano Atlântico, próximo a costa da região sul do Brasil, entre os dias 12 e 13/04/2000. A ciclogênese foi precedida pela passagem de um

sistema frontal, que se deslocou rapidamente (em aproximadamente 1 dia) entre os litorais dos Estados de Santa Catarina e Espírito Santo.

No dia 13/04 – 12Z, o centro do vórtice ciclônico em superfície estava localizado a aproximadamente 30°S/47°W, estendendo-se por toda a troposfera. No litoral de Santa Catarina os ventos em superfície sopravam de quadrante oeste. A fig. 3.1 apresenta a precipitação observada acumulada em 24 h, totalizada em 13/04 – 12Z e os campos de vento e pressão ao nível médio do mar do mesmo dia provenientes da análise do National Centers for Environmental Prediction (NCEP).

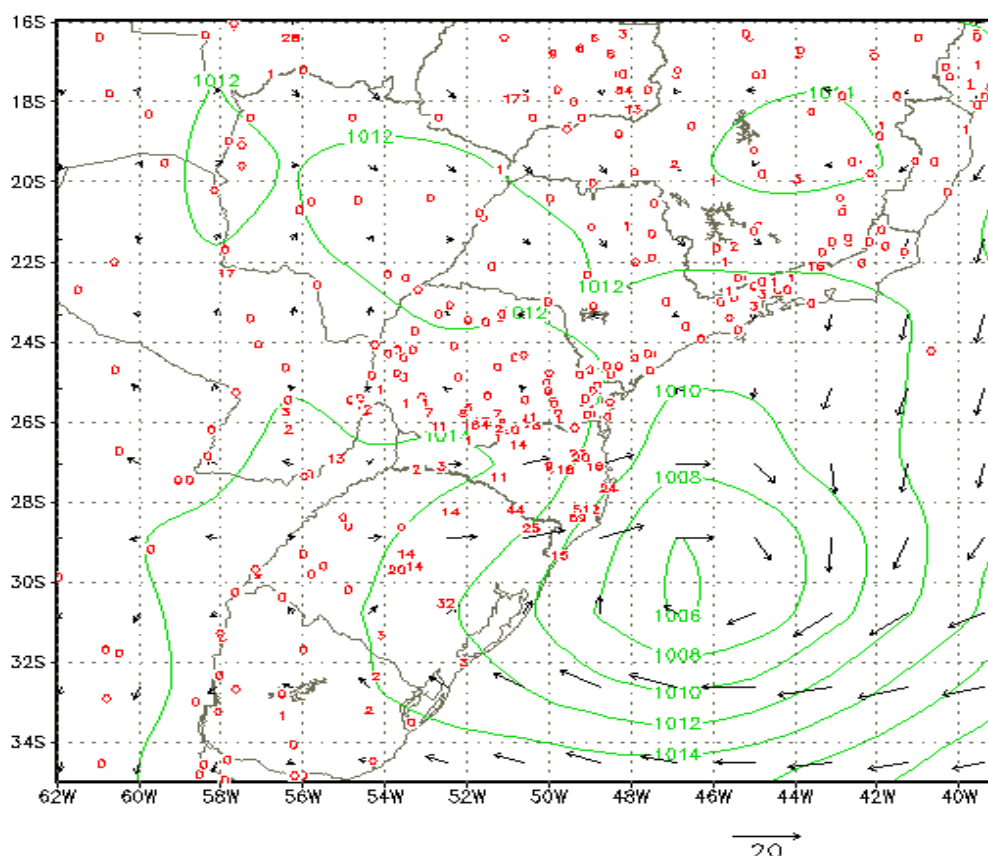


Fig. 3.1 – Campos de vento (m/s) e pressão ao nível médio do mar (hPa) do dia 13/04/00 – 12Z. Os números em vermelho indicam a precipitação acumulada (mm) nas estações meteorológicas no período 12/04 – 12 Z a 13/04-12Z.

Depois de formado, o vórtice ciclônico deslocou-se para sudeste, em direção ao Oceano Atlântico. No dia 14/04 – 00Z o sistema estava ainda mais intenso, com pressão de 1004 ao nível médio do mar. A imagem de satélite do dia 13/04/00 – 12Z (fig. 3.2) mostra o sistema sobre o oceano, na altura do litoral do Rio Grande do Sul.

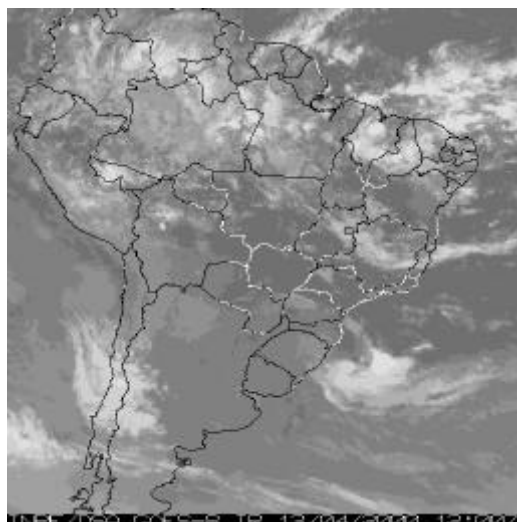


Fig. 3.2 - Imagem do satélite GOES-8, canal IR do dia 13/04/00 – 12Z

#### 4. RESULTADOS

A topografia obtida com T30'' e T10' foi avaliada para toda a área reduzida e em detalhe para o Estado de Santa Catarina. Os prognósticos para 48 h dos campos de precipitação, umidade específica, temperatura, ventos à superfície e movimento vertical, foram avaliados para a região onde ocorreu a precipitação produzida pelo vórtice ciclônico, ou seja, Santa Catarina, norte do Rio Grande do Sul e sul do Paraná.

Nos próximos itens o termo “diferença” refere-se sempre a diferença entre os campos gerados a partir dos experimentos T30'' e T10', ou seja, T30''- T10'.

##### 4.1 Topografia na área reduzida

As REQMs obtidas para T30'', de 89,95 m e T10', de 102,83 m indicam que a topografia T30'', com REQM menor, é a mais realista, além disso uma análise mais detalhada revela que assim como a altura, a orientação da topografia em T30'' também é de melhor qualidade.

De forma geral, a tendência de T30'' é de elevar a topografia (ver fig. 4.1), principalmente nas regiões montanhosas onde diferenças de alturas atingiram por exemplo, 300 m nas Serras do Espinhaço (MG) e da Fartura (SC). Nos planaltos, as diferenças são menores e nas planícies estas não atingem 100 m. Uma análise para as planícies do Rio Grande do Sul, Uruguai, Paraguai e nordeste da Argentina, mostra que as diferenças entre as duas topografias são inferiores a 50 m. Além disso, comparando-se com os dados de altitude observados nas estações meteorológicas, a REQM para a região é baixa: 27 m para T30'' e 29.7 m para T10', o que indica que tais regiões, por não possuírem topografia acidentada, a resolução do dado original de orografia tem pouca influência.

Em algumas regiões verificou-se redução da topografia, ou seja, valores negativos de T30''- T10'. Apenas no litoral dos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina esta diferença foi acentuada, maior do que nas demais regiões onde observaram-se valores inferiores (em módulo) a 200 m. No litoral sul do Rio de Janeiro verificam-se diferenças de até 350 m entre a Ilha Grande e a Serra do Mar (aproximadamente 22.6°S/43.8°W). No litoral de São Paulo a diferença mais acentuada ficou em torno de 300 m no continente, ao norte da Ilha de São Sebastião (23.6°S/45.4°W).

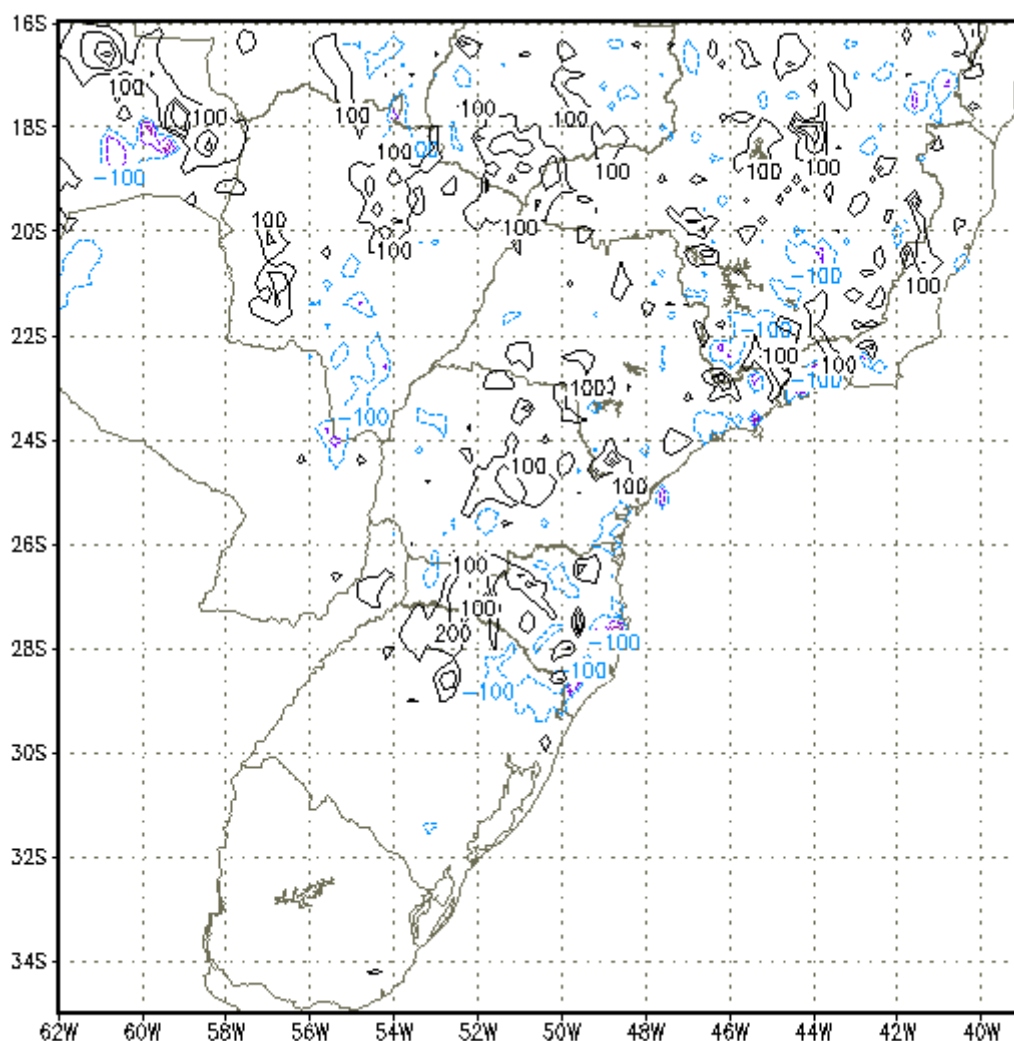


Fig. 4.1 – Diferença das alturas (m) entre as topografias de 30 segundos e 10 minutos (T30''-T10') para a área reduzida.

## 4.2 Topografia em Santa Catarina

A figura 4.2 apresenta a topografia GTOPO30 para o Estado de Santa Catarina. Esta topografia é tomada aqui como verdadeira para efeito de comparação com T30'' e T10'. As Serras Geral, do Mar e do Espigão são indicadas pelos pontos 1, 2 e 3, respectivamente. As linhas de contorno são diferenças das alturas entre T30'' e T10'.

No ponto 1, a região mais elevada, que é superior a 1600 m, foi configurada em T30'' como um pico de 1450 m e em T10' com 1300 m. Além de elevar esta região, T30'' modificou sua forma e posição, tornando-a mais "realista". Dessa forma surgem diferenças positivas a oeste, a sul e a norte do topo e diferenças negativas em torno do pico, principalmente em duas regiões preferenciais: no ponto 1A, a nordeste (27.6°S/48.8°W) e no ponto 1B, a sudeste (28.6°S/49.8°W) do topo, com valores de -320 m e -390 m, respectivamente.

No ponto 2, o topo de 1200 m foi representado em T30'' com 1000 m e mais próximo de sua posição no GTOPO30. As diferenças atingiram 200 m e localizaram-se a leste da posição verdadeira, a aproximadamente 28.6°S/49.8°W

No ponto 3, T30'' apresenta uma ótima representação da topografia, alongando o topo meridionalmente, e elevando-o a sua altura verdadeira, 1200 m. Assim, surgem diferenças positivas sobre a região que atinge 200 m.

Além desses três pontos de maior elevação verifica-se que a região mais baixa, desde o litoral até a encosta das montanhas também foi melhor representada com T30'', como por exemplo próximo a 27.0°S/49.5°W.

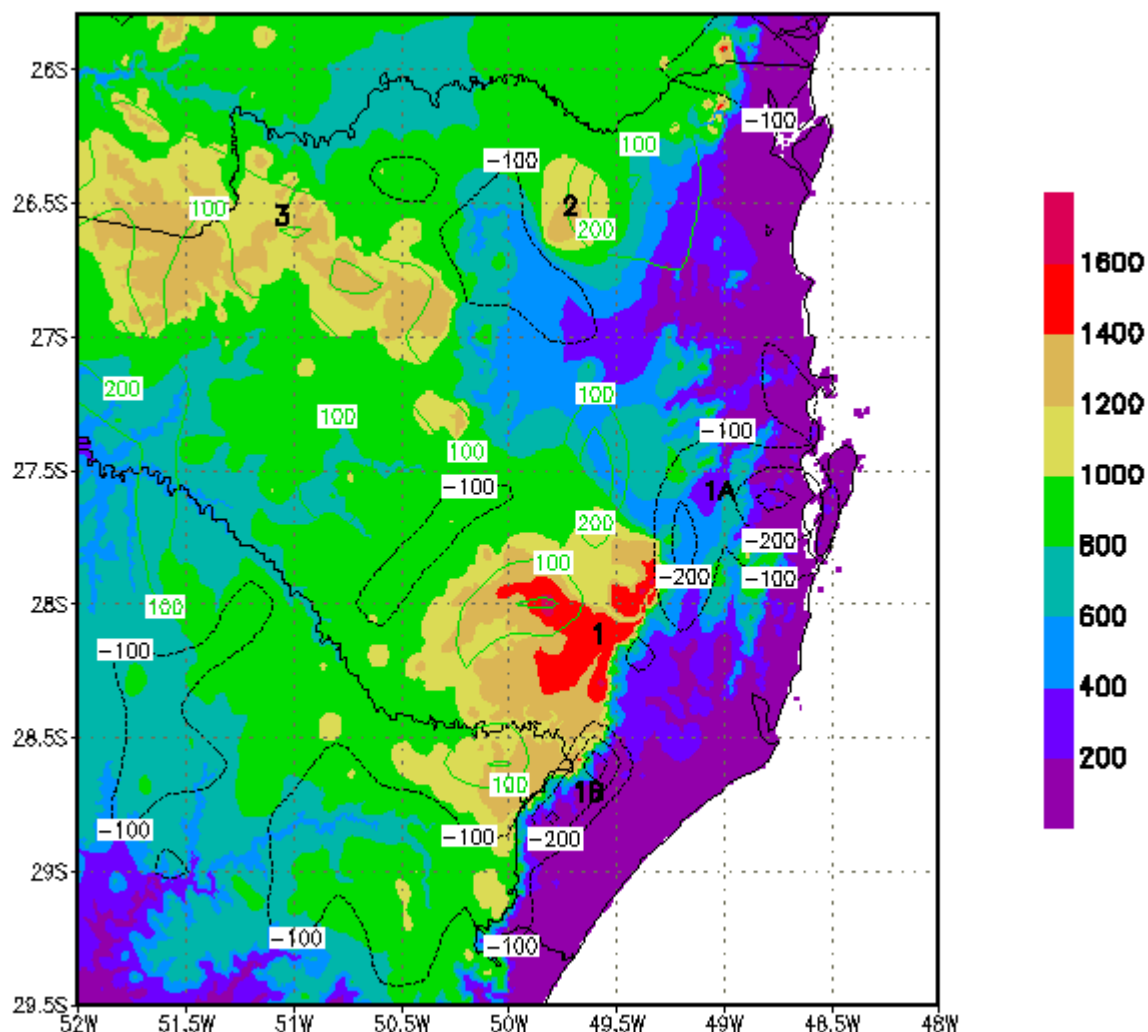


Fig. 4.2 – Topografia (m) do Estado de Santa Catarina (Fonte: U. S. Geological Survey's EROS Data Center), com indicação das Serras Geral, do Mar e do Espigão, pontos 1, 2 e 3, respectivamente. As linhas indicam diferenças de altura (m) entre a topografia de 30 segundos e 10 minutos (T30''-T10').

### 4.3 Campos prognósticos

Todos os campos prognósticos apresentados referem-se às previsões de 48 h, geradas a partir da análise do dia 11/04 as 12Z, válidas para 13/04 – 12Z.

#### 4.3.1 Precipitação

O prognóstico de precipitação (figura 4.3), mostra que a chuva foi acentuada exatamente nos locais aonde houve elevação do terreno e vice-versa, chegando a diferenças positivas e negativas em torno de 20 mm.

Analisando-se as previsões de precipitação para T30'' e T10' separadamente, verifica-se que o modelo prevê chuva desde o oceano, acentuando-a ao penetrar no continente, onde existe um máximo e novamente reduzindo-a a medida que se aproxima das montanhas, até atingirem um mínimo no alto das serras, onde ainda ocorre precipitação. Este comportamento é observado tanto em T30'' como em T10'.

Os dados observacionais mostram que para grande parte das estações meteorológicas nesta região de interesse, os erros em T30'' foram menores do que em T10', resultando em valores de REQM de 15.71 e de 16.66 mm para T30'' e T10', respectivamente. Outro aspecto observado a partir dos dados observacionais é que em geral houve superestimação da precipitação, tanto em T30'' como em T10'.

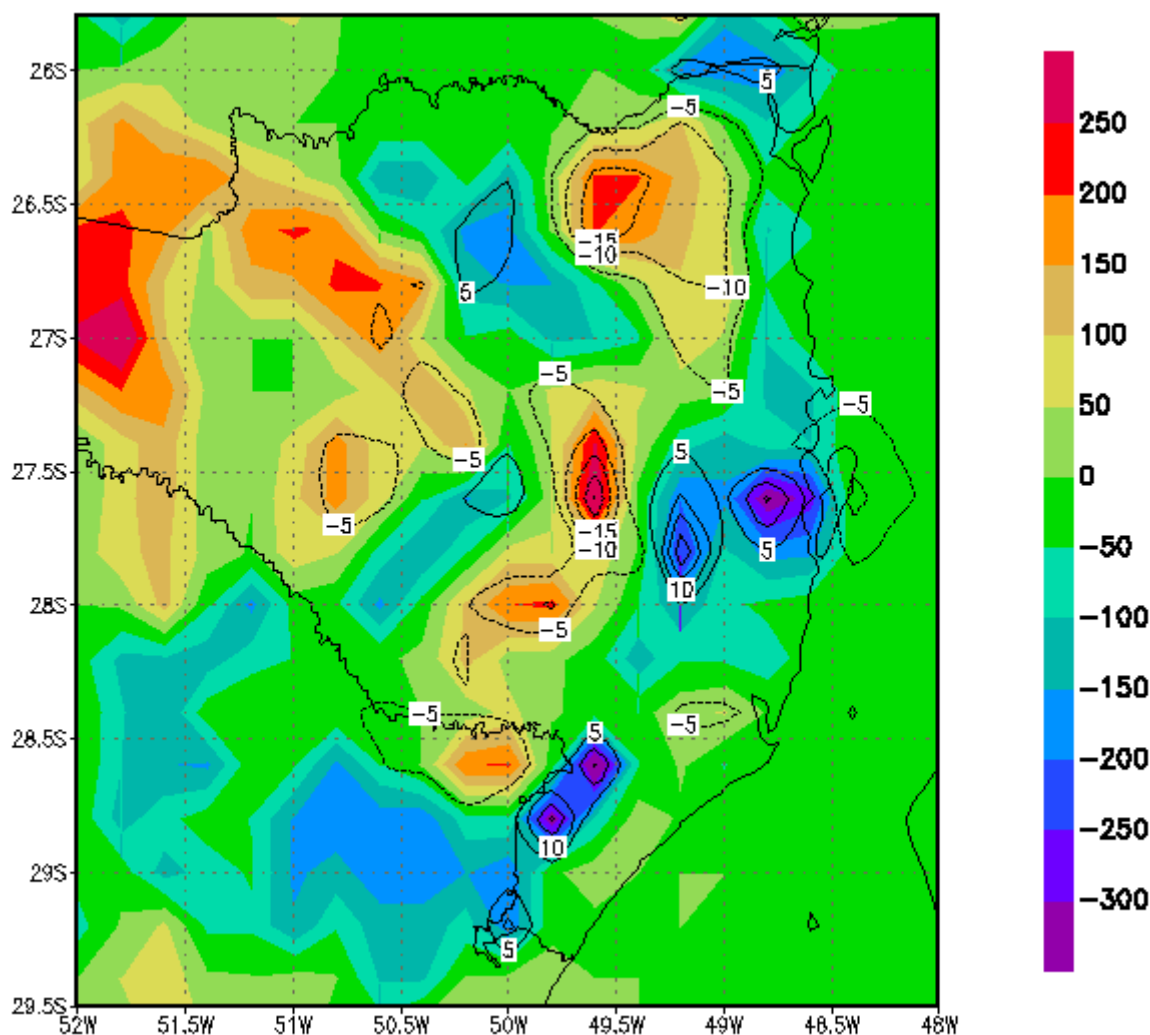


Fig. 4.3 – Diferenças (T30''-T10') de alturas (m). As linhas representam diferenças de previsão de precipitação (mm) para o dia 13/04/00, com 48-h de antecedência.

#### 4.3.2 Umidade específica e temperatura do ar à superfície

As diferenças nos campos de umidade específica e temperatura do ar à superfície indicam elevação nos locais onde a topografia foi reduzida e vice-versa. As diferenças no campo de umidade específica atingem 0.2 g/kg e no campo de temperatura do ar chegam a 4.0 K.

As análises dos campos de umidade específica em T30'' e T10' separadamente, mostram altos valores no oceano, diminuindo ao penetrar no continente, até atingir um mínimo sobre as montanhas. O campo de convergência de umidade específica mostra um máximo em torno do ponto A1 da fig. 4.2, onde houve redução da topografia.

#### 4.3.3 Movimento vertical



Seções verticais do movimento vertical, omega, foram preparadas para analisar a regiões 1A, 1B e 2 da figura 4.2, com T30'' e T10'. Os cortes foram obtidos entre as longitudes 48 e 50°W, nas latitudes 27.6°S, 28.6°S e 26.4°S, respectivamente. Nas três regiões o máximo do movimento ascendente é observado na interface entre o oceano e o continente, em torno de 850 hPa. No caso da região 1A, onde a linha da costa foi modificada pela nova topografia, houve um deslocamento deste máximo para oeste, acompanhando o novo contorno continental (fig. 4.4). Pequenas modificações no movimento vertical são observadas nas demais regiões próximas às encostas das montanhas cujas altitudes foram alteradas.

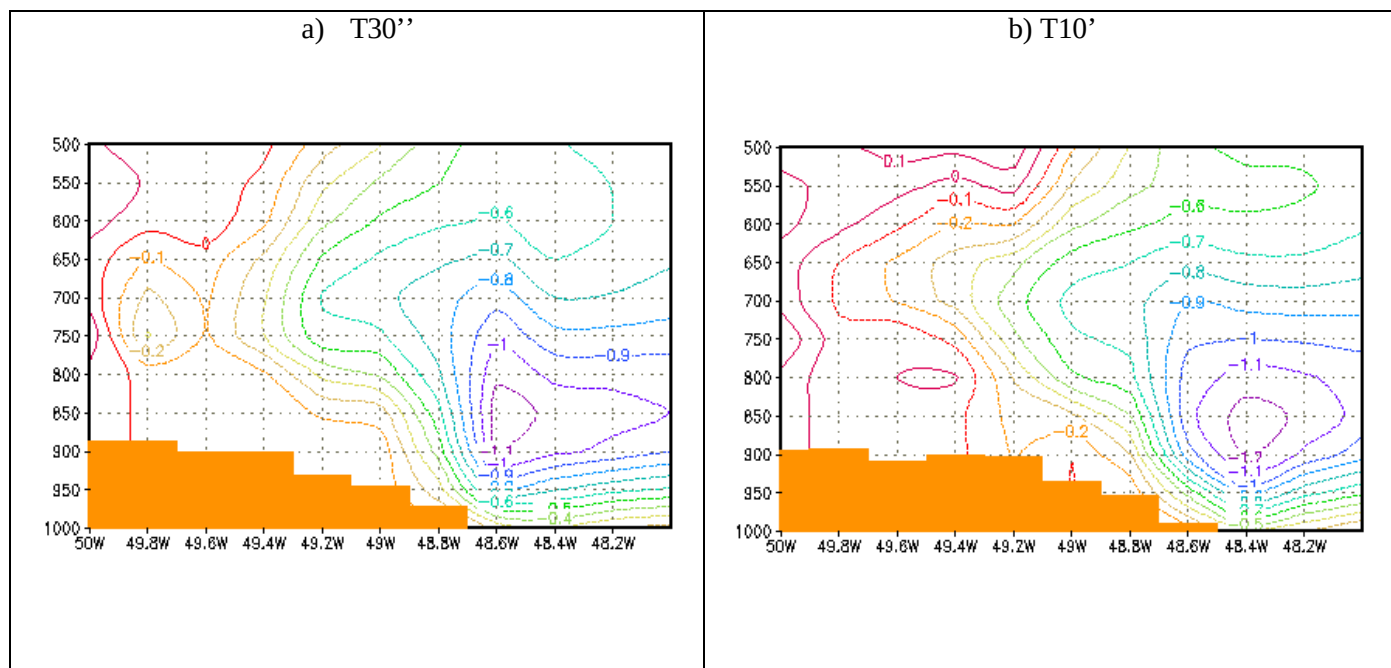


Fig. 4. 4 – Seção vertical de movimento vertical (Pa/s) previsto com 48-h de antecedência para o dia 13/04/00 – 12Z, na latitude 27.6°S, entre a faixa longitudinal 48 a 50°W para os experimentos a) T30'' e b) T10'.

#### 4.3.4 Ventos à superfície

Os campos de ventos em superfície, gerados com T30'' e T10' para a região de Santa Catarina são bastante similares, principalmente nas regiões onde o vento é mais intenso, tanto no continente quanto no oceano.

### 5. CONCLUSÕES

Os resultados mostram que a introdução da nova topografia de 30 segundos não alterou a circulação de grande escala. As diferenças encontradas nas previsões utilizando-se a topografia de 30 segundos e de 10 minutos limitaram-se a alterações locais. Localmente, foi possível constatar que nas regiões onde houve redução (elevação) da topografia, verificou-se aumento (redução) da temperatura do ar, da umidade específica, da convergência de umidade e consequentemente da precipitação. Os cortes verticais de movimento vertical mostraram que as alterações mais pronunciadas ocorreram aonde a linha da costa foi alterada pois o máximo do movimento ascendente foi observado próximo a interface entre o oceano e o continente.

As avaliações feitas com dados de altura das estações meteorológicas indicam que a topografia gerada com T30'' é de melhor qualidade que T10'. Para o caso em estudo, os erros encontrados entre os dados de precipitação coletados nas estações sinóticas e os previstos com T30'' foram inferiores àqueles previstos com T10'. Este trabalho indicou uma melhoria na performance do modelo utilizando-se T30'' no lugar de T10'. Contudo, outros testes serão realizados para a mesma região em estudo, incluindo casos de precipitação

tipicamente orográfica. Pretende-se também estender este estudo às regiões costeiras da região sudeste do Brasil influenciadas pela presença da Serra do Mar.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Black, T. L., 1994: The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. *Weather and Forecasting*, 9, 265-278.
- Chou, S. C., 1996: Modelo Regional Eta. *Climanálise Especial*, Edição comemorativa de 10 anos. MCT/INPE/CPTEC, Cachoeira Paulista, SP, Brasil.
- Fu, B. , 1995: The effects of orography on precipitation. *Boundary-Layer Meteorology*, 75, 189-205.
- IBGE, 1972: Carta do Brasil ao Milionésimo. Edição Comemorativa do Sesquicentenário da Independência. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral.
- Mesinger, F., 1984: A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. *Riv. Meteor. Aeronaut.*, 4, 195-202.
- Mesinger, F., Z. I. Janjic, S. Nickovic, D. Gavrilov, e D. G. Deaven, 1988: The step-mountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. *Monthly Weather Review*, 116, 1493-1518.
- Phillips, N. A., 1957: A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting. *J. Meteor.*, 14, 184-185.
- Rozante, J. R., 1999: Impacto do aninhamento no modelo Eta nas previsões de tempo. Proposta de Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos.