



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

# A INFLUÊNCIA DAS ANOMALIAS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR E DA TOPOGRAFIA EM DOIS EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO INTENSA OCORRIDOS NO SUDESTE DO BRASIL

Kellen Carla Lima<sup>1</sup>, Julio Pablo Reyes Fernández<sup>2</sup>

---

## RESUMO

A partir do modelo regional Eta e da técnica de "separação de fatores" foi possível verificar os efeitos isolados e as interações mútuas entre as anomalias de temperatura da superfície do mar e da orografia regional para dois eventos de chuvas intensas. O efeito conjunto da orografia e as anomalias de temperatura da superfície do mar, assim como o efeito isolado da orografia foram importantes para o desenvolvimento de tais episódios.

**Palavras-chave:** Eventos de precipitação intensa, temperatura da superfície do mar, topografia, sudeste do Brasil e modelo Eta.

## THE INFLUENCE OF THE SEA SURFACE TEMPERATURE ANOMALIES AND TOPOGRAPHY IN TWO HEAVY RAINFALL EVENTS OVER SOUTHEAST BRAZIL

## ABSTRACT

With the help of the Eta regional model and the technique of "separation of factors" it was possible to verify the isolated effects and mutual interactions between the sea surface temperature anomalies and the regional orography for two heavy rainfall events. The joint effect of orography and sea surface temperature anomalies and isolated effect of the orography were important for the development of extreme precipitation events.

**Keywords:** heavy rainfall events, sea surface temperature, topography, southeast Brazil e Eta model.

---

Trabalho recebido em / /2010 e aceito para publicação em /02/2011.

---

<sup>1</sup> Doutora em Meteorologia. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Av. dos Astronautas, 1758 - Jd. da Granja - CEP 12227-010. São José dos Campos/SP. E-mail: [kellen.lima@cptec.inpe.br](mailto:kellen.lima@cptec.inpe.br)

<sup>2</sup> Professor Doutor do curso de Meteorologia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Av. dos Astronautas, 1758 - Jd. da Granja - CEP 12227-010. São José dos Campos/SP. E-mail: [pablo.reyes@cptec.inpe.br](mailto:pablo.reyes@cptec.inpe.br)

## 1. INTRODUÇÃO

Estudos sobre a influência da topografia na circulação e precipitação da América do Sul (AS), particularmente durante o verão, têm extensivamente focado nos efeitos dos Andes, dentre os quais está o estudo de Figueroa *et al.* (1995) que enfatizou a importância da topografia na representação das principais características de circulação regional de verão sobre a AS. Quanto ao efeito local dos Andes sobre a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), estes autores mostraram a partir de experimentos numéricos, que o posicionamento adequado desse sistema depende da inclusão da topografia nas simulações. Por outro lado, há pouca ou nenhuma apreciação pela importância das montanhas na parte leste do continente, especialmente no SEB, que engloba vários picos acima de 2.500 m incluindo o terceiro mais alto pico no Brasil, o Pico da Bandeira (2.890 m de altura). Estes picos afetam os padrões de circulação regional, quando ressaltamos neste trabalho, a sua influência sobre eventos de precipitação intensa (EPI) que ocorrem no SEB.

A parte sudoeste da bacia do Atlântico Sul é uma região que desperta interesse, por ser uma área ciclogênica (GAN E RAO, 1991), por apresentar

sistemas atmosféricos quase estacionários, como a ZCAS e a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), e também por ter circulação oceânica na faixa entre 38°S e 42°S dominada pela confluência das correntes do Brasil e das Malvinas. A associação entre o oceano e a atmosfera tem sido evidenciada em estudos de variabilidade de precipitação, em muitas regiões do Brasil, considerando as correlações entre parâmetros da circulação atmosférica como pressão, vento, precipitação e parâmetros oceânicos, principalmente a temperatura da superfície do mar (TSM) [MOURA & SHUKLA, 1981; RAO *et al.*, 1993; NOBRE, 1993]. Vários estudos têm mostrado que os padrões de TSM sobre os oceanos Pacífico e Atlântico podem ser importantes na modulação da precipitação regional da AS, principalmente no norte, no sul e no sudeste do país (ROPELEWSKI & HALPERT, 1987; DIAZ *et al.*, 1998).

Um número de simulações numéricas vem sendo executadas a fim de se entender os mecanismos atmosféricos que determinam a ocorrência de um EPI em regiões montanhosas, tais como os realizados por Buzzi *et al.* (1998) na Itália, Romero *et al.* (2000) na Espanha, Singleton & Reason (2006) no Sul da África do Sul. Contudo, ainda são poucos os estudos empreendidos no Brasil. Figueroa *et al.* (1995) mostraram a

importância dos Andes na circulação de verão da AS. Carvalho *et al.* (2002) verificaram que em escala regional a ZCAS oceânica intensa foi importante para o aumento de eventos extremos de precipitação sobre a Mantiqueira e altas planícies. Haas (2002) verificou o papel do relevo num evento do ciclônese a leste dos Andes. A topografia afetou significativamente a quantidade de precipitação, pois o volume de água precipitada simulada foi em torno de 50% inferior à observada. Seluchi *et al.* (2010) apresentaram um estudo de chuva intensa a partir de experimentos numéricos relacionados à topografia da Serra do Mar. Sendo que, a diminuição desta topografia causou um deslocamento mais rápido da frente fria em direção ao Nordeste do Brasil, como também houve uma significativa redução da precipitação na região.

Os modelos numéricos podem ser considerados como potentes ferramentas para as pesquisas atmosféricas. Uma das maneiras mais comuns de se utilizar um modelo é pela execução de experimentos de sensibilidade, os quais têm como propósito isolar o efeito de diferentes fatores em certos campos atmosféricos em um ou mais casos de estudos (STEIN & ALPERT, 1993). Experimentos numéricos de sensibilidade (anomalias de TSM e topografia) foram estudados por Singleton

& Reason (2006) na África do Sul. Neste, os resultados indicaram que o núcleo quente da Corrente das Agulhas contribuiu para a formação da baixa em mesoescala, sendo que a estrutura do campo de TSM foi importante na determinação da sua localização e, portanto na precipitação simulada. Também, verificou-se que a topografia teve considerável efeito na localização e quantidade da precipitação gerada na simulação. Outros autores, também realizaram este tipo de experimento numérico em suas pesquisas, como por exemplo, Chiao *et al.* (2004), Juneng *et al.* (2007), Grimm *et al.* (2007).

Desta maneira, pergunta-se de que forma a topografia do SEB e as anomalias de TSM favorecem a formação ou ocorrência dos eventos de precipitação intensa? Como é a interação entre um forte relevo geográfico e um gradiente de TSM na região próxima aos locais onde os EPIs se desenvolvem? Neste sentido, tem-se como objetivo investigar numericamente a influência das anomalias de TSM e da topografia na ocorrência de dois EPIs no SEB.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram escolhidos dois casos para estudo: um ocorrido na cidade de Angra dos Reis/RJ no dia 02 de fevereiro de 1988, e o outro na cidade de Ibiraçu/ES no

dia 17 de fevereiro de 2005. Estes casos foram selecionados por terem sido os mais intensos, em ordem decrescente, de vários episódios selecionados no período de 1960–2005 apenas entre os meses de novembro a março, a partir da Técnica dos Quantis por Lima *et al.*, 2010. Além disso, estes foram selecionados para estudo por terem causado vários transtornos à sociedade, sobretudo óbitos.

Empregou-se o modelo Eta com domínio aninhado de 12 km (140×247), o qual se refere à região Sudeste do Brasil. O passo temporal foi de 30 segundos. Foram utilizados dados da reanálise do *National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR)*, interpolados na grade do modelo, com frequência temporal de 6 horas, para gerar as condições iniciais e de fronteira necessárias para as integrações do modelo Eta no domínio maior (40 km). O domínio de 12 km foi forçado pelos dados do modelo Eta interpolados para essa resolução (*one way*) com frequência temporal de 1 hora, ou seja, alta resolução temporal no domínio aninhado. O modelo foi integrado, no modo hidrostático, por um período de 48 horas. Contudo, as análises foram realizadas utilizando as últimas 24 horas de integração.

Experimentos de sensibilidade foram realizados para verificar os efeitos da TSM e da topografia na simulação dos EPIs, conforme Stein e Alpert (1993). As análises foram feitas por intermédio do método de separação de fatores, o qual permite através de testes de sensibilidade, a identificação da importância relativa de cada fator analisado. Basicamente, o método de separação de fatores mostra uma aproximação consistente e bastante simples por isolar os campos resultantes devido a qualquer interação entre fatores  $f$ , como também devido aos fatores puros, usando combinações lineares de várias simulações. Portanto, para isolar o efeito de  $n$  fatores por meio de simulações numéricas, foi necessário realizar  $2^n$  simulações. Deste modo, com a finalidade de estudar os efeitos da topografia (primeiro fator) e os efeitos das anomalias de TSM (segundo fator) para os EPIs foram necessárias realizar quatro simulações, ou seja,  $(2^2)$ . Estes experimentos foram realizados a fim de isolar o efeito da topografia e das anomalias de TSM para cada caso de EPI.

Os procedimentos para as simulações acima são realizados da seguinte maneira. A orografia é modificada somente na região Sudeste do Brasil, sendo reduzida a 200 m. Com isto, os efeitos orográficos das Serras da Mantiqueira e do Mar são

eliminados significativamente das simulações. De forma similar no caso com as anomalias de TSM em relação à média mensal correspondente, que são eliminadas do campo de TSM. Neste caso, a anomalia de TSM modificada refere-se à área que abrange ambos os domínios no Atlântico Sul (ver Figura 6.6 a). Deste modo, esse método foi utilizado para isolar a precipitação intensa induzida pela topografia ( $\hat{f}_1$ ), a precipitação intensa induzida pelas anomalias de TSM ( $\hat{f}_2$ ), a precipitação intensa devido à interação da topografia e das anomalias de TSM ( $\hat{f}_{12}$ ). Então, se têm os seguintes campos:

(a) Efeito da orografia [ $\hat{f}_1 = f_1 - f_0$ ];

(b) Efeito das anomalias de TSM [ $\hat{f}_2 = f_2 - f_0$ ]; e

(c) Efeito da interação da orografia e anomalias de TSM

[ $\hat{f}_{12} = f_{12} - (f_1 + f_2) + f_0$ ].

É importante ressaltar que os campos iniciais nos experimentos  $f_0$  e  $f_2$  não estão completamente livres da influência da orografia, já que eles são baseados nas reanálises que contêm o efeito da orografia. Contudo, nos dois casos simulados foi ativado o filtro digital para amortecer as ondas de gravidade produzidas nas alterações de topografia e TSM.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

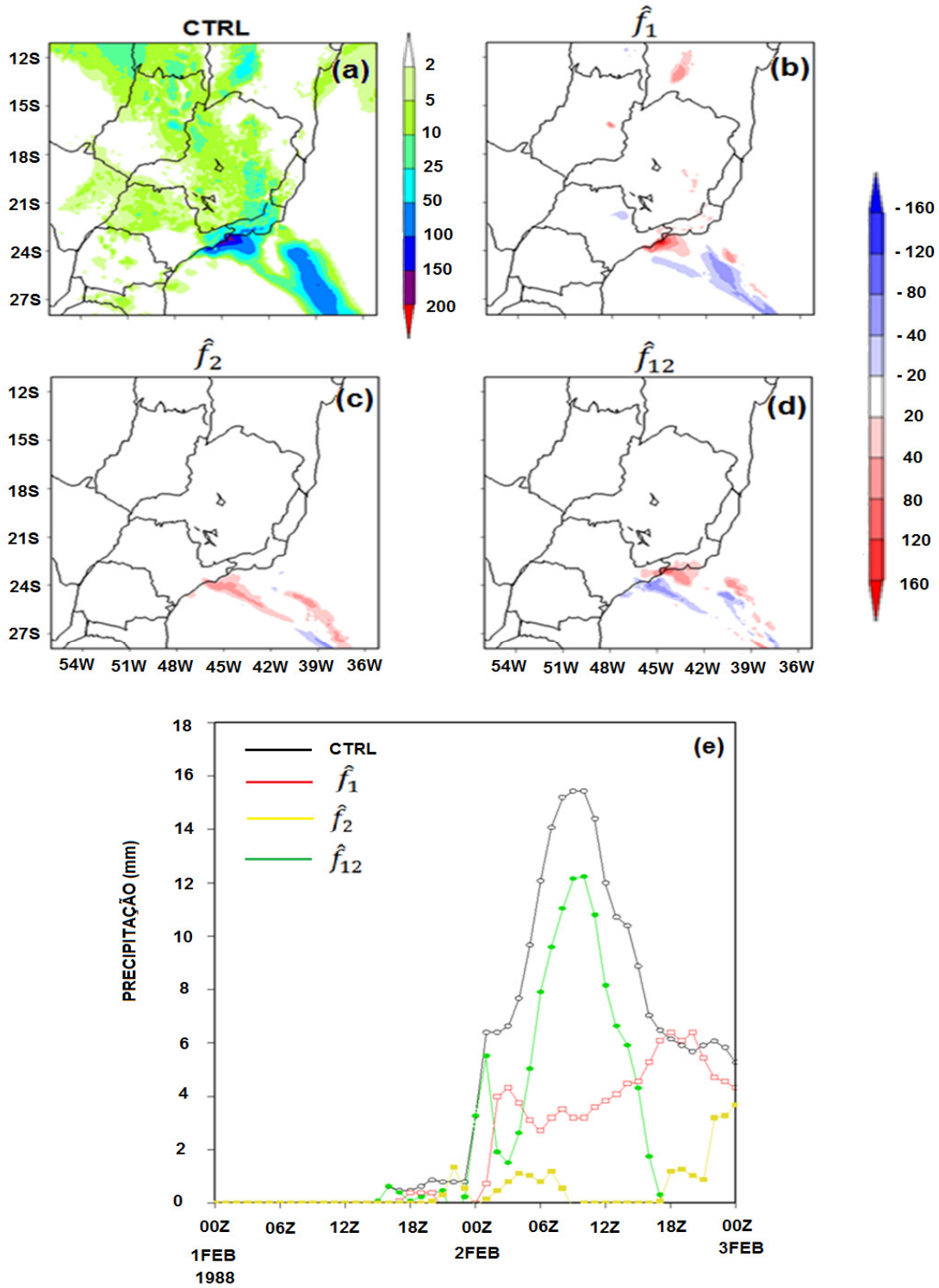
#### 3.1 Caso Angra dos Reis/RJ: 02 de fevereiro de 1988

A Figura 1 apresenta a precipitação obtida a partir da simulação controle, pela indução da topografia e TSM separadamente, e pela influência conjunta dos dois fatores. Ressalta-se que, neste dia, as anomalias de TSM observadas estiveram positivas no litoral de Angra dos Reis e grande parte do Atlântico. Primeiramente, percebe-se a clara influência conjunta da orografia e das anomalias de TSM no aumento da precipitação, e posteriormente a indução da topografia na acentuação da precipitação, e por último têm-se as anomalias de TSM. Estas situações podem ser visualizadas com maior clareza na Figura 1 (e). Considerando que na grande escala este episódio chuvoso esteve associado à presença da ZCAS, então se presume que houve a interação deste fenômeno com a topografia da Serra do Mar, já que é o relevo mais próximo da região de Angra dos Reis. Sabe-se que uma das formas mais marcantes da influência da topografia sobre as condições atmosféricas é seu forte controle sobre a distribuição das chuvas. A região da Serra do Mar é um típico exemplo, por ser submetida a altas pluviosidades médias anuais e episódios prolongados de chuvas intensas. O fluxo úmido de sudeste do caso em questão

(figura não mostrada) esteve perpendicular à linha da costa e, por sua vez, a Serra do Mar. Desta forma, este regime de vento numa situação de ZCAS garante que o ar, rico em umidade e núcleos de condensação vindos do mar, seja forçado a subir devido ao obstáculo natural.

Yuh-Lang *et al.* (2001) sintetizaram alguns ingredientes comuns da mesoescala e sinótica propícios à chuvas orográficas intensas. i) uma corrente de ar condicionalmente ou potencialmente instável colidindo com as montanhas, ii) um JBN muito úmido, iii) uma montanha íngreme, e iv) um sistema quase-estacionário em escala sinótica para que favoreça um lento deslocamento da convecção. Então, com os ingredientes argumentados pelos autores, um episódio de chuva intensa induzida pela topografia requer contribuições significativas a partir de qualquer combinação dos quatro ambientes comuns sinóticos e de mesoescala citados anteriormente. Neste sentido, o nosso caso analisado esteve associado a um sistema quase-estacionário e fortes movimentos ascendentes.

A temperatura da superfície do oceano adjacente à costa é um dos controladores do fornecimento de umidade para o ar que irá adentrar o continente e sofrer influência da topografia local. Blanco (1999) analisou anomalias de TSM para eventos de chuvas orográficas e notou que a maioria dos eventos selecionados ocorreu sob condições normais ou de anomalias positivas. Segundo a autora os fatores fundamentais de escala sinótica responsáveis pela ocorrência de fenômenos de intensificação orográfica na região da Serra do Mar são em situações pós-frontais e sistemas quase-estacionários com vento de sudeste em superfície, muita nebulosidade na faixa leste e pouca no interior do continente. Estudos de Stein e Alpert (1993) que aplicaram a técnica de separação de fatores para um caso de ciclogênese no Mediterrâneo mostraram que o efeito conjunto da topografia e dos fluxos de calor à superfície foi refletido num aumento adicional da precipitação na área em estudo.



**Figura 1** – (a) Precipitação controle [CTRL]; (b) precipitação induzida pela presença da topografia [ $\hat{f}_1$ ]; (c) precipitação induzida pela presença das anomalias de TSM [ $\hat{f}_2$ ]; (d) precipitação induzida pela interação entre a topografia e as anomalias de TSM [ $\hat{f}_{12}$ ] e (e) variação temporal da precipitação CTRL/N e fatores para o dia 02 de fevereiro de 1988.

#### 6.4.3.1.2 Caso Ibirapu/ES: 17 de fevereiro de 2005

Os campos de precipitação da simulação controle, da influência da topografia e anomalias de TSM separadamente e a induzida conjuntamente pelos dois fatores são apresentados na Figura 2. Este caso é bastante diferente do caso anterior, principalmente, pelo fato de que neste dia foram observadas anomalias de TSM negativas na costa litorânea do Estado do ES. Para este caso a topografia desempenhou papel fundamental para a ocorrência da chuva intensa, onde pode-se visualizar este feito com mais detalhes na Figura 2 (e). Talvez, as anomalias de TSM não tenham sido tão importantes para a indução da precipitação intensa por estarem negativas neste dia.

A chuva formada pela convecção disparada ocorre fundamentalmente na vertente mais ensolarada da montanha por meio da formação de nuvens da família dos cumulus, ou seja, de grande desenvolvimento vertical. Não apresenta uma distribuição da chuva marcante na encosta, porém, caso seja vegetada, pode atuar como fornecedora da umidade em altitudes mais elevadas. Este processo é uma clara marca do aquecimento diferencial de vertentes opostas, em função da quantidade de radiação solar absorvida ao longo do dia (SMITH, 1979).

Uma posição perpendicular do obstáculo natural à entrada das massas de ar é fundamental para a geração das chuvas. Quando a atmosfera local encontra-se estável, o efeito orográfico é restrito aos níveis mais baixos, mais próximos das montanhas e influi na distribuição da chuva. Quando instável, o efeito orográfico potencializa e redistribui o volume da precipitação por uma área maior. Porém, o principal desencadeante do processo genético da chuva orográfica parece ser o fluxo de ar, representado pela atuação dos sistemas atmosféricos regionais do sudeste (ventos predominantes de SE), pela brisa marinha e pela própria instabilidade potencial da atmosfera circundante (convecção).

Lebeaupin *et al.* (2006) afirmaram em suas pesquisas que um campo de TSM mais detalhado influencia nos padrões de mesoescala dos fluxos de calor da superfície do mar, contudo não tem nenhum efeito significativo na previsão da convecção. Eventualmente, a TSM tem sua importância durante as simulações por meio da ação dos fluxos na interface ar-mar, resultando em efeitos locais como um significativo resfriamento da TSM abaixo do jato de baixos níveis, mas quase nenhum impacto nas previsões de curto prazo para eventos de precipitação intensa.



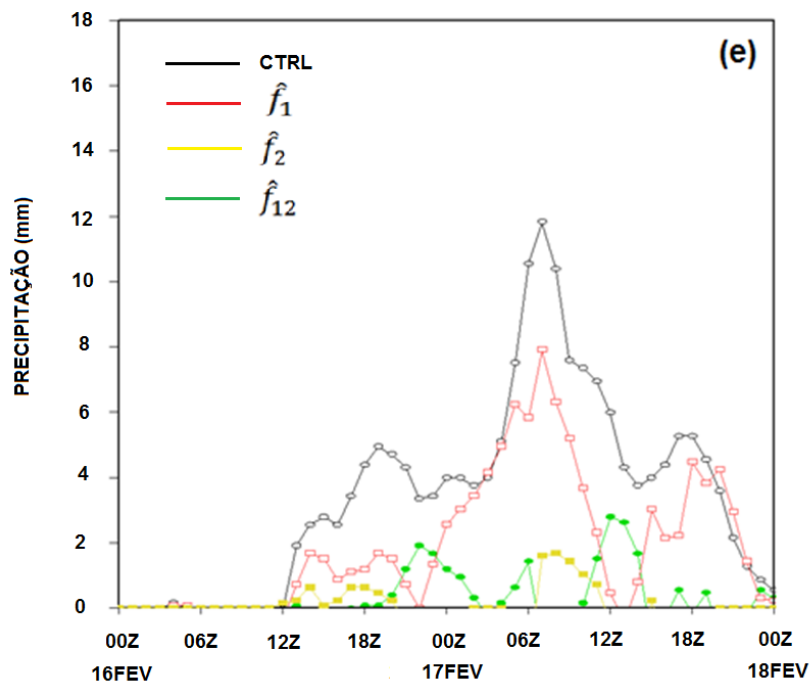
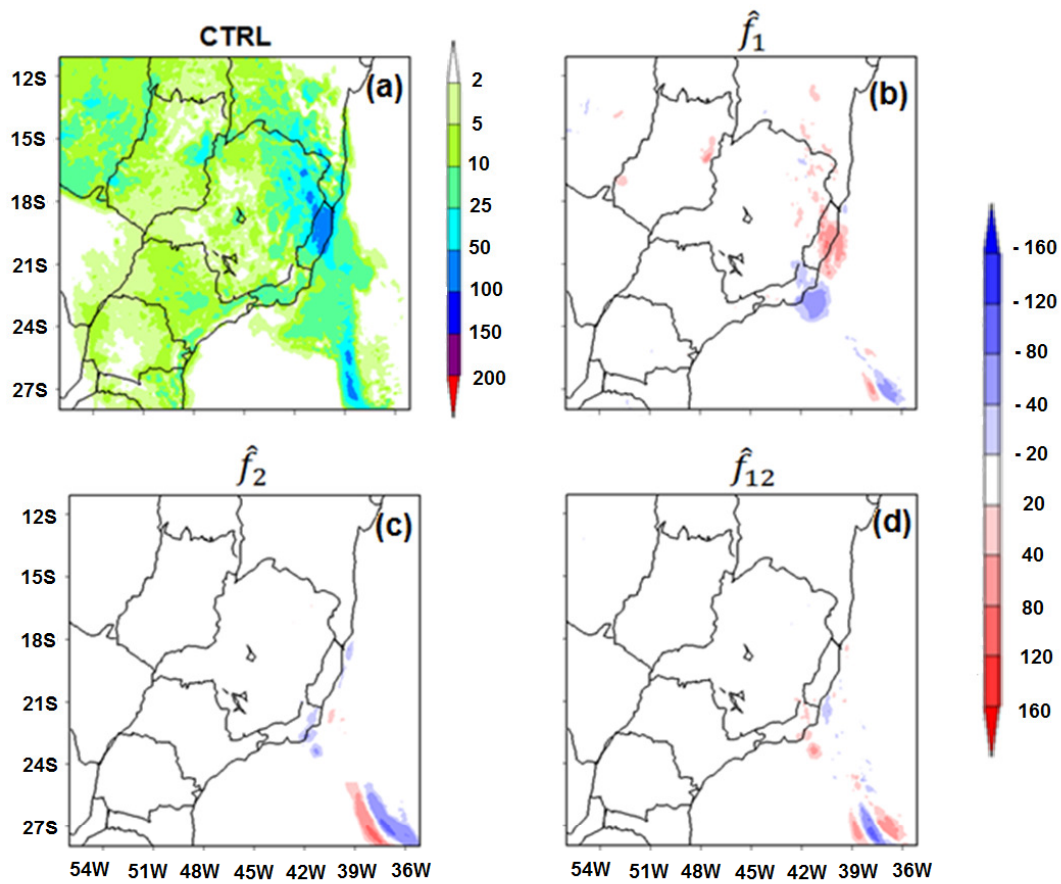


Figura 2 – Como na Figura 1, exceto para o dia 17 de fevereiro de 2005.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados mostraram o importante papel da orografia e das condições de larga escala no desenvolvimento dos eventos extremos estudados, o primeiro atuando como uma barreira que forçou o levantamento e/ou confinamento do fluxo em determinada região, e o segundo forneceu os ingredientes vento e umidade. As anomalias de TSM que influenciaram o fluxo de calor latente sobre o oceano também podem ser importantes, porém na escala de tempo (2 dias) este fator não foi preponderante nas simulações e/ou desenvolvimento dos EPs. Portanto, concluí-se que a topografia mais que as anomalias de TSM influenciaram no desenvolvimento do evento de precipitação intensa ocorrida em Ibirapu/ES. Enquanto que, no caso de Angra dos Reis/RJ a interação da TSM e da orografia influenciaram o evento.

#### 5. REFERÊNCIAS

- BLANCO, C. M. R. **Processos de intensificação orográfica da precipitação na Serra di Mar em São Paulo**. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- BUZZI, A.; TARTAGLIONE, N.; MALGUZZI, P. Numerical simulations of the 1994 Piedmont flood: role of orography and moist process. **Monthly Weather Review**, v. 126, n. 9, p. 2369-2383, 1998.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 15, n. 17, p. 2377-2394, 2002.
- CHIAO, S.; LIN, Y. L.; KAPLAN, L. M. Numerical study of the orographic forcing of heavy precipitation during MAP IOP-2B. **Monthly Weather Review**, v.132, n. 9, p. 2184-2203, 2004.
- DIAZ, A. F.; STUDZINSKI, C. D.; MECHOSO, C. R. Relationships between precipitation anomalies in Uruguay and Southern Brazil and sea surface temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. **Journal of Climate**, v. 11, n. 2, p. 251-271, 1998.
- FIGUEROA, S. N.; SATYAMURTY, P.; SILVA DIAS, P. L. Simulations of the summer circulation over the South America region with an Eta coordinate model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 52, n. 10, p. 1573-1584, 1995.
- GAN, M. A.; RAO, V. B. Surface cyclogenesis over South America. **Monthly Weather Review**, v. 119, n. 5, p. 1293-1302, 1991.
- GRIMM, A. M.; PAL, J.; GIORGI, F. Connection between spring conditions and peak summer monsoon rainfall in South America: role of soil moisture, surface temperature, and topography in eastern Brazil. **Journal of Climate**, v. 20, n. 24, p. 5929-5945, 2007.
- HAAS, R. **Simulações da chuva orográfica associada a um ciclone extratropical, no Litoral Sul do Brasil**. 2002. 202 p. Tese

- (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.
- JUNENG, L.; TANGANG, F. T.; REASON, C. J. C. Numerical case study of an extreme rainfall event during 9-11 December 2004 over the east coast of Peninsular Malaysia. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 98, n. 1-2, p. 81-98, 2007.
- LEBEAUPIN, C.B.; DUCROCQ, V.; GIORDANI, H.. Sensitivity of Mediterranean torrential rain events to the Sea Surface Temperature based on high-resolution numerical forecasts, **Journal of Geophysical Research**, v. 111, n. D12110, 2006.
- LIMA K. C.; SATYAMURTY. P; FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, n. 1-2, 2010.
- MOURA, A. D.; SHUKLA, J. O. The dynamics of drought in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of the Atmosphere Sciences**, v. 38, n. 12, p. 2653-2675, 1981.
- NOBRE, P. **On the genesis of anomalous SST and rainfall patterns over the Tropical Atlantic Basin**. 1993. 220 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - University of Maryland at College Park, Maryland, 1993.
- RAO, V. B; DE LIMA, M. C.; FRANCHITO, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 6, n. 9, p. 1754-1763, 1993.
- ROMERO, R., DOSWELL III, C. A. AND RAMIS, C. Mesoscale numerical study of two cases of long-lived quasi-stationary convective systems over eastern Spain. **Monthly Weather Review**, v. 128, n. 11, p. 3731-3751, 2000.
- ROPELEWSKI, C.; HALPERT, M. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño Southern Oscillation. **Monthly Weather Review**, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, 1987.
- SELUCHI, M. E.; CHOU, S. C., GRAMANI, M. A case study of a winter heavy rainfall over Serra do Mar in Brazil. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, in press, 2010.
- SINGLETON, A. T.; REASON, C. J. C. Numerical simulations of a severe rainfall event over the Eastern Coast of South Africa: sensitivity to sea surface temperature and topography, **Tellus**, v.58A, n.3, p. 355-367, 2006.
- SMITH, R. B. The Influence of Mountains on the Atmosphere, **Advances in Geophysics**, v. 21, p. 87-230, 1979.
- STEIN, U.; ALPERT, P. Factor separation in numerical simulations. **Journal Atmospheric Science**, v. 50, n. 14, p. 2107-2108, 1993.
- YUH-LANG, L.; THURMAN, J. A.; CHIAO, S. **Influence of synoptic and mesoscale environments on heavy orographic rainfall associated with MAP IOP-2Band IOP-8**. Zuerich, Switzerland: The Mesoscale Alpine Programme meeting, 2001.