

## Experimentos numéricos para o ciclone subtropical “Anita” com o modelo WRF

Numerical experiments to the Subtropical Cyclone “Anita” using WRF model

Rafael Cesario de Abreu<sup>1</sup>, Rosmeri Porfírio da Rocha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG - USP, São Paulo, Brasil.

### Resumo

O modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF) foi utilizado para simular o ciclone subtropical Anita, que ocorreu em março de 2010 no setor sudoeste do Oceano Atlântico Sul. Esse ciclone chamou a atenção, pois previsões numéricas indicavam que ele apresentaria uma trajetória atípica para sudoeste. Portanto, experimentos com o WRF foram realizados para avaliar a sensibilidade do ciclone às diferentes configurações/parametrizações: (a) largura da zona de relaxação (entre 5 e 40 colunas); (b) parametrização convectiva Betts-Miller-Janjic; e (c) tempo de antecedência (24, 48 e 72h). As simulações utilizaram uma grade única com 25 km de resolução e condições inicial e de fronteira do FNL/NCEP (*Final Analysis/National Centers for Environmental Prediction*). Os resultados foram comparados com a análise do FNL/NCEP e do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM). A alteração da zona de relaxação não apresentou um impacto grande na simulação da posição e intensidade do ciclone. Em geral, as simulações intensificam a baixa pressão do sistema. Os experimentos com 72h de antecedência tenderam a aproximar o centro do ciclone do continente, enquanto que os com antecedência de 24h apresentaram maior concordância com a análise do FNL/NCEP. Já a parametrização Betts-Miller-Janjic simulou resultados mais próximos dos observados, principalmente para as simulações com 72h de antecedência. A precipitação simulada é, em geral, mais intensa do que a análise do TRMM.

**Palavras-chave:** Simulação numérica. Ciclone subtropical. WRF.

### Abstract

The *Weather Research and Forecasting Model* (WRF) were used to simulate the subtropical cyclone Anita, which occurred in March of 2010 over southwestern of South Atlantic Ocean. These cyclone instigated weather forecast centers around the world, since numerical models were indicating that it would atypically move to southwest. Therefore, numerical experiments with WRF were conducted in order to evaluate the sensitivity of Anita cyclone by changing different configurations/parameterization: (a) relaxation zone of the model (between 5 and 40 columns); (b) Betts-Miller-Janjic cumulus parameterization; (c) anticipation (24, 48, 72h). Simulations used a 25 km resolution grid, and boundary and initial conditions from FNL/NCEP (*Final Analysis/National Centers for Environmental Prediction*). Results were compared with the FNL/NCEP analyses and the *Tropical Measuring Mission* (TRMM). The relaxation zone conditions didn't seemed to present a large impact in simulating the intensity and position of the cyclone. In general it is simulated a deeper than observed low pressure. In the experiments initiated with 72h before validation date tended to move the cyclone towards the continent, while the experiments initiated 24h before presented better agreement with observed cyclone path. The use of Betts-Miller-Janjic cumulus parameterization provides results similar to the observed one, mainly for simulations initiated 72h before. The precipitation was, in general, overestimated in the experiments compared to the TRMM analyses.

**Keywords:** Numerical simulation. Subtropical cyclones. WRF

## 1 Introdução

Os ciclones que se desenvolvem no sudoeste do Oceano Atlântico Sul são, normalmente, denominados extratropicais. Entretanto, muitos destes sistemas iniciam-se em latitudes subtropicais (20-40° S) e, por possuírem características sinótica e dinâmica de desenvolvimento distintas dos de latitudes extratropicais ou tropicais, são denominados de ciclones subtropicais (GUISHARD et al., 2007). Durante a ciclogênese, existe intensa troca de energia entre o oceano e a atmosfera, através de fluxos turbulentos de calor, momento e umidade. Os ventos fortes provocados por estes sistemas possuem grande impacto na formação de ondas na superfície no Atlântico Sul (ROCHA et al., 2004), bem como em atividade de navegação e extração de recursos naturais no oceano. Dutra (2012) investigou as características sinóticas e dinâmicas de dois eventos de ciclones subtropicais, ocorridos em 2009 e 2010, que se formaram próximo às costas do Sul e Sudeste do Brasil, sendo responsáveis por condições de tempo adversas, como chuva excessiva e ventos fortes.

O ciclone Catarina, ocorrido em março de 2004, talvez o mais conhecido, começou como subtropical e, posteriormente, fez transição para tropical, fazendo história por ser o primeiro ciclone de transição tropical documentado na bacia do Atlântico Sul (MCTAGGART-COWAN et al., 2006). Além desse, há o ciclone subtropical Anita, ocorrido entre 4 e 12 de março de 2010, que despertou a atenção dos centros de previsão meteorológica do mundo inteiro, pois os modelos indicavam que este apresentaria uma trajetória atípica para sudoeste e existia, também, a possibilidade de transição tropical (DUTRA, 2012; DIAS PINTO et al., 2013).

As previsões numéricas indicaram a formação do Anita, mas a intensidade e a localização do mesmo mostraram-se bastante sensíveis ao tempo de antecedência destas previsões (BRITO; ROCHA, 2012). Portanto, o objetivo deste trabalho consiste em realizar experimentos numéricos com o modelo Weather Research and Forecasting (WRF; SKAMAROCK et al., 2008), para avaliar a sensibilidade da previsão de posição e intensidade do ciclone Anita, em função de diferentes configurações da fronteira lateral e parametrizações físicas.

## 2 Metodologia

Segundo Dutra (2012), o ciclo de vida do ciclone Anita, de março de 2010, foi subdividido em cinco partes: início (04/03), intensificação-1 (07/03), maduro (09/03), enfraquecimento (10/03) e intensificação-2 (11/03). Com base nessa classificação, foram realizadas simulações com o WRF com 72, 48 e 24 horas de antecedência dos estágios de intensificação-1, maduro, enfraquecimento e intensificação-2. Foram utilizados dados da análise do Final Analysis /National Centers for Environmental Pre-

diction (FNL/NCEP) das 00 UTC e com resolução espacial de 1°. As simulações com o WRF utilizaram uma grade única com 25 km de grade horizontal, parametrização convectiva de Kain-Fritsch. Para validar a precipitação simulada, foram utilizados dados de análise de precipitação do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM; HUFFMAN et al., 2007) 3B-42, que possui resolução de 0,25° e representa o acumulado diário em mm dia-1, enquanto a intensidade e a localização do ciclone foi comparada com as análises do FNL/NCEP.

Para avaliar a sensibilidade do ciclone Anita às diferentes configurações /parametrizações do modelo WRF, foram modificadas (Tabela 1): largura da zona de relaxação (que buscou aumentar a influência da análise global no domínio da simulação) em números de colunas (col), de 5 a 40 colunas, parametrização convectiva de Kain-Fritsch (KF; KAIN; FRITSCH, 1990) ou Betts-Miller-Janjic (BMJ; BETTS; MILLER, 1986), tempo de antecedência da simulação em relação à fase do ciclone (24, 48 e 72h).

Tabela 1 - Configurações utilizadas nas simulações numéricas com o WRF

Configuração	Convecção	Largura da zona relaxação
5 col	KF	5
20 col	KF	20
40 col	KF	40
BMJ	BMJ	5

## 3 Resultados

### 3.1 Intensidade e posicionamento

Para as diferentes simulações apresentadas na Tabela 1, a Figura 1 mostra a posição e a intensidade do ciclone Anita. Desta tabela tem-se que, nos experimentos com 72h de antecedência, a parametrização BMJ é a que apresenta intensidade mais próxima da observada. A variação da largura da zona de relaxação não apresenta efeito claro. Mas na maior parte dos estágios de vida essas simulações, que utilizam a convecção KF, simulam a pressão central do ciclone mais intensa do que na análise do FNL/NCEP.

Conforme a hora inicial da previsão se aproxima mais da análise, é possível notar que a pressão central do ciclone tende a convergir para o da análise, ou seja, os erros são menores. No entanto, ainda há uma tendência das previsões intensificarem o sistema, principalmente para os dias 09/03 e 10/03, mas isto diminui para a simulação com 24h de antecedência, como pode ser notado na Figura 1.

Com relação ao posicionamento do ciclone, é possível identificar que todas as simulações apresentaram o centro

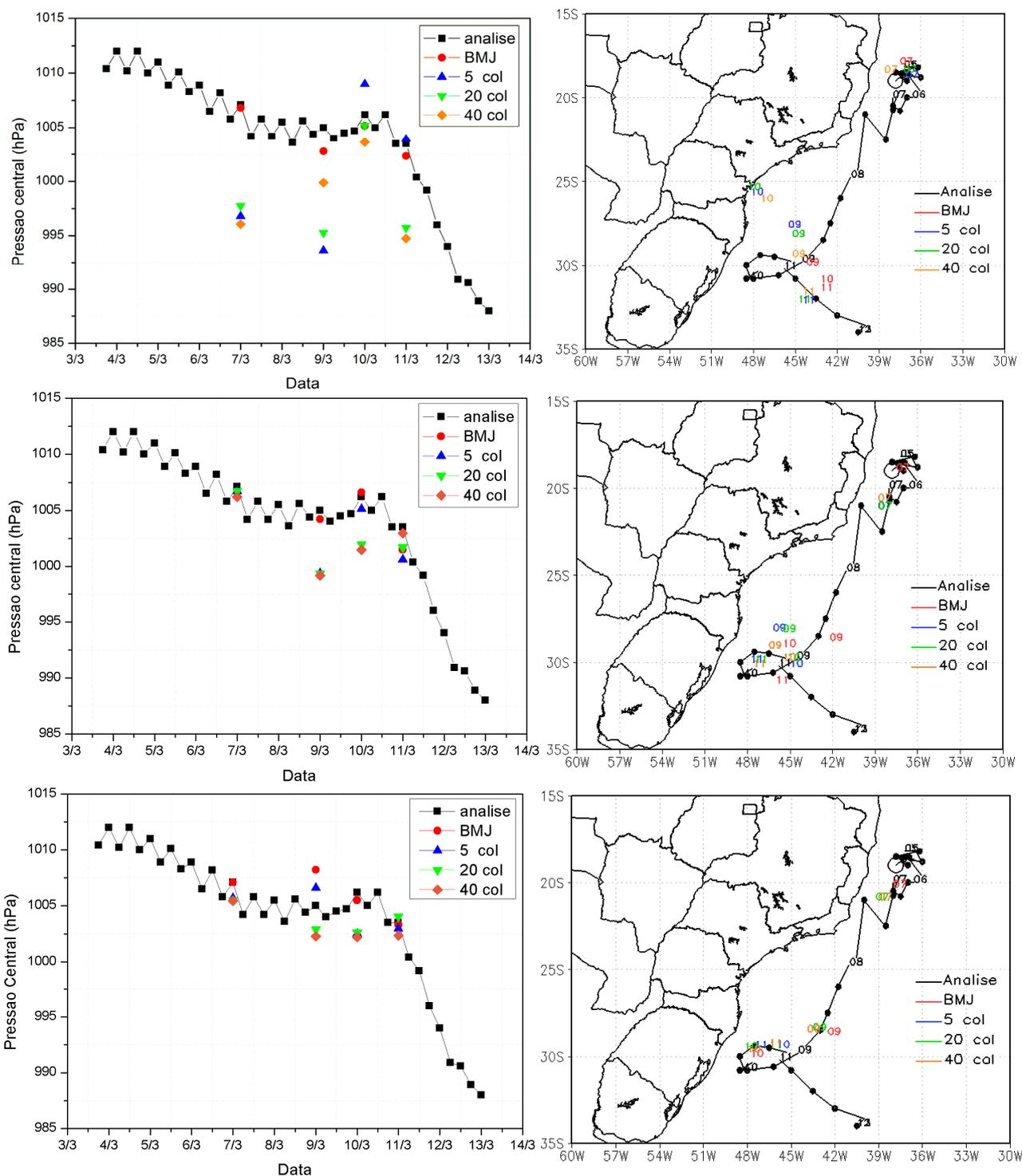


Figura 1 - (a) Média, em uma área de  $1^\circ$ , da pressão reduzida ao nível do mar (PRNM) com base nos dados da análise do FNL/NCEP e as simulações do WRF com 72h de antecedência com as parametrizações: convectiva de Betts-Miller-Janjic (BMJ), variação nas colunas/linhas de relaxação (5, 20 e 40 colunas) para os diferentes estágios de vida: intensificação-1 (07/03), maduro (09/03), enfraquecimento (10/03) e intensificação-2 (11/03); (b) Posição central do ciclone subtropical Anita com base nas mesmas condições descritas anteriormente, sendo os número referentes a posição do ciclone nos diferentes estágios de vida. (c) e (d) idem a (a) e (b) porém para a simulação com 48h de antecedência. (e) e (f) idem a (a) e (b) porém para as simulações com 24h de antecedência. Painel superior (a - esquerda, b - direita); Painel central (c - esquerda, d - direita); Painel inferior (e - esquerda, f - direita)

do ciclone deslocado para sudoeste, quando comparado com a análise. No entanto, para os experimentos com a variação na largura da zona de relaxação e 72h de antecedência, o WRF tende a aproximar o ciclone do continente para os estágios maduro e de enfraquecimento. A parametrização BMJ simula posições mais próximas da análise, mesmo para as simulações com maior tempo de antecedência.

Assim como no caso da intensidade, conforme a data inicial aproxima-se da de validade da previsão, obtém-se maior concordância com a observação sobre a localização do ciclone. Nas simulações com 24h de antecedência, tanto no caso da intensidade como do posicionamento, não há uma grande distinção dos resultados para as várias parametrizações e/ou configurações utilizadas, ou seja, os erros são, em geral, pequenos.

### 3.2 Precipitação

A análise da precipitação indicou que, para os estágios de intensificação-1 e maduro, há uma tendência de o WRF intensificar o núcleo de precipitação nas si-

mulações com maior tempo de antecedência. Conforme mostrado na Figura 2, a análise do TRMM identifica um núcleo de precipitação, entre 100 e 120 mm dia-1, em aproximadamente 30oS/45oW para o dia 09/03/2010. As simulações com 72h de antecedência, com 20 e 40 colunas de relaxação, apesar de simularem o posicionamento do núcleo de chuva similar ao TRMM, apresentam taxas de precipitação acima de 160 mm dia-1, enquanto que a parametrização BMJ simulou, na mesma posição, 100 a 120 mm dia-1, ainda que simule um núcleo de chuva mais intenso a norte do que no TRMM.

Nos estágios de enfraquecimento e intensificação-2 notou-se uma tendência contrária ao período anterior, ou seja, as simulações subestimaram as estimativas de precipitação do TRMM.

Conforme mostra a Figura 3, a análise do TRMM identifica um núcleo pequeno de precipitação, entre 100 e 120 mm dia-1, em, aproximadamente, 30oS/47oW. As simulações utilizando 20 e 40 colunas de relaxação e com 72h de antecedência tendem a deslocar o núcleo de precipitação mais intensa para sul da posição apresentada pelo TRMM e, conforme já descrito anteriormente, a pressão

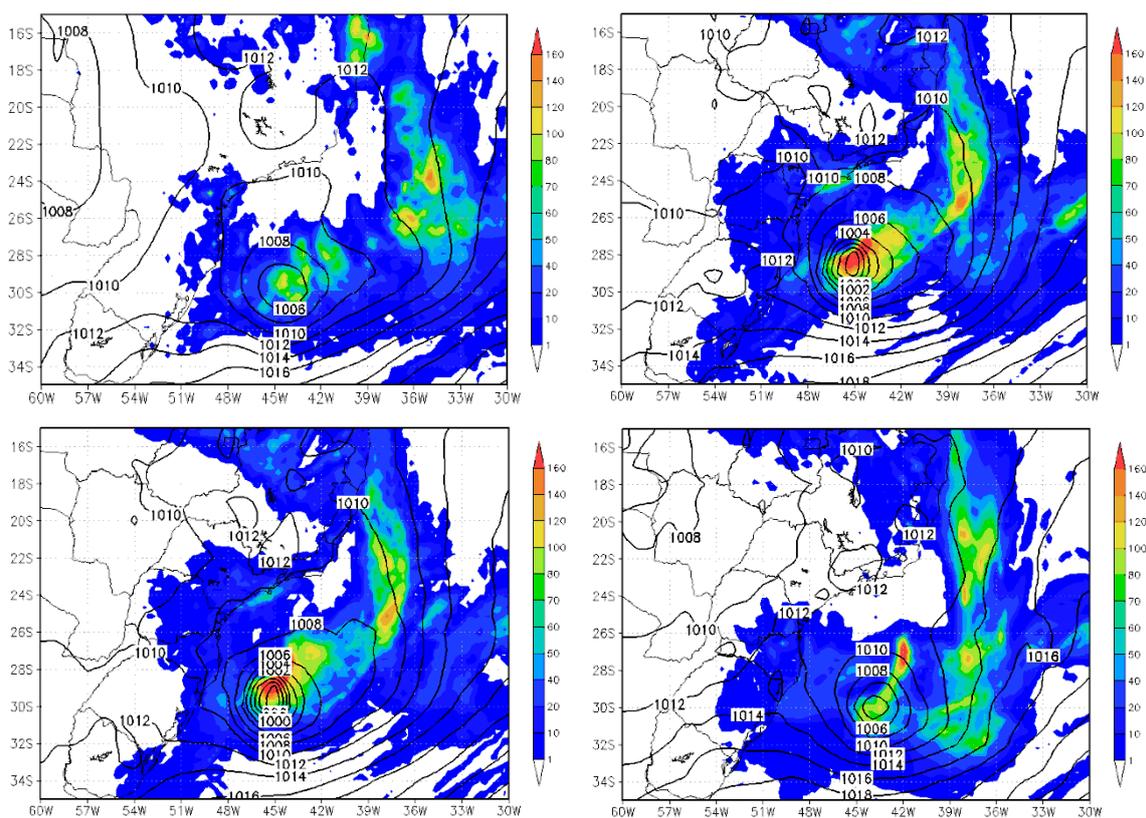


Figura 2 - Precipitação diária (sombreado) e pressão reduzida ao nível do mar (linhas sólidas) para o dia 09/03 (Maduro): (a) com base nos dados do satélite TRMM e a análise do FNL/NCEP; (b) simulação com 72h de antecedência e 20 colunas/linhas de relaxação; (c) simulação com 72h de antecedência e 40 colunas/linhas de relaxação; (d) simulação com 72h de antecedência e parametrização Betts-Miller-Janjic (BMJ). Painel superior (a - esquerda, b - direita); Painel inferior (c - esquerda, d - direita)

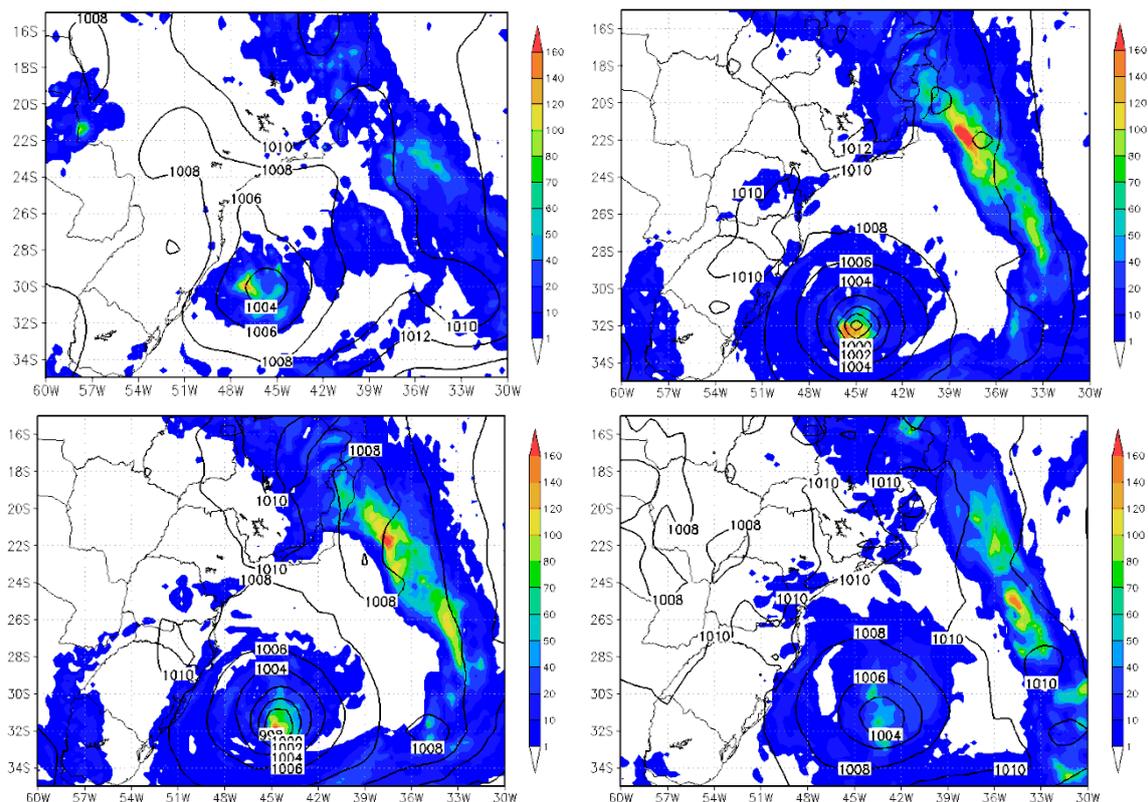


Figura 3 - Precipitação diária (sombreado) e pressão reduzida ao nível do mar (linhas sólidas) para o dia 11/03 (Intensificação2): (a) com base nos dados do satélite TRMM e a análise do NCEP/FNL; (b) simulação com 72h de antecedência e 20 colunas/linhas de relaxação; (c) simulação com 72h de antecedência e 40 colunas/linhas de relaxação; (d) simulação com 72h de antecedência e parametrização Betts-Miller-Janjic (BMJ), Painel superior (a - esquerda, b - direita); Painel inferior (c - esquerda, d - direita)

no centro do sistema é mais intensa do que na análise, o que resulta em uma taxa de precipitação mais intensa também, entre 120 e 140 mm dia-1. A simulação com a parametrização BMJ, que havia apresentado resultados mais próximos das análises, com relação à pressão central do sistema, subestima a taxa de precipitação comparada ao TRMM, com valores que não excedem 70 mm dia-1.

#### 4 Conclusões

As previsões numéricas do WRF para o ciclone Anita permitem concluir que as simulações com 24h de antecedência mostraram resultados mais similares às observações, enquanto que as de 72h de antecedência apresentaram maiores erros na precipitação, intensidade e posição do ciclone. Em geral, estas simulações intensificam e deslocam o ciclone para mais próximo da costa do que indicam as análises. No entanto, utilizando a parametrização convectiva de BMJ, os erros de previsão nas simulações com 72h de antecedência diminuem. Além disso, o aumento da zona de relaxação do WRF, de 5 para 40 colunas, apesar de afetar o resultado final, não

mostrou uma tendência clara, piorando as simulações com 72h de antecedência em alguns casos e melhorando em outros.

#### Agradecimentos

Esse estudo foi financiado pelo CNPq (Centro Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) com os projetos 145575/2011-0, 134589/2012-2.

#### Referências

BETTS, A. K. e MILLER, M. J. A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, and arctic air-mass data sets, Quart. J. Roy. Meteor. Soc, v. 112, p. 693-709, 1986. da ROCHA, R. P; SUGAHARA, S.; SILVEIRA, R. B. Sea Waves Generated by Extratropical Cyclones in the South Atlantic Ocean: Hindcast and Validation against Altimeter Data. Weather and Forecasting, v.19, p. 398-410, 2004.

BRITO, L. S., ROCHA, R. P., 2012, Simulação numérica do ciclone “Anita” com o modelo WRF. XVII Simpósio de Iniciação Científica do IAG/USP, Agosto de 2012, São Paulo - SP.

DIAS PINTO, J.R.; REBOITA, M.; da ROCHA, R. P. Synoptic and dynamical analysis of subtropical cyclone Anita (2010) and its potential for tropical transition over the South Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 118, 1-14, 2013.

DUTRA, L. M. M. Ciclones subtropicais sobre o Atlântico Sul: análise da estrutura dinâmica de eventos. 2012. 146 p. (Dissertação, curso de Pós-Graduação em Meteorologia)– IAG/USP, São Paulo.

GOZZO, L. F. Simulação numérica da influência dos fluxos de superfície em ciclones na costa leste do sul do Brasil. 2010. 131 p. (Dissertação, curso de Pós-Graduação em Meteorologia)– IAG/USP, São Paulo.

GUISHARD, M. P.; NELSON, E. A.; EVANS, J. L.; HART, R. E.; O’CONNELL, D. G. Bermuda subtropical storms. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 97, p. 239-253, 2007.

HUFFMAN, G. J.; et al. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *J. Hydrometeor.*, v. 8, p. 38–55, 2007.

KAIN, J. S. e FRITSCH, J. M. A One-Dimensional Entraining/Detraining Plume Model and Its Application in Convective Parameterization. *J. Atmos. Sci.*, v. 47, p. 2784–2802. 1990.

MCTAGGART-COWAN, R.; BOSART, L. F.; DAVIS, C. A.; ATALLAH, E. H.; GYAKUM, J. R.; EMANU, K. A. Analysis of Hurricane Catarina (2004), *Mon. Weather Rev.*, v. 134, p. 3029–3053, 2006.

MARKS, F. D. Hurricanes. *Encyclopedia of Atmospheric Science*. Edited by James R. Holton, Judith A. Curry and John A. Pyle, Academic Press, San Diego, v. 6, p. 942-966, 2002.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica, *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, p. 185 -204, 2010.

SKAMAROCK, W. C.; KLEMP, J. B.; DUDHIA, J.; GILL, D. O.; BARKER, D. M.; DUDA, M. G.; HUANG, X. Y.; WANG, W.; POWERS, J. G. A description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Notes, NCAR/TN-475+STR, 2008.