



Simulação Numérica em Alta Resolução nas Ilhas Shetland do Sul, Antártica, Usando WRF High-Resolution Numerical Weather Simulation at the South Shetland Islands, Antarctic, Using WRF

Alcimoni Nelci Comin¹; Otávio Costa Acevedo¹ & Ronald Buss de Souza²

¹Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Av. Roraima s/n, Campus da UFSM, prédio do INPE, Bairro Camobi, 97105-900 Santa Maria, RS, Brasil

²Centro Regional Sul - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CRS-INPE).

Av. Roraima s/n, Campus da UFSM, prédio do CRS-INPE, Bairro Camobi, 97105-900 Santa Maria, RS, Brasil

E-mails: alcimoni.comin@gmail.com; otavio@ufsm.br; ronald@dsr.inpe.br

Recebido em: 30/05/2016 Aprovado em: 28/07/2016

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2016_3_105_110

Resumo

Este artigo apresenta simulações de alta resolução com o modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF) para a Ilhas Shetland do Sul, na Antártica. Os dados observados são coletados pelos sensores instalados no navio Polar durante o transecto nesta região. Este estudo incluiu quatro simulações diferentes; variando o número de pontos de grade no domínio interno entre 127 x 127 e 187 x 187 e duas configurações de microfísica. As simulações para a temperatura do ar e ponto de orvalho são altamente dependentes do número de pontos de grade do domínio interno. Quando o domínio com 127 pontos é usado o modelo reproduz flutuações abruptas dessas variáveis e altas subestimativas em ambas as configurações. Isto pode ser atribuído à sensibilidade associada à transferência de informações entre as diferentes grades aninhadas. Com a expansão da grade interna em 187 pontos as flutuações deixam de ocorrer. A subestimativa das temperaturas no modelo WRF também é associada com a deficiência na representação de nebulosidade estratiforme. Nos dias com nebulosidade média o modelo simula melhor essas variáveis. Já a pressão é adequadamente simulada com os dois domínios e é mais dependente de padrões climáticos de grande escala derivadas do modelo global. As pequenas diferenças na pressão são devido ao ajuste dinâmico do modelo. O esquema microfísico WSM5 apresenta resultados melhores que o WSM3 para todas as variáveis testadas aqui.

Palavras-chave: WRF; alta resolução; ilhas Shetland do Sul; Navio Polar

Abstract

This paper presents run high-resolution Weather Research and Forecasting (WRF) model in the region of South Shetland Islands, in Antarctica. Simulation model are compared to observations taken aboard a Polar Ship during the transect in this region. A total of 4 different simulations were performed, varying the number of points of the innermost domain 127 x 127 and 187 x 187 and two microphysics schemes. The results of air temperature and dew point are highly dependent on the size of the internal domain. When the small domain with points 127 are used, the model produces abrupt fluctuations of these variables and highly underestimates them in both settings. This can be attributed the sensitivity of the model to the transfer of information between the different nested grids. With larger innermost grid with points 187, such fluctuations no longer occur. The underestimation temperatures in the WRF model is associated with the deficiency representation on days with stratiform cloudiness. Days with middle-level clouds model the temperature tend to be better represented. The air pressure is adequately simulated with both domains, as it is more dependent on large-scale weather patterns, derived from the global model, which provides the boundary conditions. The small differences in air pressure among the simulations are a consequence of the dynamical adjustment of the model. The microphysics scheme WSM5 results were better than scheme WSM3 for all variables tested here.

Keywords: WRF; High-resolution; South Shetland Islands; Polar Ship

1 Introdução

O modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF) é desenvolvido para fins de investigação e de previsão numérica sendo atualmente utilizado pela comunidade meteorológica para uma grande variedade de objetivos específicos Skamarock *et al.* (2008). O modelo pode ser utilizado para diferentes escalas atmosféricas e oferece uma grande diversidade de opções físicas e dinâmicas. Técnicas de assimilação de dados meteorológicos modernos usados em modelos de grande escala, como o Sistema de Previsão global (GFS, fornecida pelos Centros Nacionais de Previsão Ambiental - NCEP) permitem incorporar observações de sensoriamento remoto de temperatura e perfis verticais de umidade, bem como velocidade e direção do vento. As saídas de tais simulações podem ser utilizadas como condições iniciais e de contorno para modelagem de alta resolução usando WRF ou modelos regionais semelhantes. A assimilação de dados de produtos de sensoriamento remoto é crucial para melhorar o desempenho dos modelos numéricos regionais, em regiões remotas do globo, onde as observações meteorológicas disponíveis são muito escassas.

Neste contexto o WRF é usado para simular a temperatura, ponto de orvalho e pressão no arquipélago das Shetland do Sul. Estes são um grupo de mais de 20 ilhas situadas a 120 km ao norte da Península Antártica, amplamente utilizado como um laboratório para a investigação científica em áreas como a biologia, oceanografia, meteorologia e outras. A maioria das estações de pesquisa está localizada na ilha Rei George, a maior ilha, com uma área um pouco maior de 1100 km². Muitas atividades de pesquisas dependem de uma previsão precisa do tempo, apesar de observações meteorológicas serem escassas e difíceis de executar na região. As simulações numéricas do tempo são, portanto, uma alternativa fácil, mas não há estudos que mostram como modelos, tais como WRF, são capazes de representar a variabilidade detalhada dos parâmetros atmosféricos em escalas tão pequenas como as ilhas Shetland do Sul. Esta é a principal motivação do estudo.

Todas as versões do WRF, incluindo a Polar WRF são desenvolvidas para o Hemisfério Norte. De acordo com Bromwich *et al.* (2013) o bom desempenho demonstrado pelo modelo no

Ártico, pode não ocorrer na Antártica, por causa da diferença entre as duas regiões polares. Bromwich & Cassano (2000) identificam que os modelos globais para a região da Antártica, possuem resoluções horizontais inadequadas: i) para resolver os padrões de mesoescala de curto prazo (6-24 horas); ii) para representação das propriedades físicas únicas da troposfera e da camada limite da Antártica e iii) pobre representação da topografia e dos padrões atmosféricos. Nos últimos anos, muitos estudos focam em simular as regiões polares de uma perspectiva regional (Hines *et al.*, 2008; Bromwich *et al.*, 2009; Hines *et al.*, 2011; Wilson, 2010; Bromwich *et al.*, 2013). Tais simulações são feitas sobre grandes áreas dos círculos polares. Embora este estudo tem objetivos semelhantes, ele é diferente será numa perspectiva local, centrado-se sobre as Ilhas Shetland do Sul.

2 Observações e Configuração Numérica

Os dados observacionais utilizados aqui são de medições horárias obtidas pelos sensores instalados no Navio Polar Almirante Maximiliano, da Marinha do Brasil, durante a Operação Antártica 29, no período 5-23 de Fevereiro de 2011. As variáveis utilizadas são: temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho (Td) e pressão atmosférica. Durante este período, o navio fez um transecto sobre as Ilhas Shetland do Sul (ver referência geográfica na Figura 1). Para as simulações numéricas apresentadas aqui são utilizadas três grades aninhadas e concêntricas mostradas na Figura 1. O domínio externo (linha azul contínua) tem espaçamento de 12 x 12 km com 60 x 60 pontos de grade na horizontal. A primeira grade aninhada (linha vermelha contínua) tem espaçamento de 4 x 4 km com 141 x 141 pontos de grade na horizontal. A grade mais interna tem espaçamento de 1 x 1 km com número de pontos de grade variável; 127 x 127 pontos (linha verde contínua) e 187 x 187 pontos (linha verde pontilhada) na direção horizontal. Todas as grades utilizam 28 níveis na vertical. A cada dia a grade mais interna é centrada na localização do navio durante o dia correspondente. As condições iniciais e de contorno são fornecidas pelo NCEP Final Global (FNL) com 1^o x 1^o de resolução na horizontal (<http://dss.ucar.edu/datasets/ds083.2/>), disponível a cada 6 horas. Para as duas grades externas são utilizadas a parametrização

de cumulus de Kain Fritsch, já na grade interna não é utilizada parametrização (Klemp, 2006). O esquema de camada limite planetária Yonsei University proposto por Hong *et al.* (2006) é adotado nas simulações.

Em relação às opções físicas do modelo dois tipos diferentes de simulações são realizados. O primeiro chamado aqui WRFs, adota-se o esquema de microfísica (WSM3) proposto por Hong *et al.* (2004), que é um esquema simples e eficiente com gelo e neve; e também o esquema (WSM5) proposto por Hong *et al.* (2006), chamado aqui de WRFa, em que processos de gelo, neve, água super resfriada e água em múltiplos estados (*mixed-phase*) estão presentes. No total, portanto, são realizadas 4 simulações diferentes: i) 2 simulações envolvendo as variações de números de pontos de grade no domínio interno entre 127 x 127 e 187 x 187; ii) e as outras simulações, uma com o esquema microfísico WRFs e outra com o esquema microfísico WRFa.

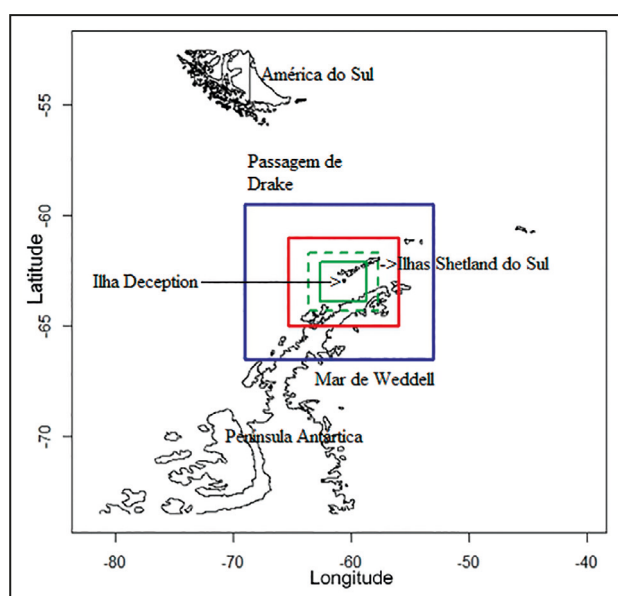


Figura 1 Mapa mostrando a localização das grades aninhadas, para um caso em que são centradas na ilha Deception. Para a grade mais interna, com espaçamento de 1 km, duas áreas são consideradas; representadas respectivamente por linhas verdes contínuas (127 x 127 pontos de grade) e tracejadas (187 x 187 pontos de grade).

3 Resultados

Os resultados das figuras apresentados nesta seção referem-se a saída do modelo com resolução de 1 km. A temperatura do ar é altamente dependente do tamanho do domínio interno. Quando o domínio

menor é usado (Figura 2 A), o modelo não é capaz de reproduzir adequadamente a variabilidade observada em ambas as configurações. Neste caso, a temperatura é altamente subestimada. Além disso, o modelo produz flutuações bruscas de temperatura que não é verificado nos dados coletados pelos sensores. Isso pode ser atribuído à sensibilidade para o tamanho do domínio pequeno, o que não é suficiente para reduzir as flutuações associadas à transferência de informações entre as diferentes grades aninhadas. A temperatura média simulada pelo WRFs (-1,83 °C) é entorno de 4,4 K mais baixa do que a observada (2,5 °C), enquanto essa mesma diferença chega a 5 K com o WRFa. Na Figura 2B as grandes flutuações deixam de ocorrer com a expansão da grade em 187 pontos, esse número de pontos é suficiente para transferir corretamente as informações entre as grades aninhadas com a configuração escolhida. Quando a grade interna é expandida (Figura 2B), as temperaturas simuladas ficam mais próxima das observações; a temperatura média de WRFs é subestimada em 0,53 K e do WRFa é subestimada em 0,96 K. Os coeficientes de correlação entre as temperaturas observada e simuladas (Tabela 1), mostram um desempenho muito melhor com o domínio maior, sendo de 0,68 para WRFs e 0,55 para WRFa, o mesmo pode ser dito sobre a raiz do erro médio quadrático (REMQ), com redução do valor quando é utilizado uma grade interna maior. Todos os índices estatísticos (ver Tabela 1) utilizados para a comparação indica um melhor desempenho do WRFs do que WRFa, e essa diferença pode ser devido o estado da água em múltiplos estados com a configuração WRFs.

Apesar da melhoria significativa, com o domínio interno maior há uma subestimativa da temperatura do ar, e suavização de alguns valores (como no dia 21, quando WRF subestima a temperatura em 4,2 K, ver Figura 2 B). Isso pode ser atribuída à heterogeneidade da superfície e a consequente variabilidade da temperatura horizontal. O mesmo problema é encontrado em Barrow, no Alasca (Walsh *et al.*, 2009) e em Atkasuk, norte do Alasca, onde a temperatura mínima simulada é 2 K mais fria do que as observações, enquanto a máxima é de 1 K mais quente (Hines *et al.*, 2011). De acordo com Bromwich *et al.* (2013), as temperaturas de superfície são mais frias do que as observações, durante o verão, devido a grandes

fluxos anormalmente de calor sobre a neve e perda radiativa de onda longa.

Além disso, as interações das nuvens não são devidamente reproduzidas pelo modelo e como consequência, há em geral um melhor desempenho sob condições de céu claro. Nos períodos em que um sistema de baixa pressão está presente (dias 6, 10, 14 e 19), a REMQ para esses dias é de 1,5 K. Nos períodos de alta pressão (dias 9, 13, 16 e 22), a REMQ se reduz para 0,9 K. Assim, é possível perceber que há casos em que as temperaturas são pobremente reproduzidas pelo modelo como durante os períodos de aumento de pressão, associada com o movimento de um sistema de alta pressão. Isso ocorre por volta de 12:00 horas do dia 7, a partir de 12:00 horas do dia 10 até o dia 12, e também em partes dos dias 15, 20 e 21. Esta deficiência pode ser atribuída às dificuldades do modelo em reproduzir nebulosidade estratiforme. Como consequência, a emissão de radiação de onda longa pelas nuvens e o aquecimento da superfície também não são bem representados, de modo que a superfície do modelo permanece mais fria do que os valores observados. Um problema semelhante é relatado por Bromwich *et al.* (2013), devido a deficiência na representação de nebulosidade, associadas a subestimação de temperaturas pelo Polar WRF. Imagens de satélite confirmam a ocorrência de nebulosidade baixa nos dias mencionados (figuras não mostradas). Outro resultado interessante do modelo é que parece ter uma melhor representação da temperatura quando se tem nebulosidade média. Isto é evidenciado pela simulação durante o dia 15. No início deste dia, quando as nuvens baixas estão presentes, o modelo subestima a temperatura durante várias horas. No final do dia 15 e nas primeiras horas do dia 16, por outro lado, a região está coberta por nuvens médias (Figura 3), no local aonde as observações são realizadas, e a temperatura simulada pelo WRFs aumenta abruptamente, ficando muito perto do valor observado (Figura 2B).

Em geral, o desempenho do modelo com respeito à temperatura do ponto de orvalho (T_d) é semelhante a temperatura a 2 m da superfície. Com o domínio interno menor (Figura 4A), a T_d é constantemente subestimada por ambas as configurações, observa-se grandes flutuações desta variável que não é observada nos dados reais coletados pelos sensores do Navio. Mais uma vez, a

correlação entre os valores simulados e observados é praticamente inexistente e a REMQ é grande para

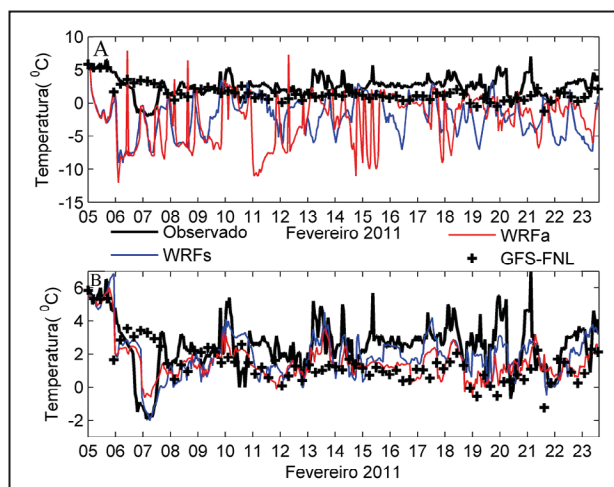


Figura 2 Saída do modelo WRF para a temperatura a 2 m da superfície. As linhas pretas mostram os valores observados, linhas azuis são as simulações com WRFs e linhas vermelhas são as simulações com WRFa. As cruzes representam os valores obtidos a partir de análise GFS-FNL. A Figura 2A reporta as simulações com 127 x 127 pontos de grade, enquanto a Figura 2 B reporta as simulações com 187 x 187 pontos no domínio interno.

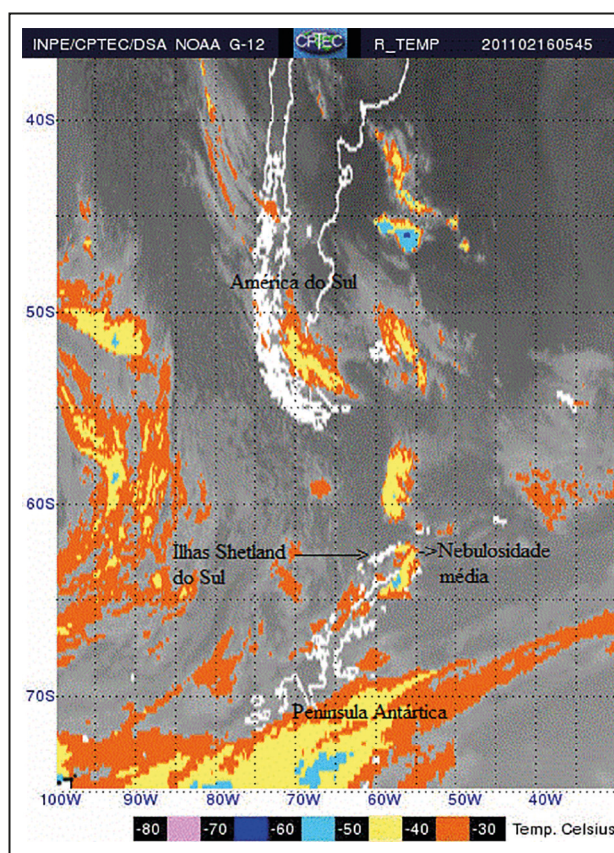


Figura 3 Imagem de satélite do GOES 12 para a região sub Antártica às 5:45 UTC do dia 16 de fevereiro de 2011, tons de laranja e amarelo representam nebulosidade média.

ambos WRFs (4,8 K) e WRFa (3,6K), como mostra a Tabela 1. Uma grande melhoria é alcançada com o domínio interno maior (Figura 4 B), assim como ocorre para as temperaturas do ar. O coeficiente de correlação atinge 0,74 e 0,64 para WRFs e WRFa (Tabela 1), respectivamente. Ambos os valores são maiores do que os correspondentes obtidos para as temperaturas do ar e são semelhantes aos obtidos por Wilson *et al.* (2011), que encontram coeficientes de correlação variando entre 0,60 e 0,75 para Td em simulação para a região do Ártico. Uma redução sensível de REMQ é obtida quando a grade maior é usada. É importante notar que, na sequência dos resultados de temperatura do ar, a temperatura do ponto de orvalho é simulada melhor no WRFs do que no WRFa.

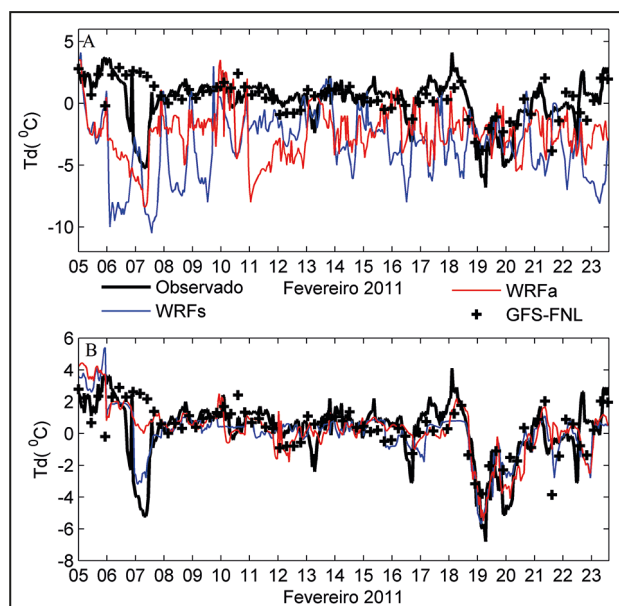


Figura 4 Saída do modelo WRF para a temperatura do ponto de orvalho a 2 m da superfície. As linhas pretas mostram os valores observados, linhas azuis são as simulações com WRFs e linhas vermelhas são as simulações com WRFa. As cruzes representam os valores obtidos a partir de análise GFS-FNL. A Figura 4A reporta as simulações com 127 x 127 pontos de grade, enquanto a Figura 4 B reporta as simulações com 187 x 187 pontos no domínio interno.

A pressão atmosférica (Figura 5) é simulada adequadamente pelo modelo, com ambos domínios internos menor (Figura 5 A) e maior (Figura 5B). Esse resultado pode ser esperado, porque é uma variável que tem pouca variabilidade em pequenas escalas de tempo, sendo, portanto, dependente dos padrões meteorológicos de grande escala, que são derivados do modelo global. Estudos feitos por

Hines *et al.* (2008) na Groenlândia, e Bromwich *et al.* (2009) no Oceano Ártico, relatam semelhante concordância entre a pressão simulada e a observada, com coeficientes de correlação entre 0,95 e 0,99 dentro da mesma faixa das presentes simulações, com ambas as grades (Tabela 1). A utilização de um domínio maior para a grade interna, por outro lado, diminui ligeiramente a REMQ do que aqueles com menor domínio correspondente. É importante observar que o desempenho de diferenças de pressão são muito pequenas e é devido ao ajustamento dinâmico do modelo, ao passo que para as variáveis termodinâmicas são muito maiores. Indica-se, portanto, que a dinâmica do WRF é mais robusta e menos sensível às configurações de grade do que sua termodinâmica. Apesar do bom desempenho em ambas as configurações, é perceptível que WRFa superestima essa variável, durante os períodos de baixa pressão.

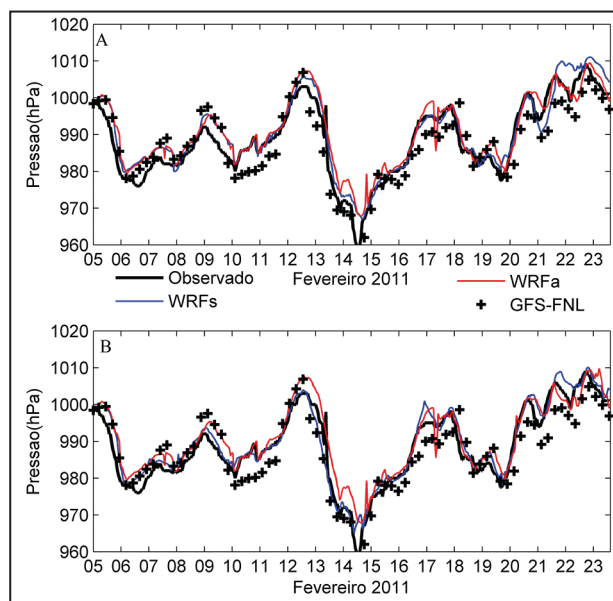


Figura 5 Saída do modelo WRF para a pressão atmosférica no nível do mar. As linhas pretas mostram os valores observados, linhas azuis são as simulações com WRFs e linhas vermelhas são as simulações com WRFa. As cruzes representam os valores obtidos a partir de análise GFS-FNL. A Figura 5A reporta as simulações com 127 x 127 pontos de grade, enquanto a Figura 5 B reporta as simulações com 187 x 187 pontos no domínio interno.

4 Conclusão

Os resultados encontrados no presente estudo, mostram que o WRF pode ser uma ferramenta adequada para fornecer informações próximas da realidade dos parâmetros atmosféricos

	Corr WRFs	Corr WRFa	REMQ WRFs	REMQ WRFa	Média WRFs	Média WRFa	Obs.
Temperatura	0,17 (0,68)	0,19 (0,55)	5,4 (1,33)	6,2 (1,62)	-1,87 (1,97)	-2,50 (1,54)	2,50
Td	0,08 (0,74)	0,22 (0,64)	4,8 (1,29)	3,6 (1,5)	-3,42 (0,04)	-2,45 (0,23)	0,21
Pressão	0,96 (0,97)	0,96 (0,96)	3,36 (2,8)	3,69 (3,2)	990,2 (989,6)	990,6 (990,5)	988,3

Tabela 1 Estatísticas da saída do modelo WRF; cor (correlação), REMQ (raiz do erro médio quadrático) e média com as configurações microfísicas WRF_s e WRF_a. Os números em negrito são as simulações com 127 x 127 pontos de grade e os números entre parênteses são as simulações com 187 x 187 pontos de grade. Para as variáveis: temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho (Tar), pressão atmosférica e em itálico a média dos dados coletados pelos sensores (Obs).

apresentadas aqui, em escala local, para a região de alta latitude, como as ilhas Shetland do Sul. Isso tem sido demonstrado, comparando observações in situ realizadas pelo Navio Polar com as saídas de simulações numéricas utilizando três grades aninhadas e condições de contorno laterais fornecido pelo GFS-FNL. A grade mais fina, de espaçamento de 1 km, oferece uma representação bem melhor da série observada do que as saídas do modelo de grande escala. É importante destacar que essa melhoria só é alcançada quando o domínio de alta resolução é grande o suficiente para evitar a propagação de perturbações entre as grades aninhadas, para as variáveis temperatura e temperatura do ponto de orvalho. Usando a grade interna com 127 pontos em cada direção horizontal, as simulações de temperatura do ar e ponto de orvalho são muito mais pobres do que as representações do modelo global. A melhoria das simulações é expressiva com a expansão da grade interna para 187 x 187 pontos. Uma possível razão pode explicar a necessidade de grade interna maior, pois a velocidade do vento nessas latitudes é particularmente maior, assim atravessam o domínio mais rápido. Com isso, as variáveis termodinâmicas têm menos tempo para se adaptar às diferentes escalas de grades.

É interessante salientar que as maiores diferenças entre os domínios é para as variáveis termodinâmicas. A pressão que é dependente dos forçantes de grande escala é bem representada, mesmo com domínio menor da grade mais interna. Devido a escassez de observações meteorológicas na região, a maior parte dos dados utilizados vem de observações de sensoriamento remoto, os quais são uma representação aproximada das condições reais da atmosfera. Esta limitação pode ser responsável pela dificuldade do modelo regional em representar as perturbações locais, pois utiliza as condições de contorno do modelo global. Como consequência, as simulações do WRF são sensivelmente melhores que

as do GFS-FNL, pois resolve melhor os forçantes de pequena escala, como a orografia, cobertura do solo, nuvens e outros.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e CsF pelo apoio financeiro na realização deste trabalho.

6 Referências

- Bromwich, D.H. & Cassano, J.J. 2000. Recommendations to the National Science Foundation from the Antarctic Weather Forecasting Workshop. *BPRC Misc. Series M-420*, p. 48, 2000. [Available from Byrd Polar Research Center, The Ohio State University, 1090 Carmack Rd., Columbus, OH, 43210-1002.]
- Bromwich, D.H.; Hines, K.M. & Bai, L.S. 2009. Developments and testing of Polar Weather Research and Forecasting model: 2. Arctic Ocean. *Journal Geophysical Research*, 114: D08122.
- Bromwich, D.H.; Otieno, F.O.; Hines, K.M.; Manning, K.W. & Shilo, L. 2013. Comprehensive evaluation of Polar WRF forecast performance in the Antarctic. *Journal Geophysical Research Atmospheres*, 118:274–292.
- Hines, K.M. & Bromwich, D.H. 2008. Development and testing of Polar WRF. Part I: Greenland Ice Sheet meteorology. *Monthly Weather Review*, 136:1971–1989.
- Hines, K.M.; Bromwich, D.H.; Bai, L.-S.; Barlage, M. & Slater, A.G. 2011. Development and Testing of Polar WRF. Part III: Hong Arctic Land. *Journal of Climate*, 24:26–48.
- Hong, S.-Y.; Dudhia, J. & Chen, S.-H. 2004. A Revised Approach to Ice Microphysical Processes for the Bulk Parameterization of Clouds and Precipitation, *Monthly Weather Review*, 132:103–120.
- Hong, S.-Y.; Noh, Y. & Dudhia, J. 2006. A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Monthly Weather Review*, 134: 2318–2341.
- Klemp, J.B. 2006. Advances in the WRF model for convection-resolving forecasting. *Advances in Geosciences*, 5:25–29.
- Skamarock, W.C.; Klemp, J.B.; Dudhia, J.; Gil, D.A.; Barker, D.M.; Duda, M.G.; Huang, X.-Y.; Wang, W. & Powers, J.G. 2008. Description of the Advanced Research WRF Version 3. *National Center for Atmospheric Research* Boulder, Colorado, USA.
- Walsh, J.E.; Chapman, W.L. & Portis, D.H. 2009. Arctic Cloud Fraction and Radiative Fluxes in Atmospheric Reanalyses. *Journal of Climate*, 22: 2316–2334.
- Wilson, A.B. 2010. Enhancement of Polar WRF atmospheric and surface processes: An annual simulation. *M.S. thesis*, Dept. of Geography, The Ohio State University, 171 pp. [Available online at http://etd.ohiolink.edu/view.cgi?acc_num5_osu1268066611.]
- Wilson, A.B.; Bromwich, D.H. & Hines, K.M. 2011. Evaluation of Polar WRF forecasts on the Arctic System Reanalysis domain: Surface and upper air analysis. *Journal of Geophysical Research*, 116:1–18.