

Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Física

Simulações do evento de nevada de 22 a 25 de Julho de 2013 em Santa Catarina

Vitor Goede
Florianópolis, 13 de agosto de 2015

Resumo

O objetivo deste artigo é avaliar o desempenho da previsão numérica de neve, relacionado ao evento de 22 a 25 de Julho de 2013, no Sul do Brasil. Este evento pode ser considerado o mais intenso na recente história do Vale do Itajaí e Litoral Norte de SC, pois afetou 107 municípios em Santa Catarina e 26 no Paraná. Neste estudo, foi utilizado o modelo de WRF – ‘*Weather Research and Forecast Model*’ - para simular a previsão deste caso de nevada no sul do Brasil. Testes de resolução espacial do modelo foram executados com resoluções espaciais de 13 e 3 quilômetros, respectivamente. Os resultados mostram que a previsão com 13 km de resolução e 72 horas de antecedência, prevê a ocorrência de neve, mas não foram satisfatórios para prever adequadamente o a localização da precipitação sendo que a neve prevista foi mais ao norte e mais fraca que o observado. O aumento de resolução para 3 km resultou em neve com mais intensidade, mais ao sul e em pontos isolados, em maior conformidade com o observado. Porém, os resultados mostraram que o modelo ainda não conseguiu prever corretamente a distribuição de precipitação no Vale do Itajaí e Litoral. Testes futuros com relação às parametrizações físicas serão executadas para avaliar quais ajustes podem ser feitos para melhorar o desempenho da previsão.

1. Introdução

A previsão do tempo possui importante papel para nossa sociedade em geral, influenciando no nosso dia-a-dia, buscando informar a população sobre as condições meteorológicas a curto ou longo prazo, através de variáveis como temperatura, índice de precipitação, vento, entre outras. Além disso, a previsão serve como um mecanismo fundamental para prevenção e preparo para casos extremos como tempestades severas, inundações, condições de estiagem, vento extremo e precipitação de neve.

A previsão de fenômenos como este é feita principalmente por modelos numéricos. Estes modelos são constituídos por células espaciais (Comin, 2012) intercaladas dentro de uma grade principal que subentende o domínio de interesse de forma homogênea, preenchendo todo o espaço em questão. Estas células possuem dimensões que podem variar de acordo com o evento

a ser estudado. Células de Grade menores resultam em uma maior resolução espacial e precisão nos resultados, mas também aumenta a demanda computacional e o tempo de simulação. Tais modelos devem representar e prever de forma satisfatória os processos dinâmicos e termodinâmicos da atmosfera e também processos físicos envolvidos na formação de nuvens (Ramos da Silva et al. 2011, 2009).

Para realização deste estudo, utilizamos o modelo numérico WRF - 'Weather Forecast and Research Model (Michalakes et al., 2004)'. Este modelo tem sido desenvolvido como um modelo de previsão e pesquisa para sistemas meteorológicos de mesoescala. O modelo possui um vasto número de aplicações como previsão e pesquisa em escala de tempestades, qualidade do ar, previsão de tempestades tropicais e furacões.

Este trabalho tem como principais objetivos, estudar o evento de nevada histórico ocorrido entre os dias 22 e 25 de julho de 2013 que atingiu a região sul do Brasil afetando principalmente o estado de Santa Catarina, assim como o Paraná e o Rio Grande do Sul, através de simulações numéricas.

2. Metodologia

2.1 Descrição do fenômeno

A precipitação de neve ocorre nos meses de inverno do sul do Brasil, de Junho até Setembro. Em geral estes eventos ocorrem devido à propagação de uma massa de ar frio com umidade suficiente para produzir nuvens com formação de gelo e neve (Fuentes, 2009).

A nevada ocorrida no sul do Brasil em Julho de 2013 foi considerada como um dos mais notáveis casos já ocorridos. Este fenômeno ocorreu devido à propagação de uma frente fria entre os dias 22 e 25. Ao todo, 107 municípios catarinenses registraram a queda de neve neste período (Figura 1).

No dia 22, os municípios do Meio-Oeste e principalmente Planalto Sul de Santa Catarina foram os que registraram maiores acúmulos de precipitação de neve (Figura 2a). Com o deslocamento da frente fria em direção ao norte/nordeste no dia 23 (Figura 2b), a queda de neve atingiu em proporções consideráveis áreas não tão familiares com este fenômeno, como o Planalto Norte catarinense, Vale do Itajaí e a Grande Florianópolis. Entre os dias 24 e 25 (Figuras 2c e 2d) tivemos ainda precipitação de neve localizada novamente no Planalto Sul Catarinense.

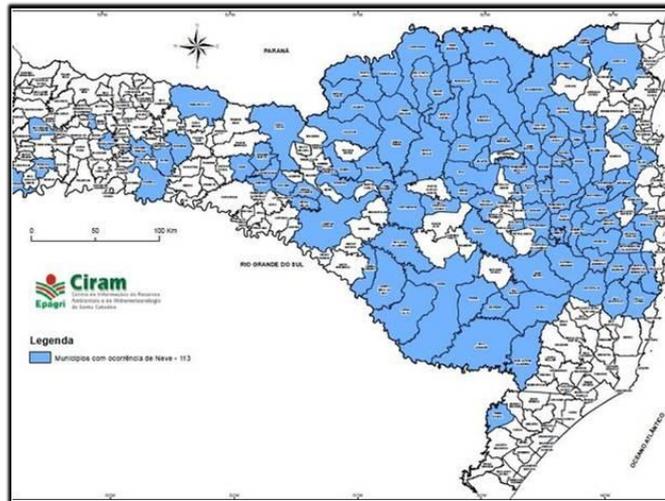


Figura 1 – Municípios catarinenses que registraram neve entre 22 e 25 de Julho de 2013 (Fonte: EPAGRI/CRAM/DIVULGAÇÃO).

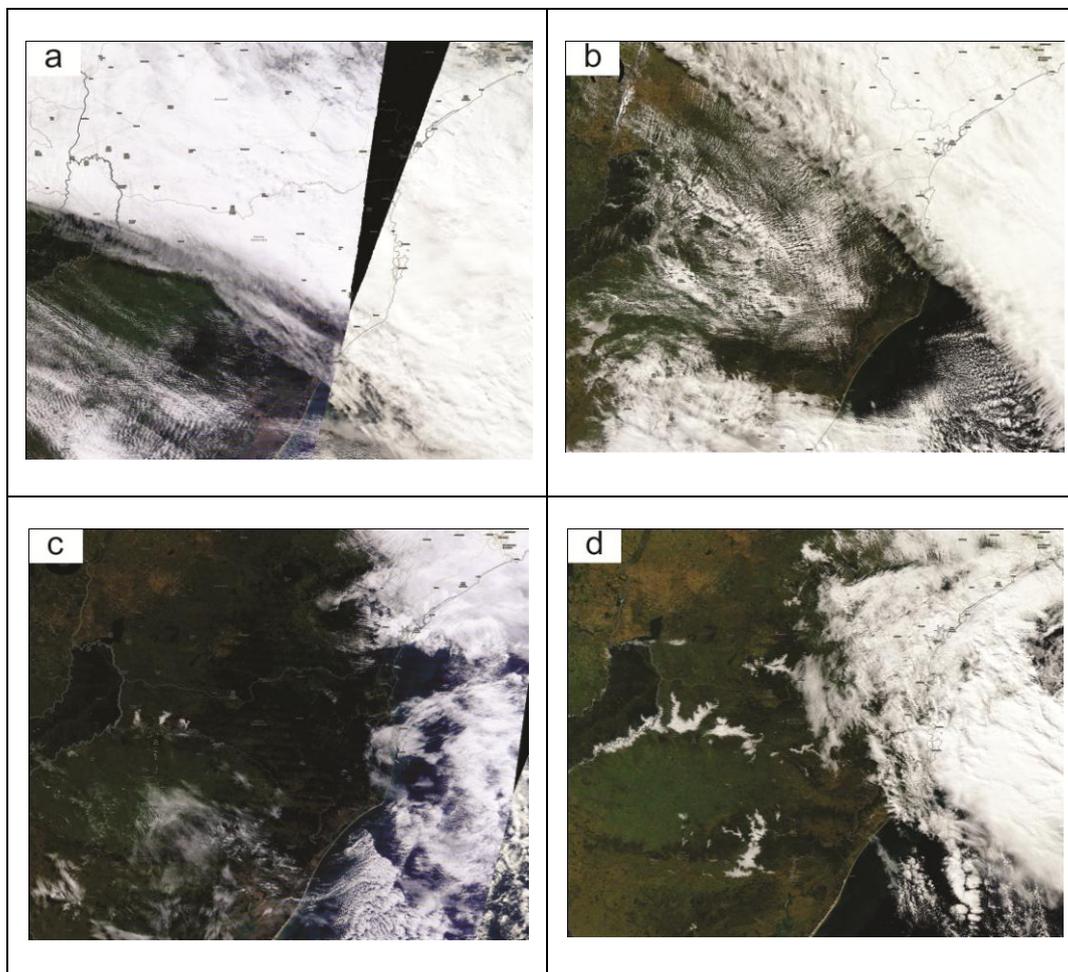


Figura 2 - Imagens de satélite no canal visível para os dias (a) 22, (b) 23, (c) 24 e (d) 25 de julho. Fonte NASA EOSDIS Worldview (<https://earthdata.nasa.gov/labs/worldview/>).

Análises dos campos atmosféricos de reanálises do NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996) mostram que as massas de ar frio propagaram-se com ventos predominantes de sul - sudoeste (Figura 3) característicos de uma frente fria. Tal afirmação pode ser confirmada pelas análises

do perfil vertical realizadas por radiossondas lançadas em Florianópolis nos quatro dias (Figura 4). Para 22 e 23 a atmosfera apresenta um perfil mais instável com ventos soprando de sul e sudeste, com as temperaturas do ponto de orvalho e ambiente estão próximas, indicando a ocorrência de precipitação principalmente no dia 23 que pode estar relacionado com a queda de neve sobre parte da grande Florianópolis. Para o dia 24 temos um perfil mais estável onde temos o estabelecimento de uma massa de ar mais estável e para o dia 25 a atmosfera fica instável para a área litorânea devido ao vento úmido de nordeste vindo do oceano, sendo condizente com as condições exibidas nas imagens de satélite.

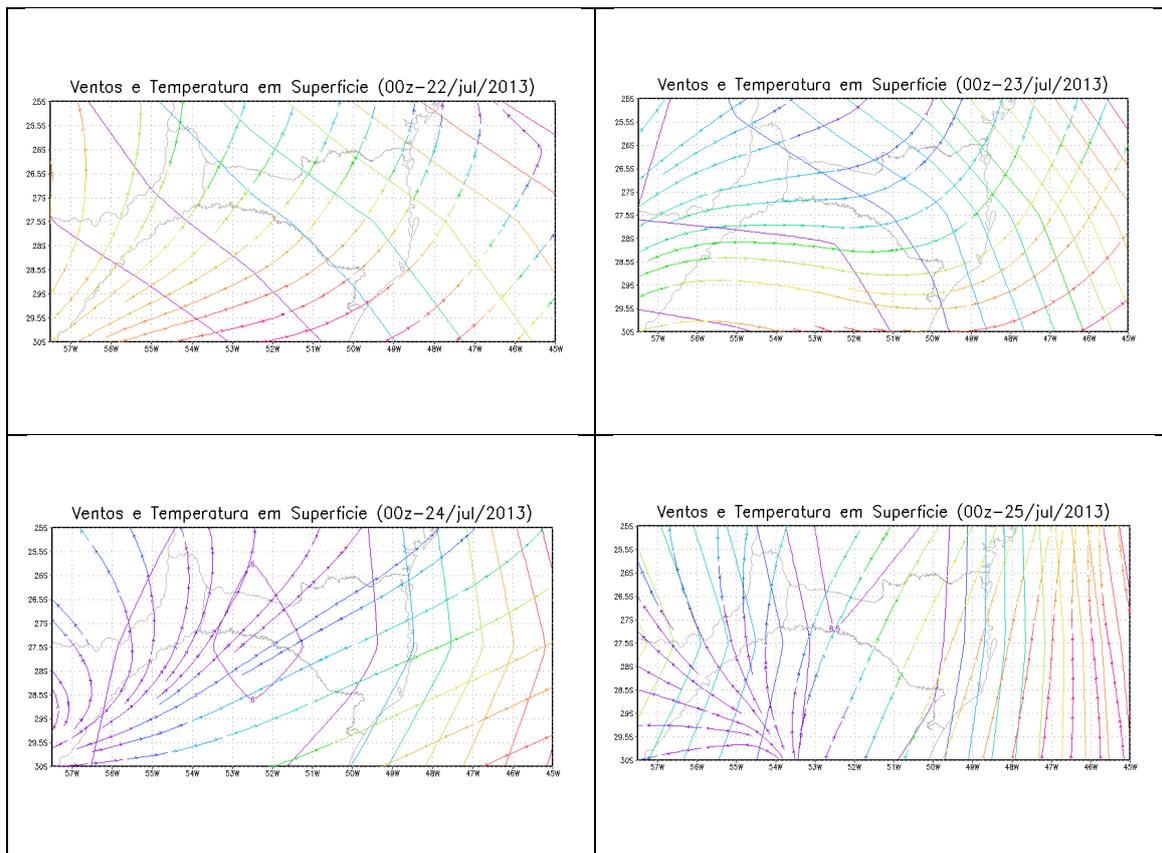


Figura 3 - Temperatura (isolinhas coloridas) e vento (vetores) em 1000 hPa.

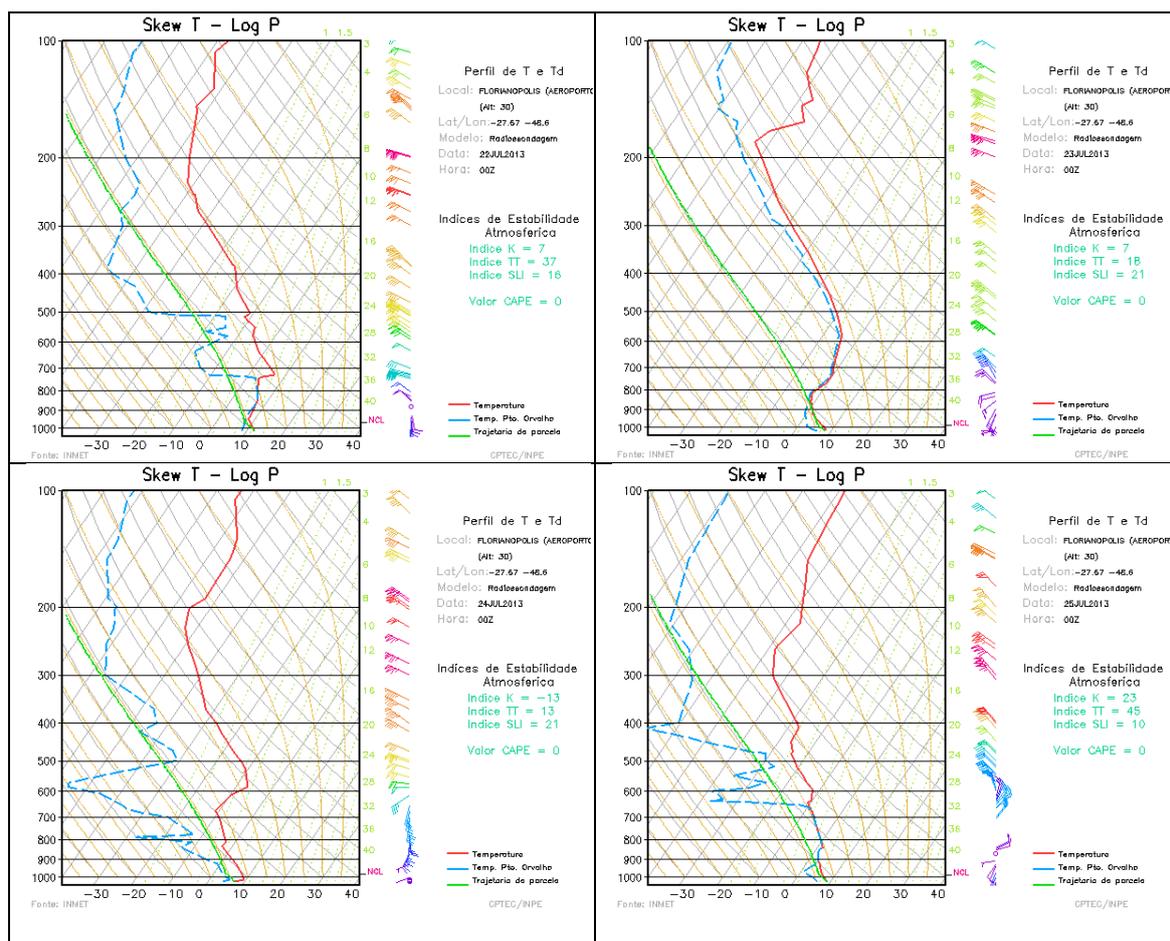


Figura 4 - Radiossondagens realizadas entre 22 e 25 de julho as 00z no Aeroporto Hercílio Luz em Florianópolis (Fonte: <http://bancodedados.cptec.inpe.br/>)

2.2 Descrição do modelo

O modelo de mesoescala escolhido para este estudo de caso foi O WRF ao qual possui várias aplicações tanto para estudos científicos como para previsão numérica de tempo.

De acordo com Michalakes et al. (2004), o sistema do modelo ilustrado pela Figura 5 é constituído pelo próprio WRF, pré-processadores para o processamento de bordas iniciais e laterais para previsões de casos reais e idealizados, pós-processadores para análise e visualização dos resultados, e um programa assimilador de dados variável em três dimensões (3DVAR). Com exceção apenas do programa de Inicialização (SI), todos os pré-processadores e o 3DVAR são programas que usam computação paralela implementados utilizando a Estrutura de Software Avançada do próprio WRF (ASF). O modelo WRF contém núcleos dinâmicos, que fornecem flexibilidade adicional para instruções e aplicações. O sistema Avançado de Pesquisa para o WRF (ARW) desenvolvido pelo Centro Nacional para Pesquisas Atmosféricas (NCAR), utiliza o método de Runge-Kutta para integrar uma formulação conservativa das equações não-hidrostáticas.

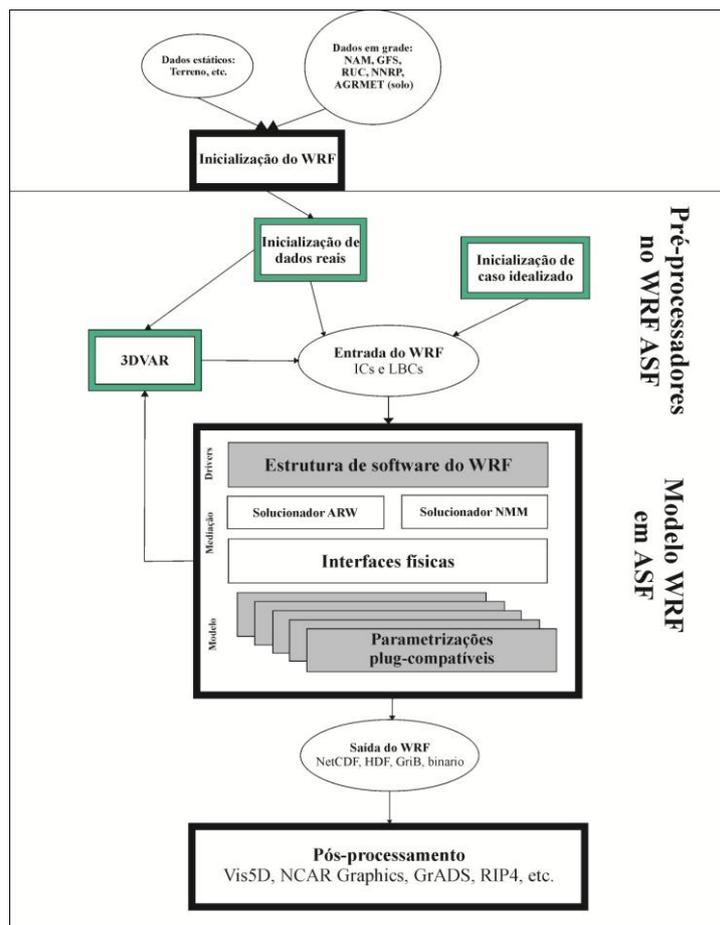


Figura 5 - Representação esquemática do sistema WRF

O modelo disponibiliza um grande acervo de parametrizações físicas. Estas parametrizações relacionam os processos de sub-grades com as variáveis prognósticas envolvidas nas equações que regem os processos dinâmicos da atmosfera. Estas equações servem para estimativas do efeito de um processo físico de sub-grade sobre variáveis resolvidas pelo modelo dinâmico em intervalos de tempo regulares (Ferreira, 2007).

A parametrização Cumulus (Kain., 2004) representa o desenvolvimento de nuvens e quais as possíveis propriedades que elas possuem com base nos índices de instabilidade disponíveis, já a Microfísica de nuvens (MP) descreve a formação de nuvens e chuva (Hong et al., 2004). Para resolução de trocas turbulentas ao longo de toda a coluna vertical (Hong et al., 2006) utiliza-se a parametrização de Camada Limite Planetária (PBL), a Camada Superficial (SL) representa as trocas de calor, umidade e momento juntos na camada de atrito próxima ao solo (Beljaars., 1994), enquanto a Superfície Terrestre (LS) representa as trocas de calor e água abaixo da superfície do solo (Tewari., 2004), e por ultimo, as parametrizações de radiação de Onda Longa (LW) e Onda Curta (SW) resolvem as trocas radiativas de radiação (Mlawer et al., 1997; Dudhia., 1989).

2.3 Descrição do experimento numérico

Foram realizados dois experimentos com o modelo WRF com configurações espaciais diferentes. Para ambas simulações foram utilizadas as mesmas parametrizações físicas com mudanças apenas na resolução espacial e passo de tempo (Tabela 1).

Parâmetros	Experimento 01	Experimento 02
Resolução espacial (km)	13x13	3x3
Numero de pontos	100x063	330x200
Passo de tempo (s)	60	18
Níveis verticais	50	35

Tabela 1 - Parâmetros de resolução espacial, passo de tempo e níveis verticais

A Tabela 2 apresenta as principais opções de parametrizações físicas usadas nos experimentos numéricos.

Como condição inicial e condições de contorno atmosféricas foram usados os dados do modelo *Global Forecasting System* [GFS] (<http://nomads.ncdc.noaa.gov/>), com integração numérica de 72 horas entre 22 e 25 de Julho.

Com base nos resultados obtidos, foi analisada a capacidade de previsão do modelo em diferentes resoluções espaciais.

Física	Parametrizações físicas	Referências
Parametrização Cumulus	Kain-Fritsch Scheme	Kain., 2004
Radiação de Onda Longa	RRTM Longwave Scheme	Mlawer et al., 1997
Radiação de Onda Curta	Dudhia Shortwave Scheme	Dudhia., 1989
Microfísica	WRF Single-moment 3-class	Hong et al., 2004
Solo Vegetação	Unified Noah land surface model	Niu et al., 2011

Tabela 2 - Parametrizações físicas utilizadas em ambos os experimentos.

3. Resultados

Através dos dados extraídos das simulações realizadas podemos observar o comportamento da atmosfera no intervalo entre os dias em questão. Pela Figura 6, é explícita a queda brusca da temperatura próxima a superfície entre o dia 22 com temperaturas de aproximadamente 14 °C as 00 UTC, até próximo de 0 °C as 00 UTC do dia 23 pela entrada de uma massa de ar polar sobre a região.

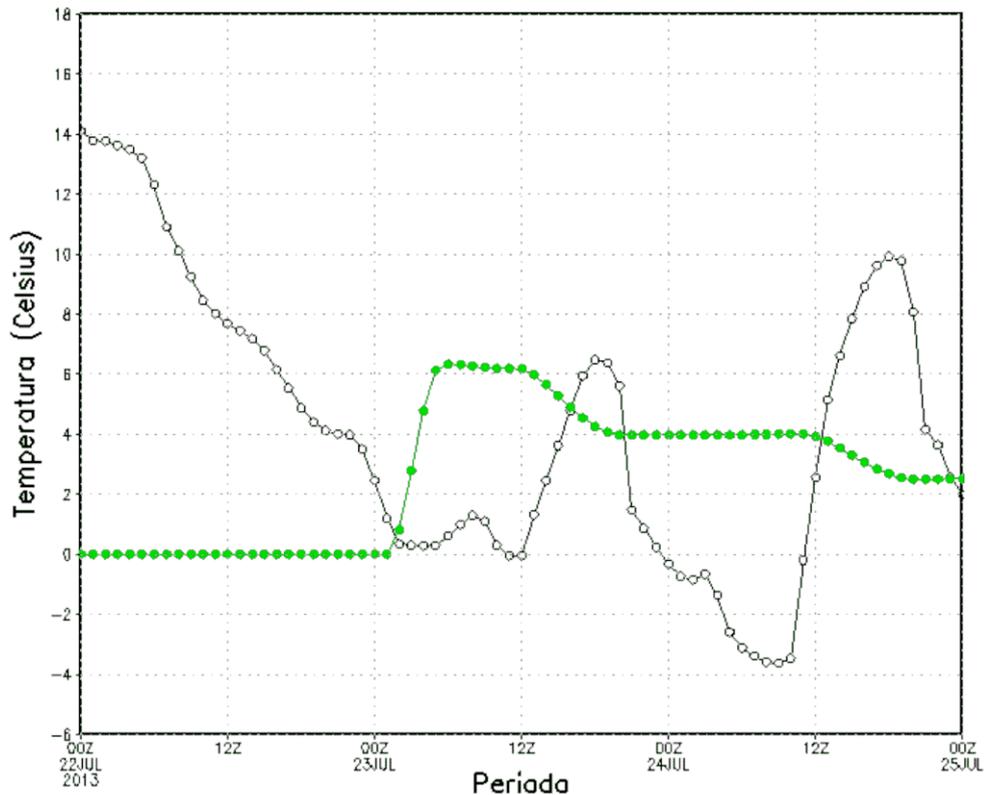


Figura 6 - Série temporal entre temperatura e acumulados de neve entre os dias 22 à 25 de julho para 50° oeste e Longitude 25.5° sul.

Neste mesmo instante temos os primeiros acumulados de precipitação de neve sobre as serras gaúcha e catarinense, sendo o acumulado máximo registrado em poucas horas e mantido até 12 UTC do dia 23. Com o decorrer do dia, temos um leve aquecimento com máxima de 6 °C durante a tarde e novamente uma queda brusca da temperatura no início da noite.

Próximo das 00 UTC do dia 24, as temperaturas atingem novamente os 0°C e os acumulados de neve permanecem constantes, coincidindo com o período em que foi registrada a precipitação de neve sobre o Vale do Itajaí, Planalto Norte e a Grande Florianópolis em Santa Catarina. No decorrer da madrugada do dia 24 as temperaturas caem ainda mais, com mínimas de até -4 °C com neve sendo registrada ainda sobre o Planalto Norte catarinense e também no Sul do Paraná.

A partir das 12 UTC as temperaturas voltam a subir e a frente fria se desloca para o sudeste do Brasil.

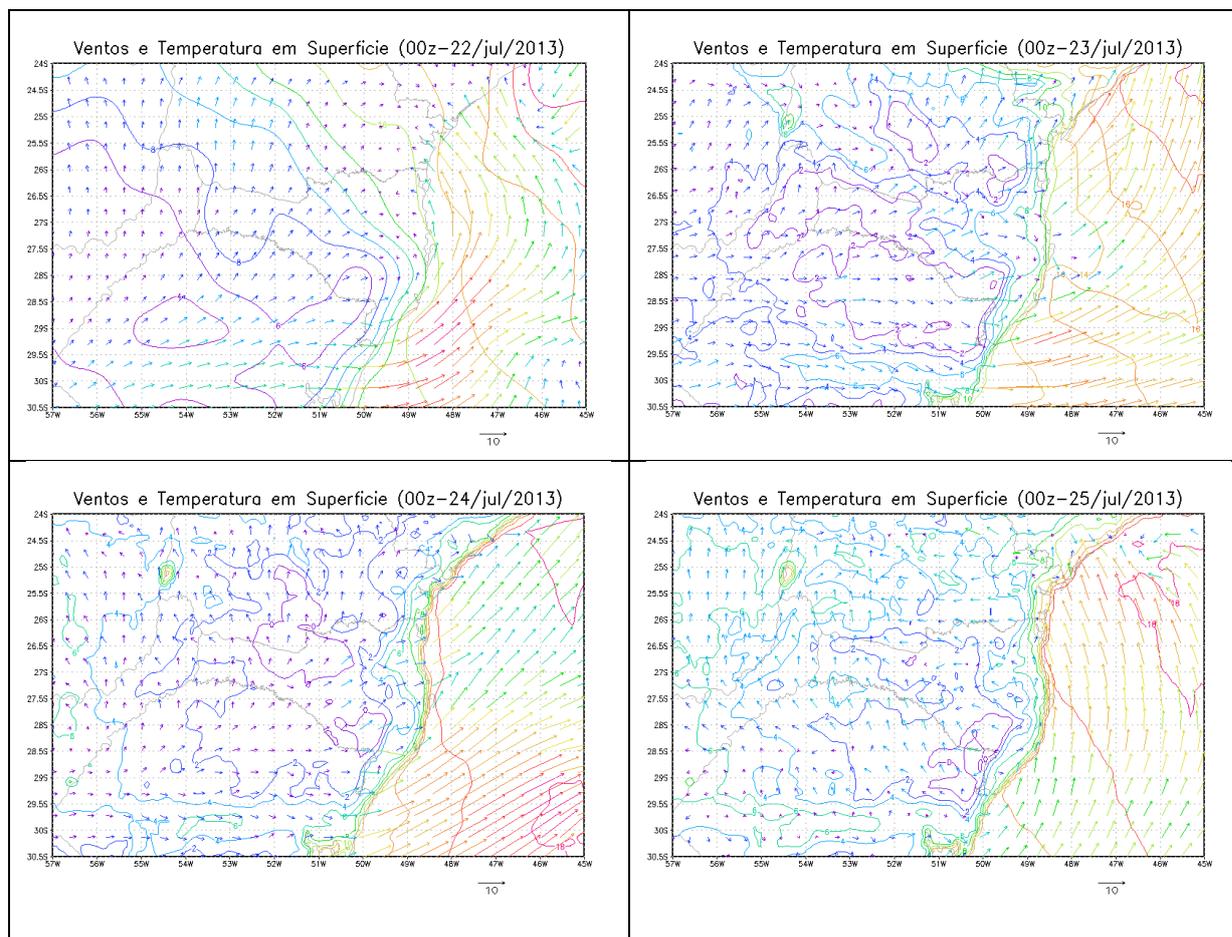


Figura 7 - Temperatura (isolinhas coloridas), magnitude e direção dos ventos (vetores)

Os resultados das simulações de precipitação de neve acumulada foram analisados para ambos os experimentos. A Figura 8 mostra estes resultados para as duas simulações numéricas. Analisando ambas as imagens, é visível que alterações na resolução espacial, passo de tempo e número de níveis verticais afeta não apenas a quantidade de precipitação, mas também a distribuição da mesma sobre a área em questão. No primeiro experimento (Figura 8a), utilizamos uma resolução de 13 km, combinada com um passo de tempo de 60 segundos e 50 níveis verticais. Neste caso a precipitação média foi de 0,23mm e a máxima de 7,85mm, em comparação ao experimento com uma resolução maior (Figura 8b) que produziu uma precipitação máxima de 6,15mm e uma média de 0,20mm. Isto indica que, uma resolução maior induz a uma quantidade de precipitação menor que neste caso, levou a uma diminuição de 15% na precipitação média e de 28% na precipitação máxima.

Além disso, as alterações possuem efeitos sobre a distribuição de precipitação, onde uma resolução menor leva a acúmulos de neve maiores e mais concentrados, enquanto uma resolução

maior leva a acúmulos menores, mas com uma maior distribuição espacial. Embora na simulação de maior resolução o modelo apresente precipitação de neve na região costeira, o mesmo não conseguiu prever o acúmulo observado principalmente no Vale do Itajaí e parte da Grande Florianópolis (Figura 1).

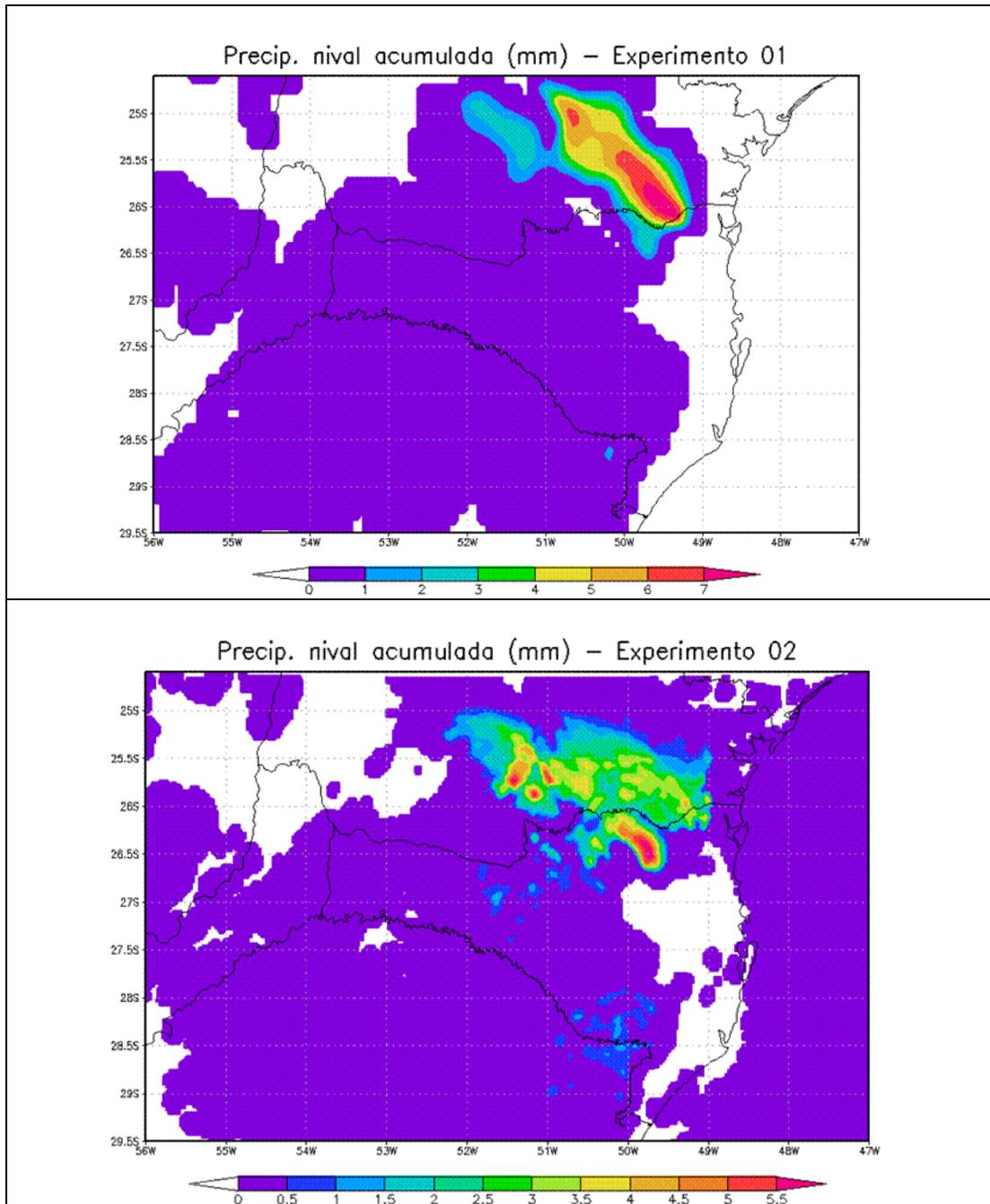


Figura 8 - Precipitação de neve acumulada para os experimentos 01 e 02.

4. Conclusões

Aumentos da resolução espacial resultam em uma maior precisão dos acumulados de precipitação como já se era esperado, sendo que entre os dois experimentos realizados o que possui 3km de resolução, demonstrou resultados mais próximos a realidade com acumulados com distribuição mais heterogênea. Entretanto, o modelo ainda não foi capaz de reproduzir o evento com considerável acurácia, deslocando os maiores acumulados mais para o norte de Santa Catarina e sudeste do Paraná fugindo das condições observadas e, além disso, em ambos os experimentos o modelo apresentou dificuldades ao tentar simular os acumulados de neve principalmente sobre o Vale do Itajaí e parte da grande Florianópolis chegando a valores praticamente nulos sobre essas regiões.

Estudos futuros devem ser realizados através de mudanças nas parametrizações físicas a serem utilizadas para simulação deste evento, analisando os impactos sobre os resultados e sua conformidade com o esperado.

5. REFERÊNCIAS

BELJAARS, A.C.M. The parameterization of surface fluxes in large-scale models under free convection. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **121**, 255-270, 1994.

CHELLIAH M., EBISUZAKI W., HIGGINS W., JANOWIAK J., MO C. K., ROPELEWSKI C., WANG J., LEETMAA A., REYNOLDS R., JENNE ROY, DENNIS JOSEPH. "The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project". *Bulletin of the American Meteorological Society* 77 (3): 437–471, 1996

COMIN, A. N. Sensibilidade as parametrizações físicas do WRF nas previsões dos parâmetros atmosféricos em Shetland do Sul e Deception. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2013.

DUDHIA, J. Numerical study of convection observed during the Winter Monsoon Experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 3077–3107, 1989.

FERREIRA A. P. G. F. Sensibilidade às parametrizações física do WRF nas previsões à superfície em Portugal Continental. Relatório técnico, Universidade de Aveiro, 2007.

FUENTES V. F. Dinâmica e padrões de precipitação de neve no sul do Brasil. Dissertação de Doutorado, IGEO/UFRGS, Porto Alegre-RS, 2009.

HONG, SONG-YOU, DUDHIA J., AND CHEN S. A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 103–120, 2004.

HONG, SONG-YOU, NOH Y., DUDHIA J. A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Mon. Wea. Rev.*, **134**, 2318-2341, 2006.

KAIN, JOHN S. The Kain-Fritsch Convective Parameterization: An Update, *Appl. Meteor.*, **43**, 170-181, 2004.

KALNAY E., KANAMITSU M., KISTLER R., COLLINS W., DEAVEN D., GANDIN L., IREDELL M., SAHA S., WHITE G., WOOLLEN J., ZHU Y., LEETMAA A., REYNOLDS R., CHELLIAH M., EBISUZAKI W., HIGGINS W., JANOWIAK J., MO K. C., ROPELEWSKI C., WANG J., JENNE R., AND JOSEPH D. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-471, 1996.

MICHALAKES, J. et al. The weather research and forecast model software: architecture and performance. Proceedings of the 11th ECMWF Workshop on the Use of High Performance Computing in Meteorology, vol. 25, p. 29, *World Scientific*, 2004.

MLAWER, ELI J., TAUBMAN S. J., BROWN P. D., IACONO M. J., AND CLOUGH S. A., Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *J. Geophys. Res.*, **102**, 16663–16682, 1997.

NIU, GUO-YUE, YANG Z., MITCHELL K. E., CHEN F., EK M. B., BARLAGE M., KUMAR A., MANNING K., NIYOGI D., ROSERO E., TEWARI M., XIA Y. The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 1. Model description and evaluation with local-scale measurements. *J. Geophys. Res.*, **116**, D12109, 2011.

RAMOS DA SILVA R., WERTH D, AVISSAR R. Regional impacts of future land-cover changes on the Amazon Basin wet-season climate. *J Clim* 21(6):1153–1170, 2008.

RAMOS DA SILVA R., GANDU A.W., SÁ L. D. A., SILVA DIAS M. A. F., Cloud streets and land-water interactions in the Amazon. *Biogeochemistry* DOI 10.1005/s10533-011-9580-4. 2011.

TEWARI M., CHEN F., WANG W., DUDHIA J., M. LEMONE A., MITCHELL K., EK M., GAYNO G., WEGIEL J., AND CUENCA R.H. Implementation and verification of the unified NOAH land surface model in the WRF model. *20th conference on weather analysis and forecasting/16th conference on numerical weather prediction*, pp. 11-15, 2004.