



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



**APRIMORAMENTO DO ACOPLAMENTO DA SUPERFÍCIE TERRESTRE-
ATMOSFERA DO MODELO ETA/INPE**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)

Ana Flávia Pedro Lima (FATEC Cruzeiro, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: anaflaviapedrolima@gmail.com

Jorge Luís Gomes (CPT/DMD/INPE, Orientador)

E-mail: jorge.gomes@cptec.inpe.br

Daniela Carneiro Rodrigues (CCST/INPE, Co-orientadora)

E-mail: daniela.rodrigues@inpe.br

Cachoeira Paulista, SP

Julho de 2019

Sumário

1. Introdução	5
1.1 Objetivos	6
2. Fundamentação Teórica	7
3. Materiais e Métodos Utilizados	7
3.1 Coleta de Dados	7
3.2 Estações Meteorológicas Automáticas	8
3.3 Métodos de Análise	8
3.4.1 Linguagem R e o Software RStudio	9
3.4.2 Software GrADS	9
4. Análise de Dados e Estatística	9
4.1 Testes de Superfície	9
4.2 Teste de Resolução	12
4.3 Testes de Física	13
4.5 Análise Estatística	18
Resultados Parciais	20
Referências	20

Lista de Figuras

Figura 1- Evolução temporal das variáveis no teste de superfície.	10
Figura 2- Evolução temporal das variáveis no teste de superfície.	11
Figura 3-Evolução temporal das variáveis no teste de resolução.....	12
Figura 4- Evolução temporal das variáveis no teste de física com Vsnow 0.9.	13
Figura 5- Evolução temporal das variáveis no teste de física com Vsnow 1.5.	14
Figura 6- Evolução temporal das variáveis no teste de física com BMJ.....	15
Figura 7- Evolução temporal das variáveis no teste de física com RHgrd.....	16
Figura 8- Evolução temporal das variáveis no teste de física com as simulações New e Old.	17
Figura 9- Diagrama de Taylor das simulações New e Old.....	19

Lista de Tabelas

Tabela 1- Descrição das variáveis meteorológicas.....	8
Tabela 2- Análise objetiva da simulação New.	19
Tabela 3- Análise objetiva da simulação Old.....	19

Resumo

Este trabalho de Iniciação Científica, tem como objetivo analisar as integrações das interações superfície terrestre-atmosfera do modelo Eta em alta resolução (1 km) em função das atualizações dos mapas de textura do solo e de vegetação. A análise dessas interações por meio das simulações de alta resolução é fundamental não apenas para avançar no desenvolvimento das parametrizações de processos explícitos em escalas que os parâmetros necessitam de reajustes, mas também para melhorar o entendimento dos processos de feedbacks no sistema solo-vegetação atmosfera, além disso, conhecer o erro sistemático do modelo nas simulações com diferentes configurações pode ser útil para os previsores.

O novo mapa de textura do solo é proveniente do STATSGO/FAO e apresenta maior resolução espacial (~ 1 km) em relação ao mapa original (Doyle et al., 2013). O mapa atualizado de vegetação foi obtido do levantamento mais recente do IBGE (IBGE, 2014), sendo mais realístico em relação ao mapa original do modelo que foi inserido por Sestine et al. (2002). As saídas do modelo foram obtidas com estas configurações para as simulações do modelo Eta com resolução de 1 km integrado durante 72 horas entre as 1200 UTC do dia 12 e 1200 UTC do dia 15 de fevereiro de 2013.

Testes de sensibilidade e análises estatísticas foram realizados com algumas estações do estado de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Nos testes de superfície, foram feitas alterações nos parâmetros de vegetação e tipo de solo, nos testes de resolução, o 1 km (referenciado como controle) foi comparado com a resolução de 5 km, e nos testes de física, foram feitas alterações nos esquemas de microfísica de nuvens e convecção cúmulos.

Por fim, foram realizadas as análises de todos os experimentos juntos, chamada de New em relação à versão controle (antiga) do modelo Eta, chamada de Old, onde cada experimento foi comparado com o experimento controle a fim de identificar o papel de cada elemento como um indicador de impactos na destreza das simulações. Em geral as interações com os novos mapas mostraram melhorias nas simulações do modelo Eta em alta resolução (1 km), diminuindo o desvio padrão das variáveis de superfície com valores de 3,34 a 3,11 e bias de -2.86 a -1.71 para New. Possibilitando assim a realização de simulações de altíssima resolução com maior acurácia, o que pode beneficiar as previsões de tempo e clima.

1. Introdução

Apesar dos contínuos avanços na área de modelagem atmosférica, os meteorologistas, em geral, concordam sobre a dificuldade em ajustar os erros da previsão do tempo, tanto nos modelos globais quanto nos regionais.

De acordo com Wulfmeyer et al. (2008), tais erros são comumente encontrados em

modelos de mesoescala de previsão de tempo e clima, que requerem parametrização de convecção. No caso da análise de dados atmosféricos, existem muitos dados determinísticos e métodos probabilísticos (DALEY, 1991; TODLING, 1997). Métodos determinísticos incluem Relaxamento Dinâmico, que pressupõe que o modelo de previsão seja perfeito, e Transformação de Laplace, enquanto métodos probabilísticos incluem Interpolação, Métodos Variacionais Estatísticos e Filtragem de Kalman.

Nas etapas para a previsão de tempo, são trabalhados uma grande quantidade de dados, exigindo o desenvolvimento e aplicação de sistemas de alto processamento. E este processo necessita de meios para compressão dos dados através de recursos computacionais e estatísticos, bem como métodos de visualização, os quais incluem análise de dados.

O processo de análise de dados pode ser descrito como um procedimento que utiliza dados observacionais para melhorar a previsão do primeiro palpite fornecida por um modelo matemático impreciso (NOWOSAD, et al 2004). Vários métodos de análise de dados foram desenvolvidos para problemas de qualidade do ar (ZANNETTI, 1990), simulação numérica oceânica (BENNET, 1992), previsão numérica do tempo (DALEY, 1991). Erros sistemáticos associados a modelagem numérica de precipitação também foram encontrados por Wulfmeyer et al. (2008) e por Schwitalla et al. (2008) na região montanhosa do sudoeste da Alemanha.

Diante do exposto, a motivação para este estudo é analisar o papel dos processos de interação superfície terrestre-atmosfera no desenvolvimento de convecção úmida na região Sudeste do Brasil por meio de simulações numéricas de altíssima resolução espacial (1 km). Considera-se que um melhor entendimento dos processos de acoplamento solo-vegetação-atmosfera possa beneficiar a descrição de tais processos no modelo numérico e, potencialmente, levar a uma melhor simulação das variáveis atmosféricas e da precipitação convectiva.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo avaliar as simulações dos processos de interação superfície-atmosfera do modelo Eta, com altíssima resolução (1 km), bem como essas interações impactam no desenvolvimento das nuvens e convecção úmida. Para isso os objetivos específicos foram:

- Extração e manipulação dos dados observados;
- Execução das rodadas com o modelo Eta;
- Avaliação das saídas do modelo. Uso dos dados observacionais pontuais e espaciais para avaliação dos campos simulados;
- Realizar testes de sensibilidade com parâmetros do modelo;

2. Fundamentação Teórica

Mesmo que a qualidade da previsão numérica dos modelos operacionais tenha aumentado nas últimas décadas (BONNER, 1989). A capacidade dos modelos de Previsão Numérica de Tempo (PNT) em simular corretamente a quantidade de precipitação com certa resolução espacial e temporal tem sido objetivo de vários estudos (McBRIDD; EBERT, 2000; EBERT et al., 2003).

Rodrigues (2014), apontou que tem sido frequentemente observado que o modelo apresenta deficiência em simular chuvas intensas no topo das montanhas. E acrescentou que a baixa destreza das previsões de precipitação intensa aliada à grande importância da acurácia desta informação para a sociedade justifica a busca por melhorias na qualidade de previsão da precipitação sobre as regiões de topografia complexa do sudeste brasileiro.

Em geral, são utilizados diversos modelos para poder avaliar a variabilidade entre modelos do sistema terrestre e, assim, conhecer e interpretar todos os possíveis cenários, levando em conta a dispersão entre os resultados dos modelos. Dessa maneira, é possível quantificar a incerteza das projeções considerando não só um, mas vários cenários de vários modelos (SAMPAIO e DIAS 2014).

Diante da escassez de observações, o impacto das mudanças no estado da superfície terrestre no tempo e no clima tem sido investigado em estudos de sensibilidade utilizando modelos numéricos, nos quais alguns parâmetros da superfície terrestre ou de interações entre a superfície e a atmosfera são alterados no modelo e a resposta da atmosfera é determinada por meio da comparação das simulações dos experimentos com a simulação controle (inalterada) utilizando o mesmo modelo. As mudanças podem ser feitas nos estados da superfície terrestre, como a umidade do solo (KOSTER et al., 2006), mapa de textura do solo (DY; FUNG, 2016), mapa de vegetação (AMENT; SIMMER, 2006), nas propriedades da superfície ou nos fluxos que conectam superfície-atmosfera (KOSTER et al., 2006; ZHENG et al., 2015).

Tais mudanças podem afetar as condições atmosféricas próximas à superfície e as propriedades da camada limite, como flutuabilidade e convecção e, portanto, podem impactar na probabilidade de formação de nuvem e precipitação. No entanto, em cada caso, o impacto da mudança isolada é específico de determinado modelo (TAWFIK et al., 2015). Análises como estudos de caso devem ser realizados com diferentes modelos e resoluções, condições climáticas, coberturas de terra e em diversas escalas de tempo.

3. Materiais e Métodos Utilizados

3.1 Coleta de Dados

Neste trabalho, serão utilizados dados de algumas Estações dos Estados do Rio de

Janeiro, São Paulo e Minas Gerais entre o período de 1200 UTC do dia 12 e 1200 UTC do dia 15 de fevereiro de 2013.

Os dados do modelo Eta foram processados e coletados do supercomputador localizado no CPTEC/INPE conhecido como Tupã. Já os dados observados foram coletados de EMA's- Estações Meteorológicas Automáticas do INMET, disponibilizados pelo Banco de Dados do CPTEC.

3.2 Estações Meteorológicas Automáticas

Uma estação meteorológica automática (EMA) coleta, de minuto a minuto, as informações meteorológicas (temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos, radiação solar) representativas da área em que está localizada. A cada hora, estes dados são integralizados e disponibilizados para serem transmitidos, via satélite ou telefonia celular, para a sede do INMET, em Brasília. O conjunto dos dados recebidos é validado, através de um controle de qualidade e armazenado em um banco de dados. A Tabela 1 mostra as variáveis da superfície utilizadas neste estudo.

Tabela 1- Descrição das variáveis meteorológicas.

Variáveis	Descrição
est	"ID da estação"
lat	"Latitude"
lon	"Longitude"
nome	"Cidade"
uf	"Estado"
data_obs	"Data/Hora da observação"
f	"Velocidade do vento (m/s)"
t	"Temperatura do ar (C)"
tn	"Temperatura mínima (C)"
tx	"Temperatura máxima (C)"
ur	"Umidade relativa do ar (%)"
r	"Precipitação acumulada (mm)"

Fonte: Banco de dados do CPTEC/INPE, adaptada.

3.3 Métodos de Análise

Para analisar os dados, foram realizadas interpolações dos dados observados com os dados dos experimentos pelo período da análise e cálculos estatísticos como: Diagrama de

Taylor, BIAS, Desvio Padrão, RMSE e MAE.

3.4 Linguagens e bibliotecas utilizadas

3.4.1 Linguagem R e o Software RStudio

A linguagem R é usada para gerar gráficos e cálculos estatísticos e o RStudio é um software livre de ambiente de desenvolvimento integrado para R. Nesse ambiente, serão feitos o tratamento dos dados da saída do modelo e das estações do INMET, scripts para interpolação das simulações das variáveis da atmosfera pelo tempo, gerando plots para análise das simulações do modelo Eta com os dados das EMA's.

3.4.2 Software GrADS

O software GrADS, Grid Analysis and Display System é uma ferramenta de área de trabalho interativa que é usada para fácil acesso, manipulação e visualização de dados de ciências da terra, também usado para leitura dos dados meteorológicos.

O GrADS usa um ambiente de dados de 4 dimensões: longitude, latitude, nível vertical e tempo. Os conjuntos de dados são colocados dentro do espaço 4-D pelo uso de um arquivo descritor de dados. O GrADS interpreta os dados da estação, bem como os dados em grade. Neste ambiente serão lidos os dados das simulações do modelo Eta.

4. Análise de Dados e Estatística

Neste capítulo será mostrado os testes de sensibilidade e resultados obtidos na análise estatística, realizada com os dados da estação 86910 de São Paulo. Os testes de sensibilidade com os esquemas de produção de chuva têm como objetivo: identificar parâmetros capazes de melhorar a localização e a intensidade de precipitação simulada explicitamente pelo modelo na resolução de 1 km.

4.1 Testes de Superfície

Nos testes de superfície, foram realizados dois experimentos, a simulação chamada Solo FAO e a simulação chamada Vegetação, as quais foram comparadas a simulação de 1 km (versão controle) em relação ao observado. A Figura 1 e 2 mostram a evolução temporal das variáveis da superfície pelo período da análise dos experimentos, respectivamente.

Solo FAO

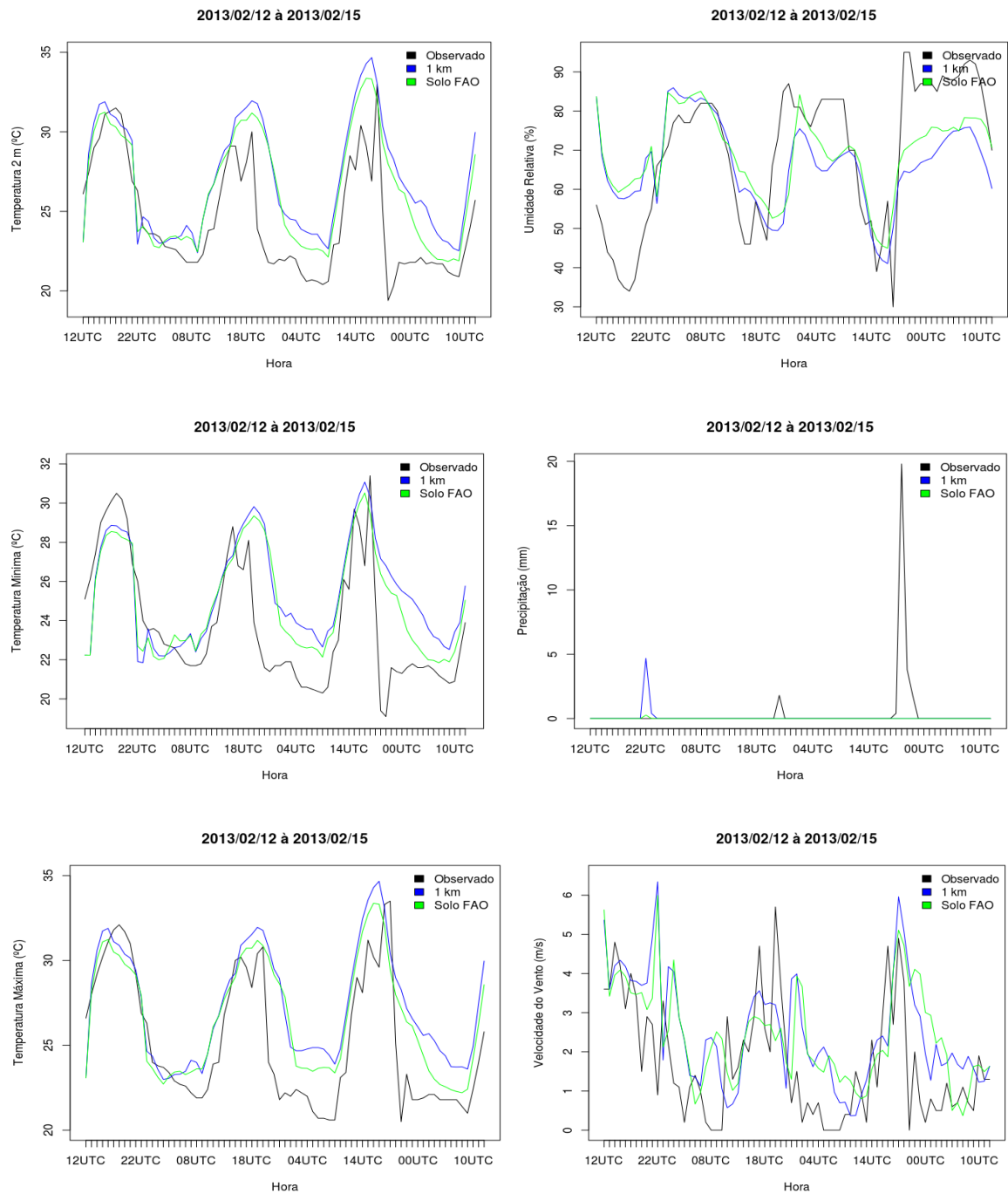


Figura 1- Evolução temporal das variáveis no teste de superfície.

Entre 1200 UTC de 12 e 1200 UTC de 15 de fevereiro de 2013 para o ponto de latitude - 23.49° e longitude -46.62°. Onde a linha preta representa a observação, a linha azul a simulação de 1 km e a linha verde a simulação com o mapa de textura do solo da FAO. De acordo com as Figuras 1, a simulação que mais se aproxima da observação é a Solo FAO.

Vegetação

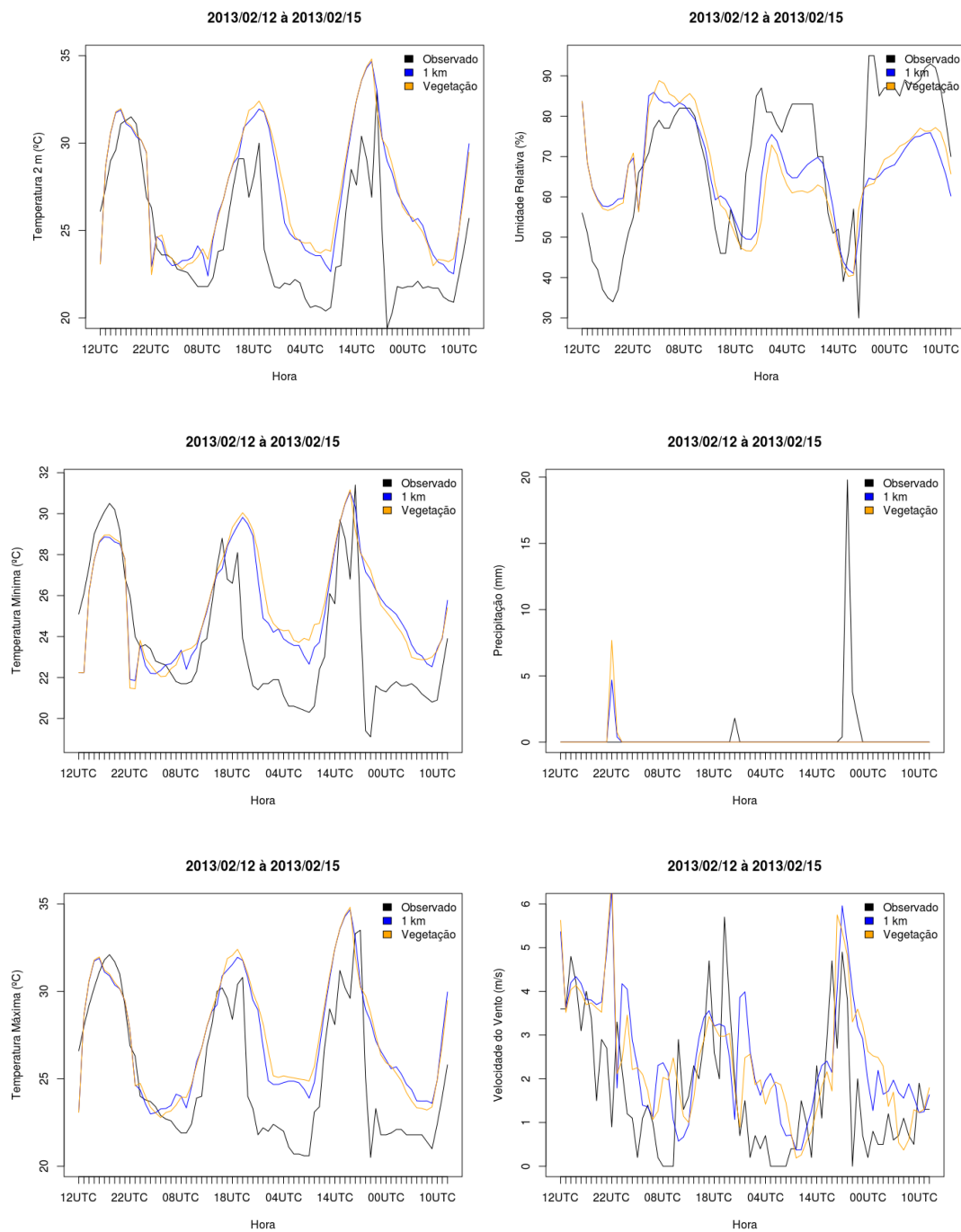


Figura 2- Evolução temporal das variáveis no teste de superfície.

Entre 1200 UTC de 12 e 1200 UTC de 15 de fevereiro de 2013 para o ponto de latitude - 23.49° e longitude -46.62°. Onde a linha preta representa a observação, a linha azul a simulação de 1 km e a linha amarela a simulação Vegetação. De acordo com a Figura 2, as simulações apresentaram pouca diferença, mas a que diferenciou foi a 1 km.

4.2 Teste de Resolução

No teste de resolução, a simulação chamada 5 km, foi comparado à simulação de 1 km (versão controle) em relação ao observado. A Figura 3 mostra a evolução temporal das variáveis da superfície pelo período da análise.

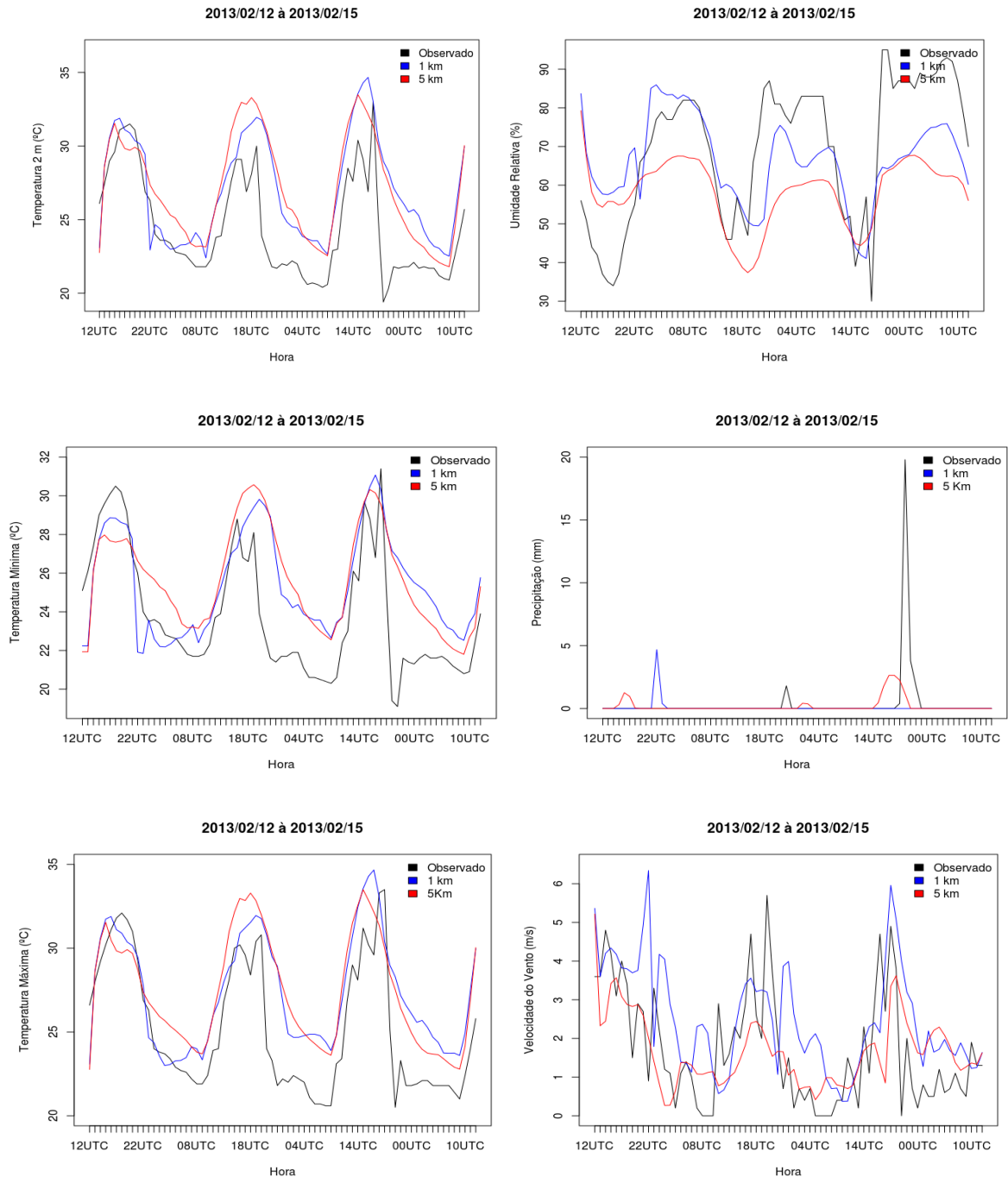


Figura 3-Evolução temporal das variáveis no teste de resolução.

Entre 1200 UTC de 12 e 1200 UTC de 15 de fevereiro de 2013 para o ponto de latitude -23.49° e longitude -46.62° . Onde a linha preta representa a observação, a linha azul a simulação de 1 km, a linha vermelha a simulação de 5 km. De acordo com a Figura 3, a simulação de 1 km foi melhor reproduzida que a de 5 km, em relação ao observado.

4.3 Testes de Física

No teste de física foram realizados dois experimentos V_{snow} e um experimento com BMJ, os quais foram comparados à simulação de 1 km (versão controle) em relação ao observado. A Figura 4 mostra a evolução temporal das variáveis da superfície pelo período da análise.

V_{snow}- Velocidade terminal do cristal de gelo no esquema de microfísica

V_{snow} 0.9

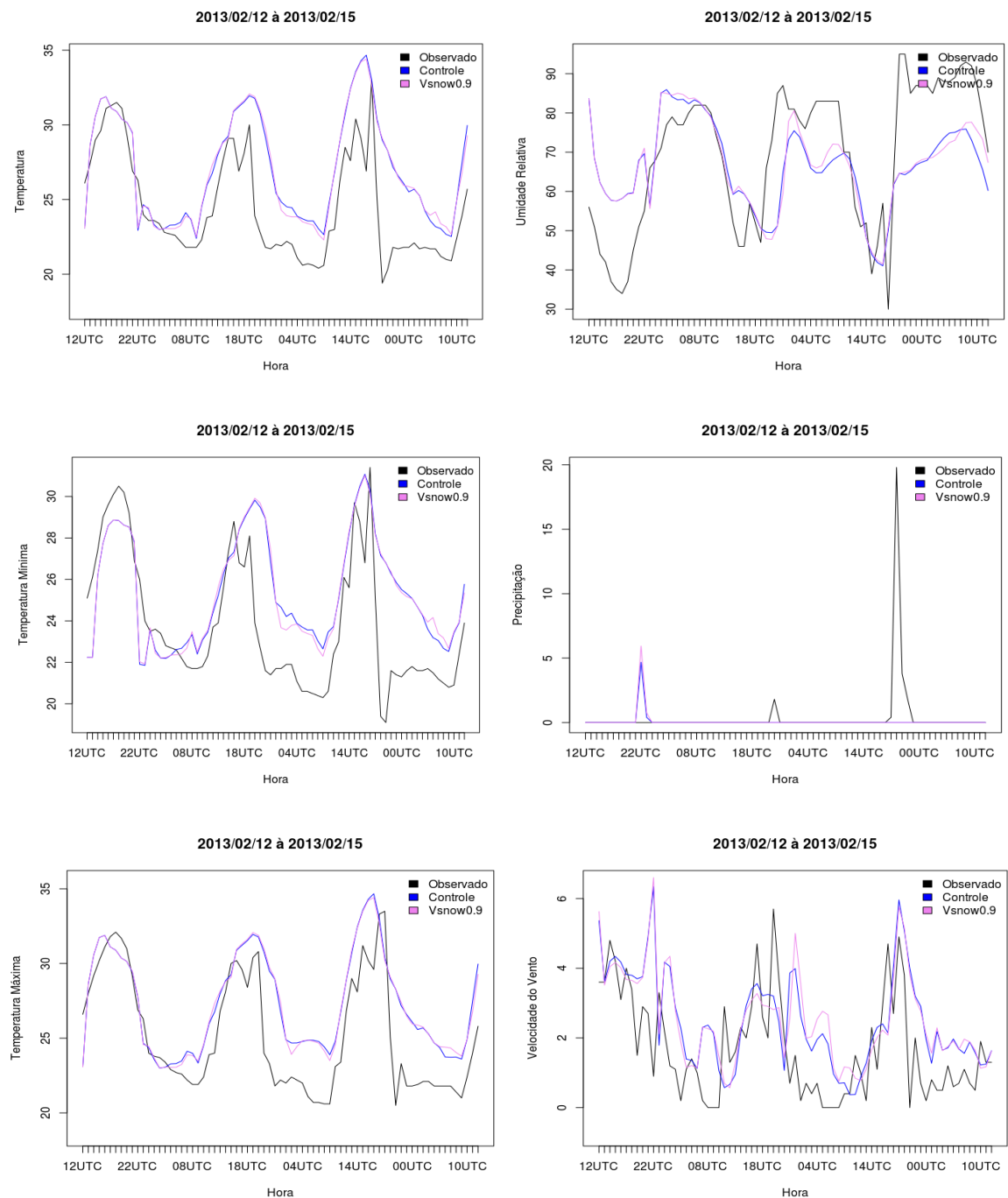


Figura 4- Evolução temporal das variáveis no teste de física com V_{snow} 0.9.

Vsnow 1.5

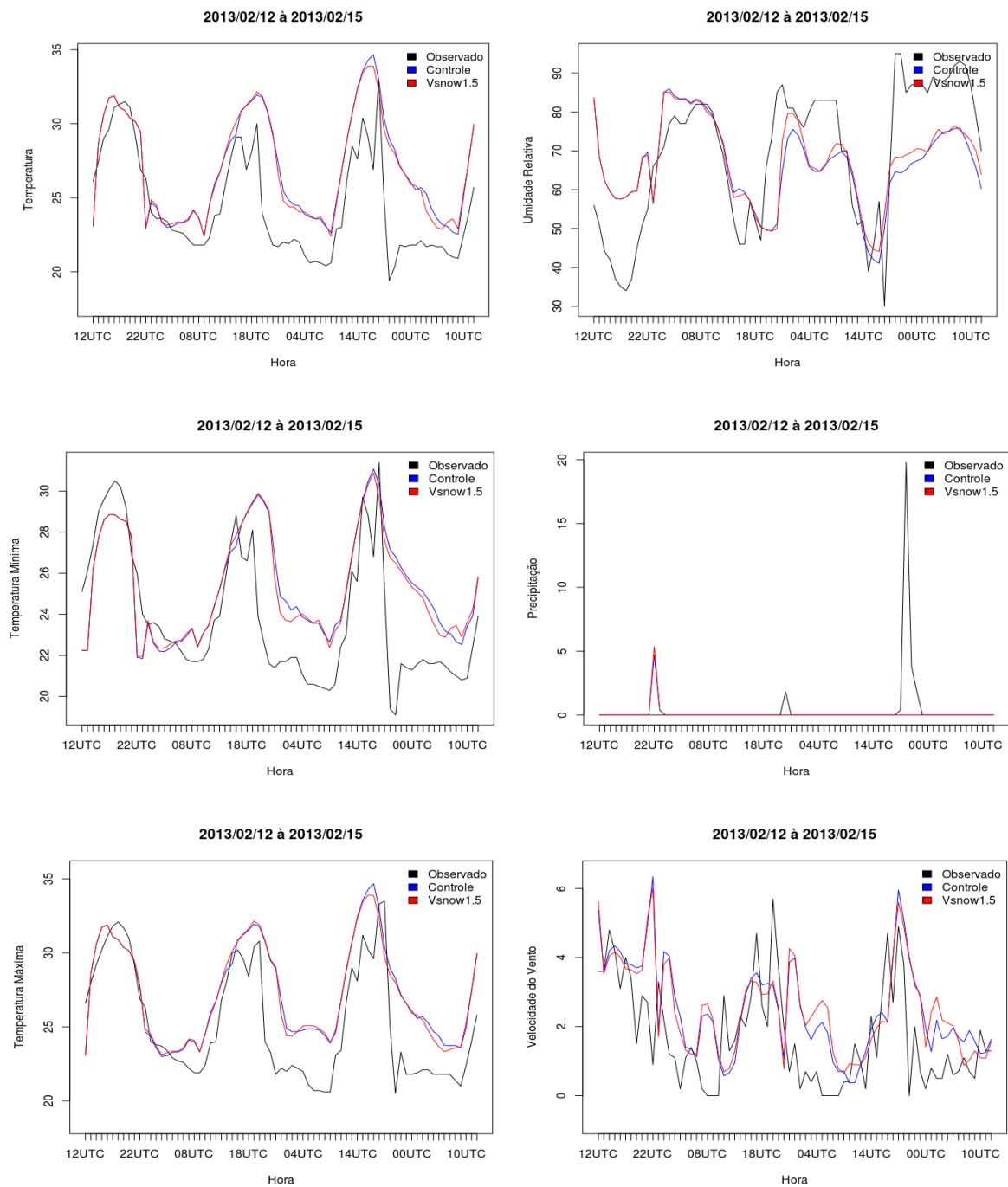


Figura 5- Evolução temporal das variáveis no teste de física com Vsnow 1.5.

Entre 1200 UTC de 12 e 1200 UTC de 15 de fevereiro de 2013 para o ponto de latitude -23.49° e longitude -46.62° . Onde a linha preta representa a observação, a linha azul a simulação de 1 km e a linha rosa a simulação de velocidade terminal do cristal de gelo no esquema de microfísica. De acordo com a Figura 4 e 5, as simulações mantiveram o padrão, entretanto a Vsnow mostrou maior sensibilidade se comparada ao Observado.

BMJ- Esquema de convecção cumulus de Betts Miller Janjic

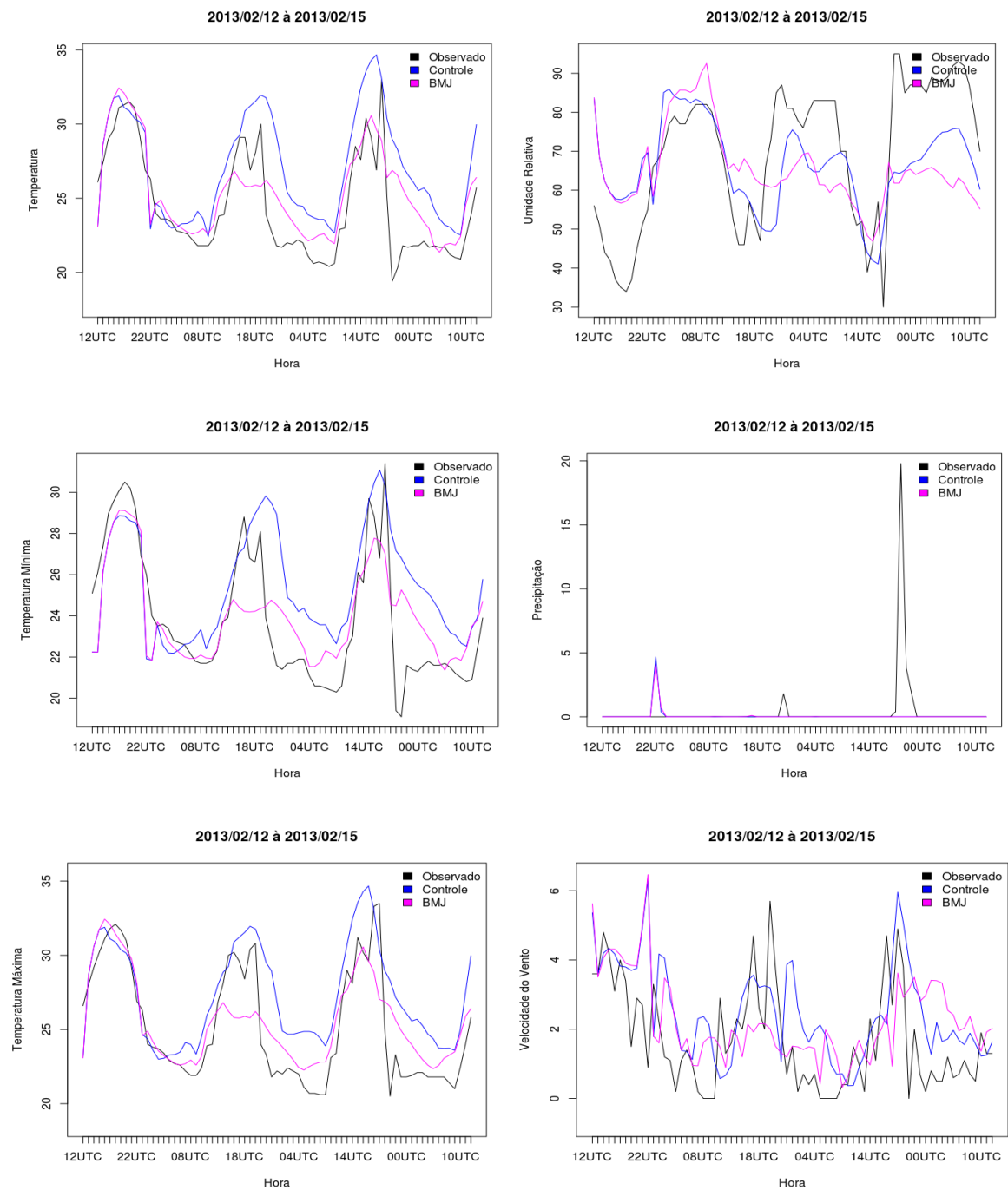


Figura 6- Evolução temporal das variáveis no teste de física com BMJ.

Entre 1200 UTC de 12 e 1200 UTC de 15 de fevereiro de 2013 para o ponto de latitude -23.49° e longitude -46.62° . Onde a linha preta representa a observação, a linha azul a simulação de 1 km (Controle) e a linha rosa esquema de convecção cumulus de Betts Miller Janjic. De acordo com a Figura 6, a simulação de BMJ não apresentou boa variabilidade na sensibilidade do modelo, a simulação controle foi a que melhor representou o observado.

Rhgrd- Limiar de saturação do ponto de grade

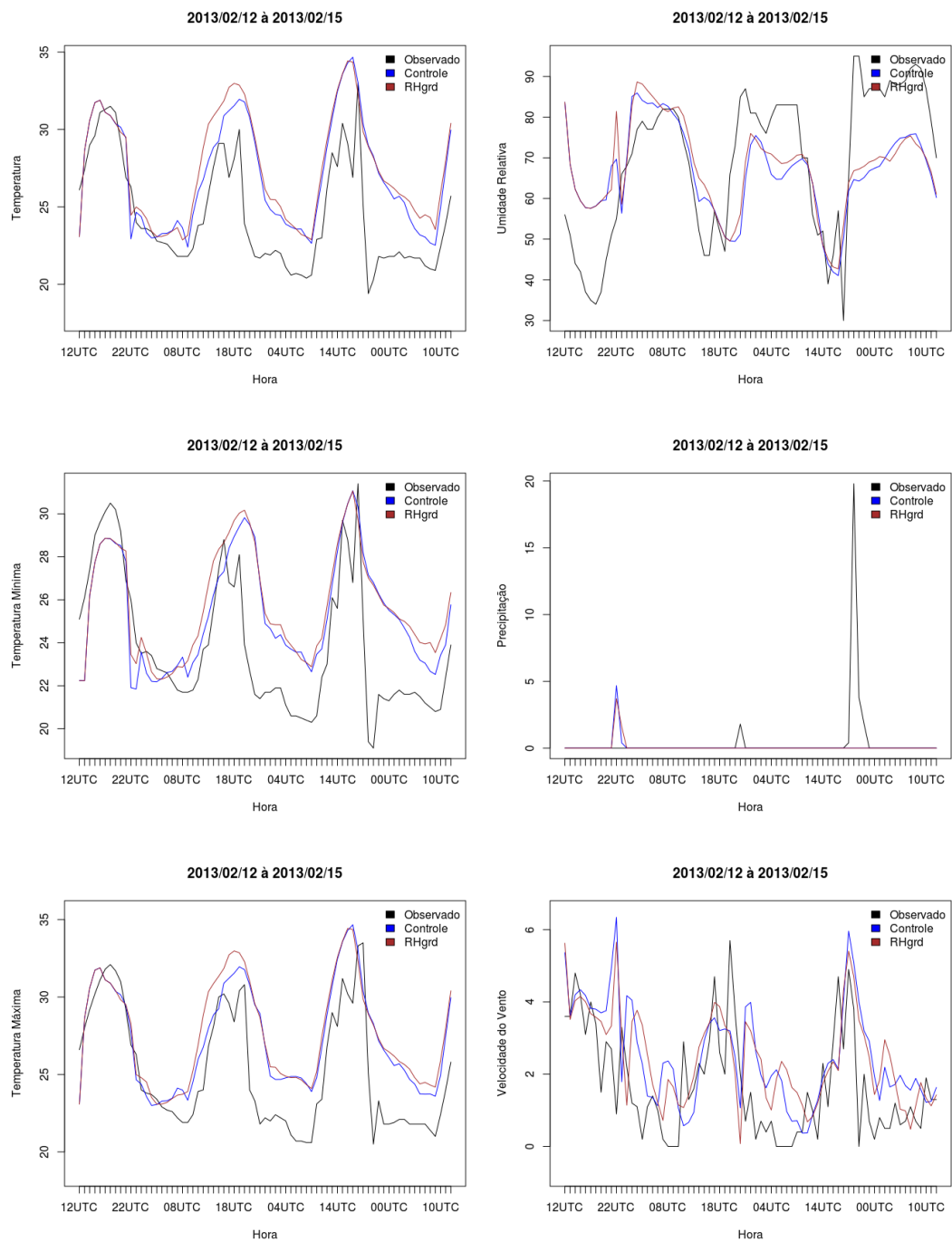


Figura 7- Evolução temporal das variáveis no teste de física com RHgrd.

Entre 1200 UTC de 12 e 1200 UTC de 15 de fevereiro de 2013 para o ponto de latitude -23.49° e longitude -46.62° . Onde a linha preta representa a observação, a linha azul a simulação de 1 km (Controle) e a linha marrom a simulação de RHgrd. De acordo com a Figura 7, a simulação controle foi a que apresentou melhor variabilidade na sensibilidade do modelo.

4.4 New e Old

A simulação New representa as análises de todos os experimentos realizados com alta resolução (1 km) juntos, em relação à versão controle (antiga) do modelo Eta, chamada de Old.

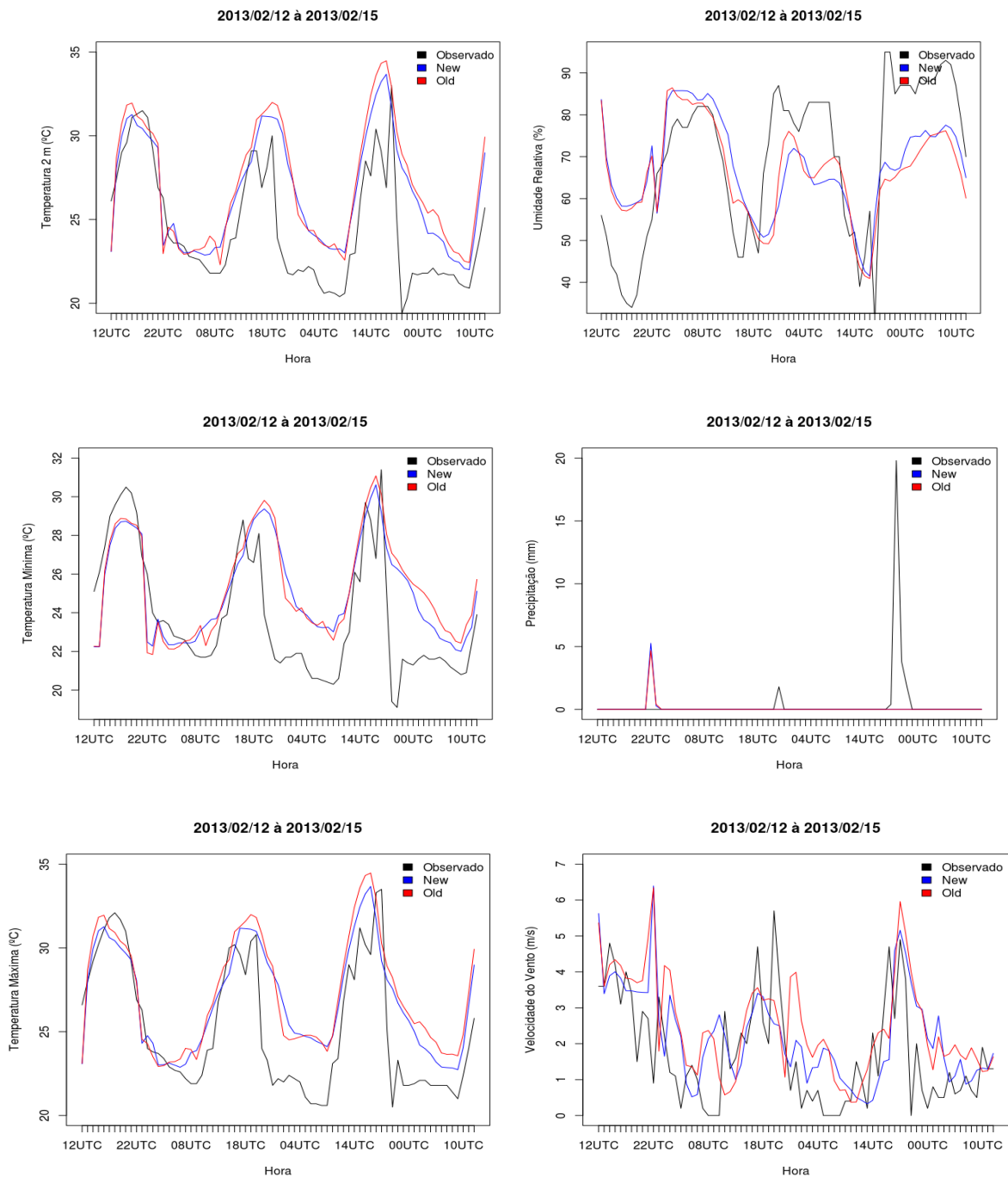
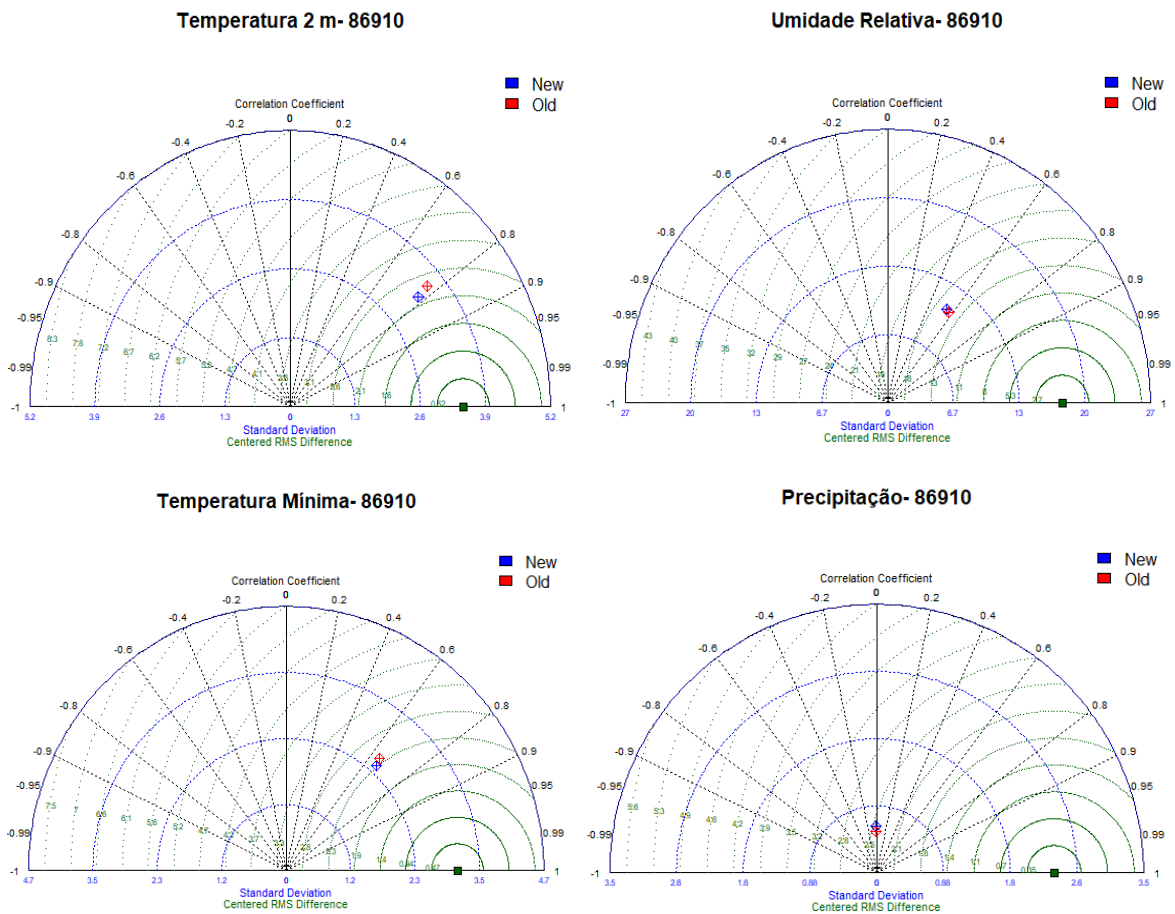


Figura 8- Evolução temporal das variáveis no teste de física com as simulações New e Old.

Entre 1200 UTC de 12 e 1200 UTC de 15 de fevereiro de 2013 para o ponto de latitude -23.49° e longitude -46.62° . Onde a linha preta representa a observação, a linha azul a simulação New, a linha vermelha a simulação Old. De acordo com a Figura 8, a simulação New apresentou melhor variabilidade na sensibilidade do modelo em comparação à Controle, o que apresenta ganho nesse estudo.

4.5 Análise Estatística

Na aplicação da análise estatística, foram gerados Diagramas de Taylor, uma forma gráfica que representa, por apenas um ponto, três métricas utilizadas em avaliações. Assim, vários experimentos podem ser representados por um gráfico e a comparação entre eles fica mais fácil. A Figura 9 mostra o Diagrama de Taylor dos experimentos New e Old. Espera-se que: o Coeficiente de Correlação (representado pela linha preta) seja mais perto de 1, o Desvio Padrão do experimento (representado pela linha azul) seja próximo do Desvio Padrão das observações e a Raiz do Erro Quadrático (RMSE, representado pela linha verde) seja mais perto de 0.



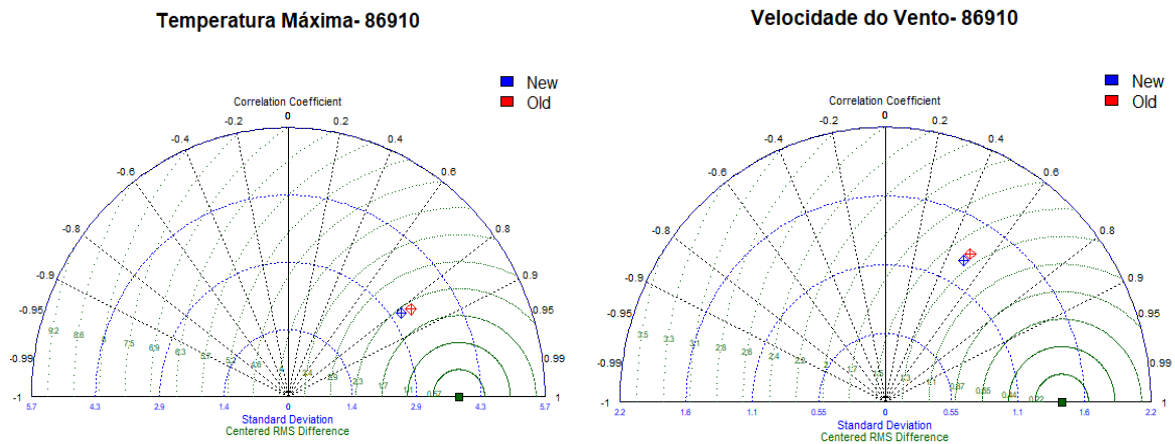


Figura 9- Diagrama de Taylor das simulações New e Old.

Também foram utilizados nas avaliações objetivas os índice: BIAS (Estatística De Resumo De Polarização Computacional) que calcula o viés (relativo / padronizado) de uma estimativa de amostra do valor do parâmetro, MAE (Erro Médio Absoluto) que calcula o erro absoluto médio para modelos de previsão de conjunto, Correlação (R^2) e Raiz do Erro quadrático médio (RMSE). A Tabela 2 e 3 mostram os valores referentes às análises dos experimentos New e Old, respectivamente.

Tabela 2- Análise objetiva da simulação New.

Estação- 86910						
VARIAVEIS	DESVIO_OBS	DESVIO_NEW	BIAS	CORRELACAO	RMSE	MAE
F	1.46	1.3	0.51	0.5	1.48	1.11
T	3.48	3.3	2.1	0.78	3.08	2.41
R	2.36	0.62	-0.3	-0.02	2.46	0.45
UR	17.95	11.03	-1.71	0.55	15.03	12.96
TN	3.15	2.49	1.35	0.66	2.74	2.18
TX	3.85	3.11	1.65	0.82	2.75	2.21

Tabela 3- Análise objetiva da simulação Old.

Estação- 86910						
VARIAVEIS	DESVIO_OBS	DESVIO_OLD	BIAS	CORRELACAO	RMSE	MAE
F	1.46	1.38	0.81	0.51	1.61	1.28
T	3.48	3.57	2.55	0.77	3.48	2.79
R	2.36	0.55	-0.31	-0.02	2.44	0.45
UR	17.95	10.94	-2.86	0.57	14.89	12.41
TN	3.15	2.62	1.53	0.65	2.89	2.31
TX	3.85	3.34	2.07	0.83	2.99	2.49

*F= velocidade do vento, T=temperatura à 2 metros, R= precipitação, UR= umidade relativa, TN=temperatura mínima e TX=temperatura máxima.

É possível identificar que a Tabela 2, referente à simulação New (a qual foi feita a junção dos testes de superfície, resolução e física), apresenta ganho em relação à simulação Old na maioria das análises estatísticas. Diminuindo o desvio padrão das variáveis de superfície com valores de 3,34 a 3,11 e bias de -2.86 a -1.71 para New.

Resultados Parciais

Em geral, as interações com os novos mapas mostraram melhorias nas simulações do modelo Eta em alta resolução (1 km), simulando adequadamente o experimento New, que representa a atualização dos mapas de superfície do modelo. Possibilitando assim a realização de simulações de altíssima resolução com maior acurácia, o que pode beneficiar as previsões de tempo e clima.

Referências

Ament, F. and C. Simmer (2006), Improved Representation of Land-surface Heterogeneity in a Non-hydrostatic Numerical Weather Prediction Model, *Bound.Layer Meteor.*, 121, 1, 153-174, doi:10.1007/s10546-006-9066-4.

Bennet, A.F. **Inverse methods in physical oceanography, Cambridge:** Cambridge University Press, USA, 1992. Disponível em: < <https://books.google.com.br/books>>. Acesso em: 06 nov.2018.

BONNER, W.B. **NMC overview: Recent progress and future plans.** *Wea. Forecasting*, v. 4, p. 275–285, 1989.

Daley, R. **Atmospheric Data Analysis**, Cambridge University Press, Cambridge, USA, 1991. 457 p.

DOYLE, M. E.; TOMASELLA, J.; RODRIGUEZ, D. A.; CHOU, S. C. Experiments using new initial soil moisture conditions and soil map in the Eta model over La Plata Basin. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 121, p. 119–136, 2013. DOI: <10.1007/s00703-013-0265-5>.

DY, C.Y; FUNG, J.C.H. Updated global soil map for the WRF model and soil moisture initialization for the Noah LSM: soil map and soil moisture. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, v.121, p.8777-8800, 2016.

EBERT, E.E.; DAMRATH, U.; WERGEN, W.; BALDWIN, M.E. **The WGNE assessment of short-term quantitative precipitation forecasts**. Bull. Amer. Meteor. Soc., v. 84, p. 481–492, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mudanças na cobertura e uso da terra 2000-2010-2012. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

KOSTER, R.D. et al. GLACE: the global land–atmosphere coupling experiment. Part I: overview. Journal of Hydrometeorology, v.7, n-4, p.590–610, 2006. DOI:10.1175/JHM510.1.
Koster, R. D., Y. C. Sud, Z. Guo, P. A. Dirmeyer, G. Bonan, K. W. Oleson, E. Chan, D. Verseghy, P. Cox, H. Davies, E. Kowalczyk, C. T. Gordon, S. Kanae, D. Lawrence, P. Liu, D. Mocko, C.-H. Lu, K. Mitchell, S. Malyshev, B. McAvaney, T. Oki, T. Yamada, A. Pitman, C. M. Taylor, R. Vasic, and Y. Xue (2006), GLACE: The Global Land–Atmosphere Coupling Experiment. Part I: Overview, J. Hydrometeor, 7, 590–610, doi:<http://dx.doi.org/10.1175/JHM510.1>.

MCBRIDE, J. L.; EBERT, E. E. **Verification of quantitative precipitation forecasts from operational numerical weather prediction models over Australia**. Wea. Forecasting, v. 15, p. 103–121, 2000.

NOWOSAD, A. G.; VELHO, H. F. C. and CINTRA, R. **EXPERIMENTOS EM ANÁLISE DE DADOS COM REDES NEURAIAS NA AMÉRICA DO SUL**. 2004. 47 p. Disponível em: < <http://mtc-16.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marciana/2004/02.19.16.39/doc/publicacao.pdf> >. Acesso em: 9 nov.2018.

RODRIGUES, D.C.; **TESTES COM PARAMETRIZAÇÃO DE CONVECÇÃO PARA CASOS DE CHUVAS INTENSAS EM REGIÕES MONTANHOSAS**. 2014. 145 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2014/02.05.15.55-TDI). Disponível em: < <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3FMJJB8>>. Acesso em: 10 out 2018.

SCHWITALLA, T; BAUER, H.S.; WULFMEYER, V; ZANGL, G. **Systematic errors of QPF in low-mountain regions as revealed by MM5 simulations**. Meteorologische Zeitschrift, v. 17, No. 6, p. 903-919, December, 2008.

SESTINI, M.F.; ALVALÁ, R.C.S.; MELLO, E.M.K.; VALERIANO, D.M.; CHOU, S.C.; NOBRE, C.A.; PAIVA, J.A.C.; REIMER, E.S. Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos. São José dos Campos: INPE, 2002. 74p.

SAMPAIO, G; DIAS, P.L.S., **Evolução dos modelos climáticos e de previsão de tempo e clima**. REVISTA USP, São Paulo, n. 103, p. 41-54, 2014.

TAWFIK, A. B.; DIRMEYER, P. A.; SANTANELLO, J.A. The heated condensation framework. Part II: climatological behavior of convective initiation and land– atmosphere coupling over the conterminous United States. *Journal of Hydrometeorology*, v.16, n-5, p.1946–1961, 2015. DOI:10.1175/JHM-D-14-0118.1.

TODLING, R. **Estimation Theory and Foundations of Data Assimilation**, Course notes, Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), setembro 22-29, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, 1997. Disponível em: < <https://gmao.gsfc.nasa.gov/pubs/docs/Todling180.pdf>>. Acesso em: 20 out.2018.

WULFMEYER, V. et al. The Convective and Orographically-induced Precipitation Study (COPS): the scientific strategy, the field phase, and research highlights, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v.137, p.3–30, 2011. DOI:10.1002/qj.752.

ZANNETTI, P. **Air Pollution Modeling**, Computational Mechanics Publications, UK, 1990.

ZHENG, Y.; KUMAR, A.; NIYOGI, D. Impacts of land–atmosphere coupling on regional rainfall and convection. *Climate Dynamics*, v.44, p.9-10, n-2383, 2015.