POTENCIALIDADE DO USO DO MODELO WRF (*WEATHER RESEARCH AND FORECASTING*) NA GERAÇÃO DE PERFIS VERTICAIS PARA CORREÇÃO ATMOSFÉRICA NO INFRAVERMELHO TERMAL

Lucas Ribeiro Diaz [1], Silvia Beatriz Alves Rolim [1], Daniel Caetano Santos [2], Pâmela Suélen Käfer [1], Nájila Souza da Rocha [1], Suzianny Salazar da Silva [1], Atilio Efrain Bica Grondona [3], María Luján Iglesias [1], Eduardo André Kaiser [1]

[1]Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) – Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre, Brasil, lucasdiaz08@hotmail.com, silvia.rolim@ufrgs.br; [2]Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Santa Maria, Brasil; [3]Universidade do Vale dos Sinos (UNISINOS) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, Brasil

RESUMO

O presente trabalho visa analisar a viabilidade da utilização do modelo WRF (*Weather Research And Forecasting*) para gerar perfis verticais atmosféricos buscando suprir a necessidade de uma radiossondagem na correção atmosférica de dados de sensoriamento remoto do infravermelho termal. Simulações com o modelo WRF foram realizadas para situações de atmosfera estável e instável. Os resultados das simulações foram comparados com dados de radiossondagens de campo, para as variáveis: temperatura potencial e razão de mistura. Os resultados apresentaram elevada correlação entre os dados observados e os simulados pelo modelo, além de valores relativamente baixos de viés e RMSE. Conclui-se que existe um indicativo positivo do potencial da utilização do modelo WRF, na simulação de perfis atmosféricos, para sua aplicação na correção atmosférica no infravermelho termal.

Palavras-chave — Infravermelho termal, correção atmosférica, WRF, modelagem atmosférica, perfis verticais.

ABSTRACT

This work aims to analyze the feasibility of using the WRF (Weather Research And Forecasting) model to generate vertical atmospheric profiles in order to meet the need for a radiosonde in the atmospheric correction of thermal infrared remote sensing data. Simulations with the WRF model were performed for situations of stable and unstable atmosphere. The results of the simulations were compared with field radiosonde data for the variables: potential temperature and water vapor mixing ratio. The results showed a high correlation between observed and simulated data, in addition to relatively low values of bias and RMSE. It is concluded that there is a positive indication of the potential of the use of the WRF model in the simulation of atmospheric profiles, for its application in the atmospheric correction in the thermal infrared.

Key words — *Thermal infrared, atmospheric correction, WRF, atmospheric modeling, vertical profiles.*

1. INTRODUÇÃO

A temperatura da superfície terrestre (*Land Surface Temperature* – LST) é um parâmetro chave utilizado em variados estudos ambientais [1], uma vez que está intimamente conectada com o balanço de energia na superfície da Terra [2]. Sendo assim, o sensoriamento remoto no infravermelho termal (*Thermal Infrared* – TIR) trata-se de um meio valioso e operacional para obtenção de medidas de LST em escalas regional e global [3].

Entretanto, para que os dados termais possam ser utilizados nas mais variadas aplicações, deve ser realizada a correção atmosférica dos mesmos [4]. Isto é, os efeitos atmosféricos, de absorção e emissão, que afetam o espectro nos comprimentos de onda do TIR, devem ser removidos e o sinal convertido do topo da atmosfera (*Top Of the Atmosphere* – TOA) para o nível do solo (*ground-level*) [5].

Uma das maneiras mais consolidadas de se realizar a correção atmosférica é através da inversão da Equação de Transferência Radiativa para obtenção de valores de LST [4], [6], [7]. Essa abordagem requer o conhecimento da distribuição vertical de algumas variáveis meteorológicas (como temperatura e conteúdo de vapor de água), ou seja, necessita de perfis verticais atmosféricos, obtidos, em geral, através do lançamento de uma radiossondagem. Essas informações são então introduzidas em um modelo/código de transferência radiativa (*Radiative Transfer Model* – RTM), onde são calculados os parâmetros atmosféricos necessários para a correção atmosférica: a transmitância atmosférica e as radiâncias atmosféricas de trajetória ascendente (*upwelling*) e descendente (*downwelling*) [4], [7]–[9].

Contudo, na grande maioria dos casos, radiossondagens locais não estão disponíveis, e o acesso a essa tecnologia muitas vezes é restrito e apresenta um custo financeiro elevado [4], [10]. Existem bancos de dados de radiossondagens que são lançadas, por exemplo, diariamente em alguns aeroportos ao redor do globo. Contudo, a sua utilização pode se demonstrar inapropriada, quando estes lançamentos não forem exatos e coincidentes com a passagem do satélite ou demasiados distantes da cena da área de estudo [2], [11].

Portanto, alternativas ao uso de radiossondagens vêm sendo propostas nas últimas décadas e produtos de perfis atmosféricos, derivados de dados globais de reanálise ou de dados de satélites, estão sendo utilizados em substituição à radiossondagens para realizar a correção atmosférica, resultando em valores de LST com acurácia aceitável [2], [4], [7]–[9], [12]. Apesar disso, a utilização desses perfis pode apresentar complicações e limitações ou, até mesmo, ser comprometida em algumas situações [4], [6], [9], [13], [14].

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a viabilidade da utilização do modelo de mesoescala de previsão numérica do tempo e simulação atmosférica – WRF (*Weather Research And Forecasting*) [15], para gerar perfis verticais atmosféricos buscando suprir a necessidade de uma radiossondagem na correção atmosférica de dados do TIR.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste estudo, foram realizadas simulações no modelo *Advanced Research Weather Research and Forecasting* (ARW-WRF), na versão 3.9.1.1, para uma área de estudo no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, em duas datas com condições de tempo distintas. No dia 09/01/2018, a atmosfera se encontrava instável, enquanto que, no dia 14/03/2018, estava estável. Nas simulações, foram utilizados dados de reanálise do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) *Climate Forecast System Version 2* (CFSv2) como condições iniciais e de contorno para duas grades aninhadas com resoluções horizontais de 12 km (G12) e 3 km (G03) (Figura 1), em modo "*one-way*".

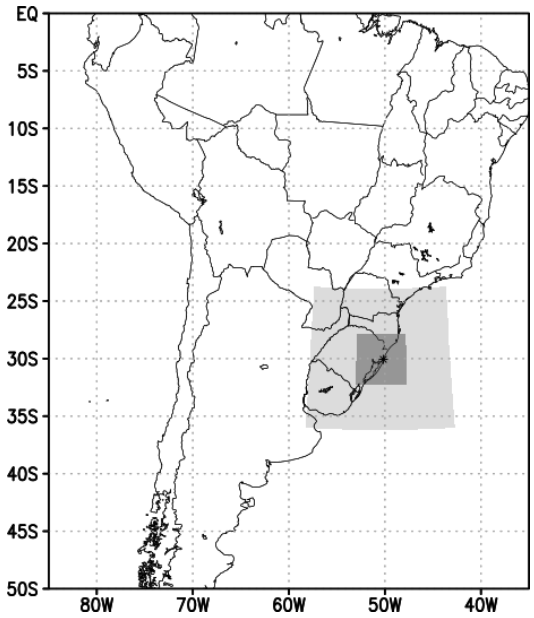

Figura 1. Mapa com os domínios utilizados nas simulações do modelo WRF. Sendo a G12 destacada pelo sombreado em cinza claro e a G03 em cinza escuro. O asterisco indica o ponto de lançamento das radiossondagens na área de estudo.

E ainda, para as parametrizações físicas do modelo, foram utilizados os esquemas de Lin et al. [16] (microfísica de nuvens), Yonsei *University* [17] (camada limite planetária), Betts–Miller–Janjic [18] (nuvens cumulus), Dudhia [19] (radiação de onda curta), *Rapid and accurate Radiative Transfer Model* (RRTM) [20] (radiação de onda longa) e *Unified* NOAH [21] (modelo de superfície).

Para avaliar o desempenho da modelagem atmosférica, os dados simulados pelo WRF foram comparados com dados de campo provenientes de radiossondagens obtidas na área de estudo. Para realizar essa comparação, os dados simulados foram interpolados para os níveis da radiossondagem, com uma interpolação linear ponderada (Equação 1), e computadas as medidas estatísticas: coeficiente de correlação (R), viés e raiz do erro quadrático médio (RMSE). Na Equação 1, $D(h)$ é o valor interpolado, no nível observado h, e $d[h]$ é o valor simulado nos dois níveis do modelo visinhos, h_1 e h_2. As variáveis meteorológicas selecionadas para essa análise estatística foram a temperatura potencial (θ) e a razão de mistura (q), para toda a camada atmosférica [22].

$$D(h) = \left\{ d[h_1] \times \left[1 - \frac{(h - h_1)}{(h_2 - h_1)} \right] \right\} + \left\{ d[h_2] \times \left[1 - \frac{(h_2 - h)}{(h_2 - h_1)} \right] \right\} \quad (1)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No que se refere aos resultados, os perfis verticais simulados e observados foram confrontados, tanto para o dia 09/01/2018, como para o dia 14/03/2018, e as medidas estáticas encontradas são apresentadas na Tabela 1. Já os perfis verticais estão retratados na Figura 2.

Tabela 1. Comparação estatística entre os perfis atmosféricos verticais simulados pelo WRF, grades G12 e G03, e as radiossondagens observadas (Obs.), para as datas 09/01/2018 e 14/03/2018.

	Dia 09/01/2018 - Atmosfera Instável			
	Obs. – WRF G12		**Obs. – WRF G03**	
	θ (K)	q (g/kg)	θ (K)	q (g/kg)
R	0,99	0,99	0,99	0,99
Vies	-0,52	-0,17	-0,52	-0,22
RMSE	1,84	0,48	1,83	0,64
	Dia 14/03/2018 - Atmosfera Estável			
	Obs. – WRF G12		**Obs. – WRF G03**	
	θ (K)	q (g/kg)	θ (K)	q (g/kg)
R	0,99	0,96	0,99	0,96
Vies	0,25	0,16	0,24	0,15
RMSE	2,99	0,95	3,00	0,95

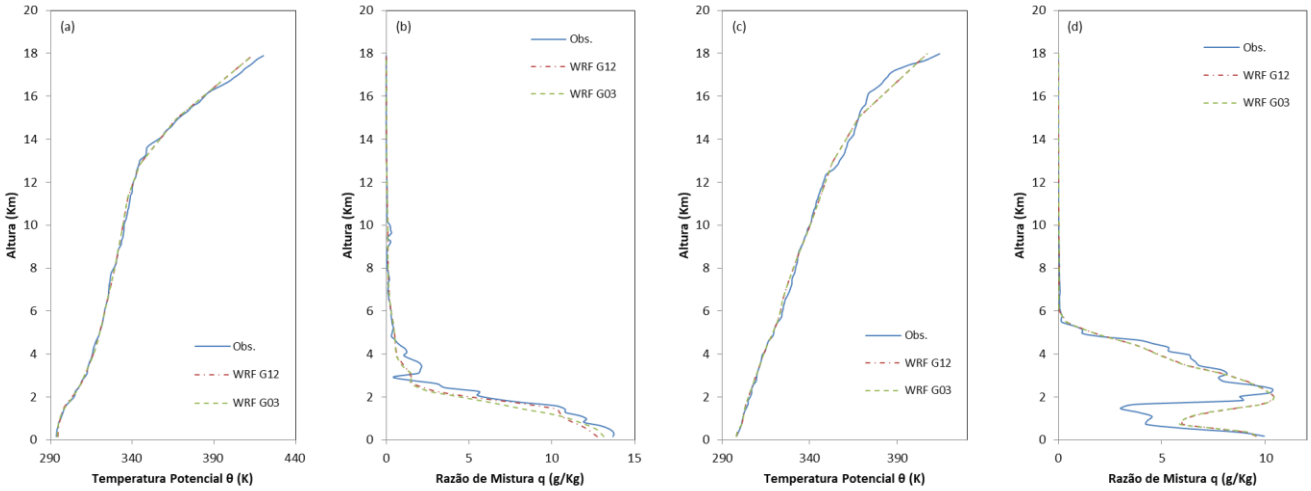

Figura 2. Perfis verticais atmosféricos de temperatura potencial e razão de mistura extraídos das radiossondagens observada (Obs.) e das simulações no WRF (G12 e G03), para os dias 09/01/2018 ((a) - (b)) e 14/03/2018 ((c) - (d)).

Os resultados apresentaram elevada correlação entre os dados observados e os simulados pelo modelo, com valores superiores a 0,9, além de valores relativamente baixos de viés e RMSE, tanto para a grade-mãe (G12), como para a mais refinada (G03), em ambas as condições atmosféricas.

Observa-se que o modelo tendeu a subestimar levemente os valores de θ e q na situação de atmosfera instável, enquanto que em atmosfera estável, os valores simulados de θ e q foram superestiamados aos observados. E ainda, no que diz respeito ao RSME, os valores encontrados foram mais baixos para o dia com condições atmosféricas instáveis, sendo que para ambas as datas as diferenças entre as grades aninhadas foram mínimas, mostrando a menor influência da resolução horizontal na simulação do perfil vertical da atmosfera, para os dias analisados.

Na Figura 2, é possível verificar que as maiores diferenças, entre os dados observados e simulados, concentram-se nos primeiros 6 km de altura, dentro da camada limite atmosférica, sendo mais evidente nos perfis de razão de mistura do vapor de água. Esses resultados são coerentes à maior sensibilidade do fluxo vertical de umidade aos esquemas de parametrização de camada limite planetária e superfície [22]–[24].

4. CONCLUSÃO

Este trabalho investiga o potencial do modelo WRF na geração de perfis verticais atmosféricos para auxílio na correção atmosférica de dados do TIR. Os resultados indicaram que existe um indicativo positivo deste potencial, principalmente na ausência de radiossondagens para locais específicos.

Em trabalhos futuros, pretende-se aplicar e avaliar os resultados em RTMs e na correção atmosférica de imagens, além de realizar mais campanhas de radiossondagens – aumentando assim a amostragem, testes com diferentes esquemas de parametrização e análises com enfoque na camada limite atmosférica.

5. REFERÊNCIAS

[1] J. A. Sobrino, F. Del Frate, M. Drusch, J. C. Jiménez-Muñoz, P. Manunta, and A. Regan, “Review of thermal infrared applications and requirements for future high-resolution sensors,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 54, no. 5, pp. 2963–2972, 2016.

[2] B. Tardy, V. Rivalland, M. Huc, O. Hagolle, S. Marcq, and G. Boulet, “A Software Tool for Atmospheric Correction and Surface Temperature Estimation of Landsat Infrared Thermal Data,” *Remote Sens.*, vol. 8, no. 9, p. 696, Aug. 2016.

[3] C. Coll, V. Caselles, E. Valor, and R. Niclòs, “Comparison between different sources of atmospheric profiles for land surface temperature retrieval from single channel thermal infrared data,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 117, pp. 199–210, 2012.

[4] J. C. Jiménez-Muñoz, J. A. Sobrino, C. Mattar, and B. Franch, “Atmospheric correction of optical imagery from MODIS and Reanalysis atmospheric products,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 114, no. 10, pp. 2195–2210, 2010.

[5] H. Tang and Z.-L. Li, *Quantitative Remote Sensing in Thermal Infrared*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014.

[6] H. Tonooka, “An atmospheric correction algorithm for thermal infrared multispectral data over land-a water-vapor scaling method,” *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 39, no. 3, pp. 682–692, 2001.

[7] J. A. Barsi, J. R. Schott, F. D. Palluconi, and S. J. Hook, “Validation of a web-based atmospheric correction tool for single

thermal band instruments," in *Earth Observing Systems X*, 2005, vol. 5882, p. 58820E.

[8] C. Mattar, C. Durán-Alarcón, J. C. Jiménez-Muñoz, A. Santamaría-Artigas, L. Olivera-Guerra, and J. A. Sobrino, "Global Atmospheric Profiles from Reanalysis Information (GAPRI): a new database for earth surface temperature retrieval," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 36, no. 19–20, pp. 5045–5060, Oct. 2015.

[9] X. Meng and J. Cheng, "Evaluating Eight Global Reanalysis Products for Atmospheric Correction of Thermal Infrared Sensor—Application to Landsat 8 TIRS10 Data," *Remote Sens.*, vol. 10, no. 3, p. 474, Mar. 2018.

[10] Z.-L. Li, B.-H. Tang, H. Wu, H. Ren, G. Yan, Z. Wan, I. F. Trigo, and J. A. Sobrino, "Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives," *Remote Sens. Environ.*, vol. 131, pp. 14–37, Apr. 2013.

[11] M. Mira, A. Olioso, V. Rivalland, D. Courault, O. Marloie, and P. Guillevic, "Quantifying uncertainties in land surface temperature due to atmospheric correction: Application to Landsat-7 data over a Mediterranean agricultural region," in *2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2014, no. 4, pp. 2375–2378.

[12] J. Cristóbal, J. Jiménez-Muñoz, A. Prakash, C. Mattar, D. Skoković, and J. Sobrino, "An Improved Single-Channel Method to Retrieve Land Surface Temperature from the Landsat-8 Thermal Band," *Remote Sens.*, vol. 10, no. 3, p. 431, Mar. 2018.

[13] J. Rosas, R. Houborg, and M. F. McCabe, "Sensitivity of Landsat 8 Surface Temperature Estimates to Atmospheric Profile Data: A Study Using MODTRAN in Dryland Irrigated Systems," *Remote Sens.*, vol. 9, no. 10, p. 988, Sep. 2017.

[14] J. C. Jiménez-Muñoz, J. Cristobal, J. A. Sobrino, G. Sòria, M. Ninyerola, and X. Pons, "Revision of the single-channel algorithm for land surface temperature retrieval from landsat thermal-infrared data," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 47, no. 1, pp. 339–349, 2009.

[15] C. Skamarock, B. Klemp, J. Dudhia, O. Gill, D. Barker, G. Duda, X. Huang, W. Wang, and G. Powers, "A Description of the Advanced Research WRF Version 3," 2008.

[16] Y.-L. Lin, R. D. Farley, and H. D. Orville, "Bulk Parameterization of the Snow Field in a Cloud Model," *J. Clim. Appl. Meteorol.*, vol. 22, no. 6, pp. 1065–1092, Jun. 1983.

[17] S.-Y. Hong, Y. Noh, and J. Dudhia, "A New Vertical Diffusion Package with an Explicit Treatment of Entrainment Processes," *Mon. Weather Rev.*, vol. 134, no. 9, pp. 2318–2341, 2006.

[18] Z. I. Janjić, "The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer, and Turbulence Closure Schemes," *Mon. Weather Rev.*, vol. 122, no. 5, pp. 927–945, May 1994.

[19] J. Dudhia, "Numerical Study of Convection Observed during the Winter Monsoon Experiment Using a Mesoscale Two-Dimensional Model," *J. Atmos. Sci.*, vol. 46, no. 20, pp. 3077–3107, Oct. 1989.

[20] E. J. Mlawer, S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, and S. A. Clough, "Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave," *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 102, no. D14, pp. 16663–16682, Jul. 1997.

[21] M. Tewari, F. Chen, W. Wang, J. Dudhia, M. A. LeMone, K. Mitchell, M. Ek, G. Gayno, J. Wegiel, and R. H. Cuenca, "Implementation and verification of the unified noah land surface model in the WRF model," *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, pp. 2165–2170, 2004.

[22] D. C. Santos and E. D. L. Nascimento, "Numerical Simulations of the South American Low Level Jet in Two Episodes of MCSs: Sensitivity to PBL and Convective Parameterization Schemes," *Adv. Meteorol.*, vol. 2016, pp. 1–18, 2016.

[23] X.-M. Hu, J. W. Nielsen-Gammon, and F. Zhang, "Evaluation of Three Planetary Boundary Layer Schemes in the WRF Model," *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, vol. 49, no. 9, pp. 1831–1844, Sep. 2010.

[24] J. J. Ruiz, C. Saulo, and J. Nogués-Paegle, "WRF Model Sensitivity to Choice of Parameterization over South America: Validation against Surface Variables," *Mon. Weather Rev.*, vol. 138, no. 8, pp. 3342–3355, Aug. 2010.