



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Estudo Avaliativo da Previsão Numérica do Tempo de Curto Prazo para o Município de Maceió/AL, Utilizando o Modelo WRF

¹Rosiberto Salustiano da Silva Júnior, ²Bruno César Teixeira Cardoso, ²Hugo Cainã Ferreira Monteiro, ³Ewerton Hallan de Lima Silva

¹Dr. em Meteorologia, Professora Assosiado I, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, Maceió - AL, Cep: 57072-970. (82) 3214-1366. rosiberto@icat.ufal.br (autor correspondente). ²Msc. em Meteorologia, Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Av. Lourival Melo Mota, S/N, Tabuleiro do Martins, Maceió - AL, Cep: 57072-970. (82) 3214-1366. teixeiracardoso@gmail.com e hugo_caina@hotmail.com. ³Esp. e Técnico em Informática do Instituto Federal de Alagoas - IFAL, Campus Maragogi, AL-101, Maragogi - AL, Cep: 57955-000. (82) 2126-6270, ewertonhallan@gmail.com.

Artigo recebido em 13/06/2019 e aceito em 16/12/2019

RESUMO

As diferentes atividades econômicas são fortemente influenciadas pela condição do tempo, faz-se necessário antever com dias de antecedência a situação meteorológica favorável ou não para o cotidiano da sociedade. Os modelos atmosféricos são ferramentas amplamente utilizados para avaliar o estado futuro da atmosfera, neste contexto, avaliar a precisão das previsões realizadas por estas ferramentas, tem sido cada vez mais recorrente. Neste trabalho foi utilizado o modelo atmosférico WRF (Weather Research and Forecasting) para realizar previsões diárias com duração de 72h, durante o período de 10 a 19 de julho de 2017 para a cidade de Maceió/AL. Para validar as previsões foram utilizados os dados observados da estação meteorológica automática do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Neste estudo também foi proposto a atualização da topografia e uso do solo da área de estudo em questão, que gerou melhorias nas comparações realizadas para todas as variáveis analisadas, em destaque a previsão da variável pressão atmosférica, quando atualizada a topografia houve sensíveis melhorias nos indicadores estatísticos em comparação aos demais testes que não contaram com a mesma atualização. Além disso, as análises estatísticas e das figuras apresentados comprovam que o modelo previu melhor para previsões com duração de 24h, em comparação com duração de 48h, e nesta sequência melhor que 72h, ou seja, existiu a depreciação das previsões com o aumento da duração das previsões.

Palavras Chaves: Previsão do Tempo, Modelo Atmosférico, Topografia, Uso do Solo.

Study of the Efficiency of the Short-Term Numerical Forecast for the City of Maceió / AL, Using the WRF Model

ABSTRACT

The different economic activities are strongly influenced by the condition of the weather, it is necessary to forecast with days in advance the meteorological situation favorable or not for the daily life of the society. The atmospheric models are tools widely used to assess the future state of the atmosphere, in this context, assess the accuracy of the forecasts made by these tools, has been each made more recurrent. In this work the atmospheric model WRF (Weather Research and Forecasting) was used to make daily forecasts with a duration of 72h during the period from July 10 to 19, 2017 for the city of Maceió / AL, to validate the forecasts were used the observed data of the INMET (National Meteorological Institute) automatic weather station. For this study it was also proposed to update the topography and land user of the study area, which generated improvements in the comparisons made for all variables analyzed, in particular the prediction of the variable atmospheric pressure, when updated the topography there were sensible improvements in statistical indicators compared to the other tests that did not have the same update. In addition, the statistical analyzes and the graphs presented show that the model predicted better for 24h than for 48h and in this sequence better than 72h, that is, there was depreciation of the forecasts with the increase of the forecast duration.

Keywords: Weather Forecast, Atmospheric Model, Topography, Land User.

Introdução

Com o advento da tecnologia e sua crescente capacidade de processamento dados de

forma interdisciplinar, tem tornado cada vez mais eficiente a utilização dos modelos atmosféricos na tarefa de representar com a máxima exatidão a

condição do tempo (estado instantâneo da atmosfera). Para o caso de modelos de previsão numérico do tempo, que são baseados em equações matemáticas representativas das leis físicas que governam a movimentação da atmosfera e suas interações entre os sistemas oceano-solo-planta-atmosfera. Sendo os modelos atmosféricos uma das principais ferramentas para realizar previsão tempo de curto prazo, e com base em informações de grandes centros de previsão do tempo brasileiros, a duração das previsões são mais recorrentes com duração de 72h, e as variáveis mais consultadas nas previsões são a precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, nebulosidade e radiação solar.

Um modelo de previsão numérica do tempo consiste em um sistema computacional, utilizado para prever as condições do tempo com antecedência, a um dado evento meteorológico. Como a agricultura é uma das atividades econômicas que fortemente depende das informações de tempo e clima (Pereira et al., 2002), logo conhecer as situações agrometeorológicas favoráveis/adversas interferem no cotidiano dos agricultores, o que possivelmente poderia auxiliar na diminuição dos prejuízos econômicos (Ayoade, 1986).

Limitações na resolução do modelo para a representação da topografia e uso do solo, podem trazer incertezas significativas nas previsões realizadas com modelos atmosférico, bem como comparações descuidadas das variáveis meteorológicas numa coordenada geográfica específica (EMA – Estação Meteorológica Automática) com uma área (modelo atmosférico), podem trazer incertezas significativas na avaliação na qualidade das previsões realizadas.

Um dos modelos numéricos mais difundidos no Brasil e no mundo é o WRF (Weather Research Forecasting), utilizado não apenas na previsão temporal de precipitação pluviométrica mais para diversas outras componentes atmosféricas (Macedo et al., 2011; Ramos et al., 2013; Mollmann Junior et al., 2013; Oliveira, 2004). A qualidade das previsões depende do ajuste paramétrico de cada modelo (Argüeso et al., 2011). O WRF disponibiliza vários esquemas paramétricos que ajudam a obter uma melhor adequação paramétrica para cada região e conseqüentemente um melhor resultado. A

modelagem em mesoescala é amplamente utilizada para previsão do tempo e clima em todo mundo, e complementa as deficiências dos modelos de microescala na detecção de fenômenos sinóticos e anomalias climáticas (Oliveira, 2007).

A verificação da qualidade das previsões de tempo e clima é feita com auxílio de ferramentas estatísticas, para comprovar a eficiência do modelo em representar a atmosfera e suas variações de forma espacial e temporal. As previsões serão validadas com auxílio das medições das EMA do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e CEMADEN (Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais) por exemplo. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi realizar previsões de tempo para o estado de Alagoas, e avaliar sua qualidade para previsões com 24h (habilidade do modelo prever no mesmo dia da inicialização), 48h (habilidade do modelo prever 1 dia depois da inicialização) e 72h (habilidade do modelo prever 2 dias depois da inicialização), bem como avaliar o impacto da melhoria da representatividade dos dados de entrada de topografia e uso do solo nas previsões realizadas.

Material e métodos

Nesta seção será feita uma descrição dos métodos empregados para a realização do presente trabalho, tendo em vista a área de estudo, ferramentas utilizadas e validação das previsões.

Caracterização da área de estudo (Estado de Alagoas)

O estado de Alagoas situa-se geograficamente na porção leste do Nordeste do Brasil. Limitando-se com os estados de Pernambuco ao Norte, Sergipe ao Sul, Bahia ao Oeste, e com o Oceano Atlântico a Leste, ver figura 01. Localiza-se entre as coordenadas geográficas de Latitude 8°40'00'' e 10°40'00'' de latitude Sul e 38°20'00'' e 35°00'00'' de longitude Oeste. O Estado possui uma área aproximada de 27.779,343 km² o que representa 1,78% da área total da região Nordeste e 0,32% do território nacional.



Figura 1 - Localização da área de estudo.

Com base na regionalização fisionômica realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), Alagoas divide-se em três mesorregiões e 13 microrregiões, com um total de 102 municípios. De acordo com a classificação climática de Köppen, predominam no Estado três tipos de clima: Tropical e Quente Úmido, com chuvas de outono-inverno; Tropical Quente e Seco, com chuvas de outono-inverno e Tropical Quente e Seco, com chuvas de verão-outono (IBGE, 2017). Segundo a classificação do projeto RADAMBRASIL 1 no que diz respeito à Fitogeografia, o Estado apresenta oito tipos de vegetação, sendo elas as Formações Pioneiras, Floresta Ombrófila, Cerrado, Floresta Estacional Semidecidual, Ecótono, Floresta Estacional Decidual, Caatinga e Refúgio Ecológico. Alagoas é um dos estados brasileiros mais densamente povoados, onde 73,6% do total populacional vivem no meio urbano e 26,37% no meio rural. A densidade demográfica, em 2010, apresentou a razão de 112,3 habitantes por km², sendo o 4º Estado com maior densidade demográfica do Brasil.

Dados Observados

Os dados observados de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento e radiação solar, foram coletados no repositório do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação Maceió-A303, localizada no município de Maceió no estado de Alagoas, aberta em 25 de fevereiro de 2003, localizada entre as coordenadas na latitude

de -9.55°, longitude de -35.77° e altitude de 65 metros. No estudo estatístico dos dados serão avaliados nos prognósticos os valores de Viés Médio, Desvio Padrão, Coeficiente de Correlação e Erro Médio. Tais valores estatísticos serão apresentados de acordo com o período analisado, obtidos com séries de dados observados (INMET) e modelo atmosférico (WRF). A estação automática do INMET, conta com uma unidade de memória central acoplada a um “data logger”, que realiza o processamento, armazenamento e transmissão das variáveis mencionadas para o sistema do INMET.

Modelo Atmosférico Utilizado

Segundo Skamarock et al. (2005) e Rell et al. (2005), o modelo atmosférico de mesoescala Weather Research and Forecasting Model (WRF), é um modelo de previsão numérica de tempo e clima que possui uma estrutura numérica e computacional baseado em conceitos físicos. O WRF é um modelo atmosférico de mesoescala para previsão numérica de tempo (PNT) e clima. De código aberto e flexível, disponibilizado livremente para uso operacional e de pesquisa. Por possuir um código robusto, o WRF pode ser executado desde máquinas comum a um supercomputador dependendo da quantidade de dados que será processado.

Através de processamento automatizado por algoritmos em Shell Script, foram realizadas previsões diárias realizadas com o modelo WRF que tiveram duração de 72h para cada simulação durante o período de 10 a 19 de julho de 2017. As

previsões com o WRF foram configuradas com 3 (três) domínios aninhados com resoluções de 80, 20 e 5km, de modo a cobrir espacialmente a América do Sul (d01, 91x71 pontos xy e 31 níveis verticais com topo de 50mb), Nordeste brasileiro (d02, 81x81 pontos xy e 31 níveis verticais com topo de 50mb) e estado de Alagoas (d03, 93x89 pontos xy e 31 níveis verticais com topo de 50mb). Os dados simulados no modelo foram com aplicação de variáveis diferentes no mesmo período de julho de 2017, foram usados os dados: default (padrão), NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), Topografia, Umidade do solo e NDVI e Topografia juntas. Esses dados do modelo WRF foram comparados estatisticamente com os dados do observado (INMET), os dados do Instituto Nacional de Meteorologia foram extraídos no repositório do Portal Eletrônico no período de 10 a 19 julho de 2017.

Para melhorar a descrição superficial do WRF foi realizada uma atualização da topografia (representado por “*topo*” na sequência), com os dados do Projeto Brasil em Relevo. Este incluiu como fonte primária os modelos de elevação digital, com aproximadamente 90 metros de resolução espacial, originários da missão de mapeamento do relevo terrestre SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) dos Estados Unidos no ano 2000. Analisando especificamente a região do município de Maceió/AL (ver tabela 1), fica evidenciado a melhora no detalhamento da topografia.

O mesmo aconteceu na atualização realizada para o uso do solo (representado por “*ndvi*” na sequência), onde a descrição do tipo de solo na configuração padrão do modelo está datado de 1992 com resolução horizontal de 1km, e a atualização proposta faz referência ao ano de 2007 com resolução horizontal de 0,25km. Os dados obtidos para atualização do uso do solo tem como base o Programa Internacional Geosfera Biosfera (http://webmap.ornl.gov/wcsdown/wcsdown.jsp?dg_id=10004_1 – “IGBP global vegetation classificationscheme”).

Já o teste de atualização da umidade do solo (representado por “*umidade do solo*” na sequência), utilizou o método que descreve a retenção de água no solo a partir de características básicas do solo e de fácil medição, como textura, densidade e conteúdo de matéria orgânica, com base no projeto RADAM-Brasil (imagens de radar e amostras de solo) e da Embrapa (levantamento pedológico), com resolução de aproximadamente 5 km (Gevaerd e Freitas, 2006), base de dados em <http://ftp.cptec.inpe.br/brams/data-brams/soil-moisture/2019/GPNR>.

Ainda com base na tabela 1, pode-se notar que para o ponto de medição e validação das previsões, a situação padrão do modelo e atualização classificaram a área como sendo urbana. Já com relação à topografia, nota-se uma grande diferença entre a previsão padrão e atualizada, onde a simulação atualizada considera a altura de 79m e a antiga somente 20,88m, o que confere as novas simulações uma maior precisão quando comparado ao observado (84m conforme Google Earth).

Tabela 1 - Comparativo das características da área de estudo do município de Maceió, quanto a altura do relevo e uso do solo.

	Observado (Google Earth)	WRF_Old	WRF_New
Altura do relevo	84 metros	20,88 metros	79 metros
Uso do solo	Urbano	Urbano	Urbano

Análises Estatísticas

Para validar as previsões realizadas com o modelo atmosférico WRF, foram utilizados índices estatísticos, como: o erro sistemático (VIÉS), que indica a tendência geral dos erros dos dados previstos, para Viés positivo diz-se que houve superestimativa e em caso negativo indica subestimativa dos valores analisados, o coeficiente de correlação de Pearson (r), estima o grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas (variaando entre -1 e 1, sendo desejado o valor próximo a 1), o desvio padrão é uma medida que expressa o grau de dispersão de um conjunto de dados com relação a média.

$$VIÉS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_{obs}) \quad \text{eq.01}$$

$$DP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - M_A)^2}{n}} \quad \text{eq.02}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2\right) \left(\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2\right)}} \quad \text{eq.03}$$

Onde: x_i é o valor dos dados previstos, y_{obs} é o valor dos dados observados, N ou n é o número de dados analisados, 'x' e 'y' são valores médios do previsto e observado respectivamente.

A validação da previsão foi feita para detectar o grau de acerto do modelo atmosférico WRF ao tentar prever de forma eficiente os dados observados das estações automáticas meteorológica do INMET, sendo indicadores estatísticos positivos das previsões o coeficiente de correlação próximo ou igual a 1, desvio padrão e viés próximos ou iguais a 0. Para avaliar a qualidade das previsões relacionado com a duração, todas as rodadas diárias com duração de 72h, foram analisadas partindo do pressuposto de que todas as previsões foram separadas por intervalos de horas 1h - 24h (representa previsões com 24h duração), 25h - 48h (representa previsões com 48h de duração) e 49h - 72h (representa previsões com 72h de duração). As separações dos intervalos geraram 3 séries de dados (24h, 48h, e 72h) que foram comparados com os dados observados. Ocorrendo uma defasagem de 24h e 48h para as séries que representaram duração de 48h e 72h, respectivamente, em comparação aos dados observados.

Resultados e discussão

As variáveis geralmente estudada e analisadas em centros meteorológicos para previsão do tempo de curto prazo, são: precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento. Portanto estas serão as variáveis a serem validadas neste estudo.

Vale destacar que o ano de 2017 foi atípico em termos de regime de chuvas, e de acordo com dados da Normal Climatológica do INMET para o ano de 2017, Maceió teve o terceiro julho mais chuvoso nos últimos 56 anos, desde 1961 até 2017. Durante o período de estudo em questão, a capital de Alagoas ficou sem chuva apenas nos dias 15, 16 e 17 de julho. A média de chuva para o mês de julho/2017 esteve em torno de 436 mm. No período de 1961 a 2017, o mês de julho mais chuvoso foi registrado em 1989, quando Maceió acumulou 779,9 mm. O segundo mês de julho mais chuvoso neste período foi o de 1969 que acumulou 631,2 mm, no presente trabalho foi analisado durante o período de 10 - 19 de julho de 2017, onde foi registrado neste período o acumulado de precipitação de 75,62 mm correspondendo a 17,34% do total para o mês de julho de 2017.

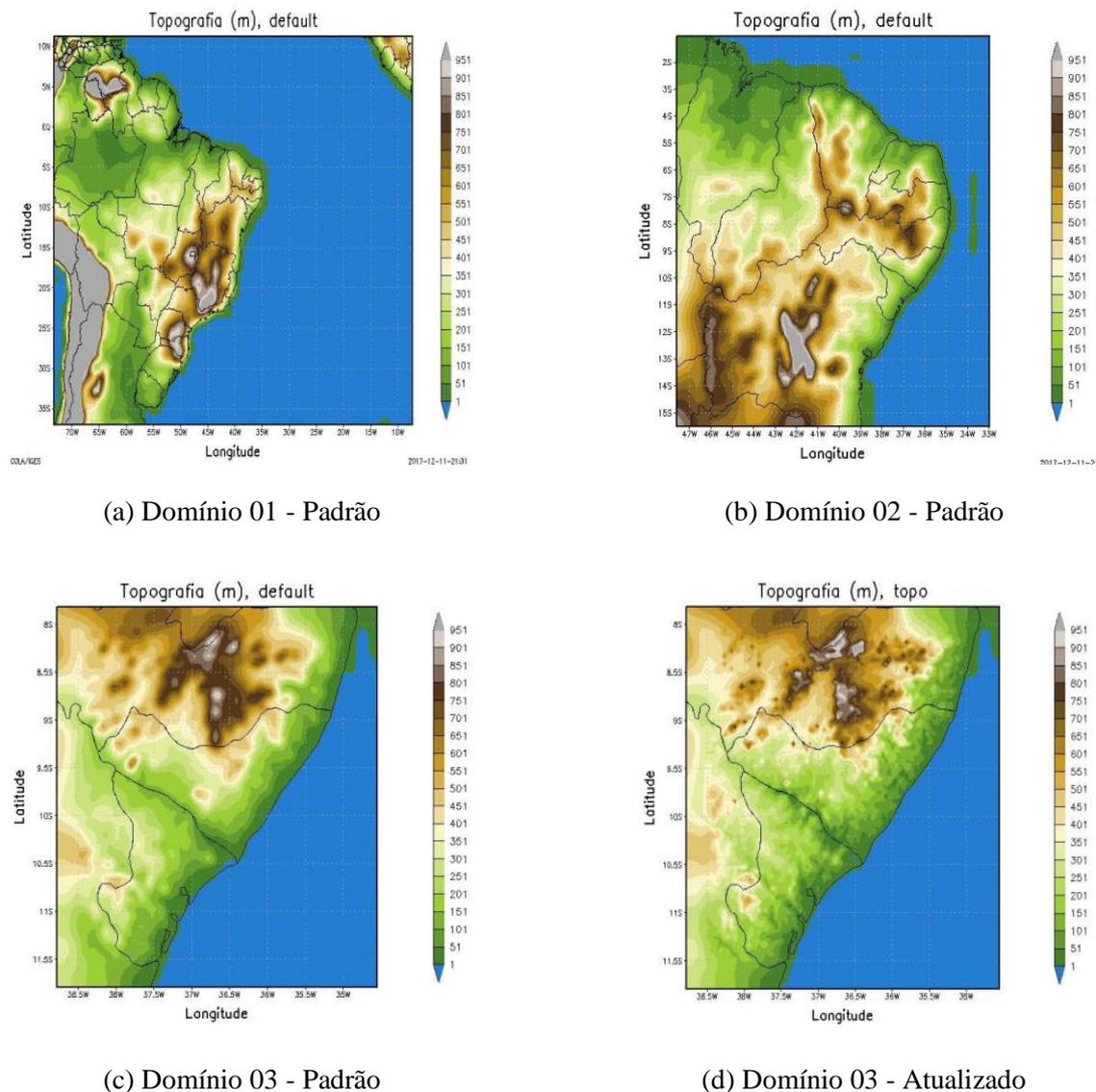
Avaliação da atualização da Topografia e Uso do Solo

A representação do terreno por parte dos modelos atmosféricos (numéricos) é normalmente muito mais suavizada que a realidade. Isso pode provocar significativos erros na simulação do escoamento do fluido atmosfera, e de outras características associadas aos meandros característicos de uma topografia complexa. A suavização do terreno é função da resolução horizontal do modelo e dos detalhes do conjunto dos dados utilizado. Se estes conjuntos de dados forem grosseiros, não poderão fornecer os detalhes da topografia para os modelos que trabalham em alta resolução. Já se a resolução do modelo for baixa, não terá informações suficientes para resolver os padrões da orografia, e os detalhes fornecidos pelo conjunto de dados serão perdidos pela suavização. Na maioria dos casos, é desejável alguma suavização do terreno, em parte porque o escoamento do ar sobre terreno complexo pode gerar ruídos de pequena escala nos campos

meteorológicos simulados, mascarando os sinais de escala maior (DANTAS et al. 2019).

Depois de atualizados os dados de uso do solo para os domínios 2 e 3, e a topografia do

domínio 3, ver figuras 2 e 3. Pode-se constatar com base nas figuras 2c e 2d, o melhor detalhamento dos meandros quanto atualizado a topografia, fato este não possível de ser realizados para os demais domínios por conta da grande massa de dados.



(a) Domínio 01 - Padrão

(b) Domínio 02 - Padrão

(c) Domínio 03 - Padrão

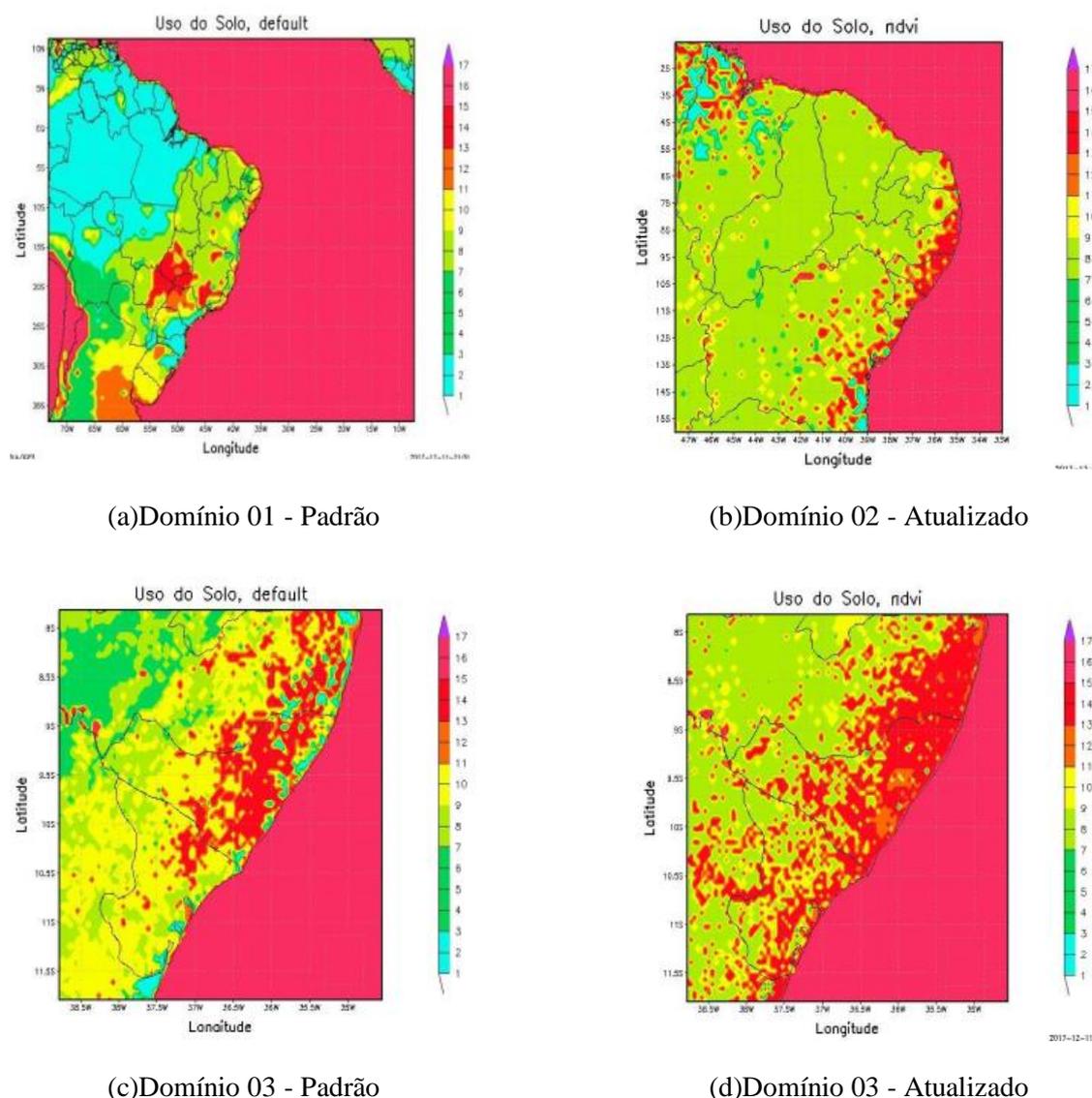
(d) Domínio 03 - Atualizado

Figura 2 - Cobertura espacial de 80km (a), 20km (b) e 5km (com atualização com dados da NOAA) (c) gerados a partir de dados topográficos padrão do modelo WRF.

Atualização do Uso do Solo

Já a figura 03, mostra os detalhes sobre a configuração dos testes realizados quanto feita as atualizações do uso do solo para o domínio 02 (NEB) e domínio 03 (Alagoas), pode-se notar

comparando as figuras 02(c) e 02(d), que houve grandes mudanças no tipo de cobertura do solo, especialmente na parte litorânea. Demonstrando a diminuição de áreas florestadas, sendo transformadas em áreas de plantio ou mesmo áreas urbanas.



(a)Domínio 01 - Padrão

(b)Domínio 02 - Atualizado

(c)Domínio 03 - Padrão

(d)Domínio 03 - Atualizado

Figura 3 - Atualização dos dados do uso do solo do modelo WRF, atualizado com dados da NOAA com cobertura espacial de 20km.

Validação da Variável Nebulosidade

A previsão realizada com o modelo WRF, para a variável nebulosidade para América do Sul e Oceano Atlântico (domínio 01), serão validadas de forma visual com as imagens de satélites GOES-13 realce colorido, observado o posicionamento das nuvens e a intensidade da cobertura de nuvens. O período analisado foi entre 10 – 19/07/2017, sempre para os horários de 9h e 15h UTC. As figuras de nebulosidade obtidas com o modelo foram produzidas com base na variável umidade relativa do ar, para diferentes níveis de altura, 1000mb até 850mb (nuvens baixas), 850mb até 500mb (nuvens médias) e 500mb até 200mb

(nuvens altas). Vale lembrar que o domínio 01 não sofreu atualizações da topografia e uso do solo.

Com base na figura 04, dia 11/07/2017, nota-se nas imagens de satélite, a atuação da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) na região Norte e Nordeste do Brasil, assim como a atuação de frentes frias na região Sul e Sudeste do Brasil. Pode-se destacar que para os horários de 9h e 15h a possível presença de onda de leste, atuando no litoral leste do NEB, vale destacar que os fenômenos citados foram detectados pelas previsões feitas com o modelo WRF quando comparamos o posicionamento e a intensidade da

nebulosidade. Tendo este padrão também representado no período da tarde, às 15h UTC.

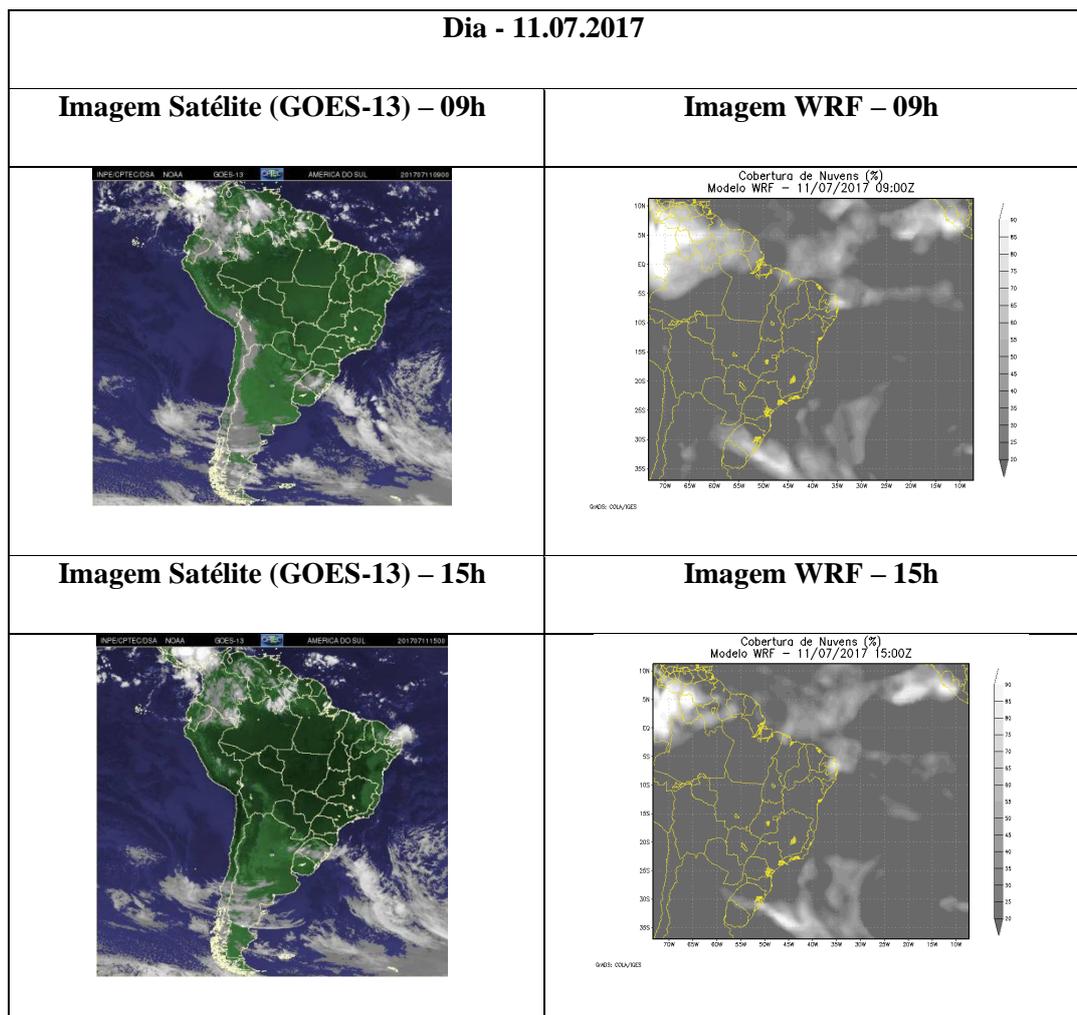
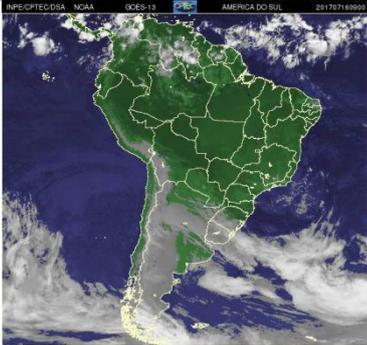
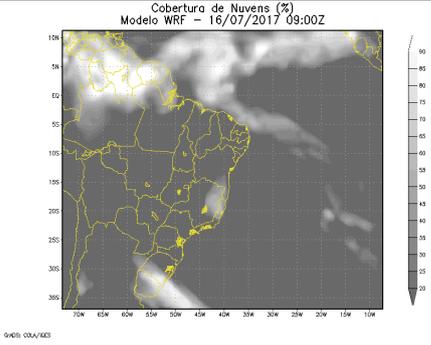
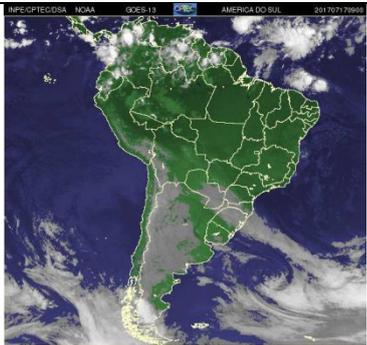
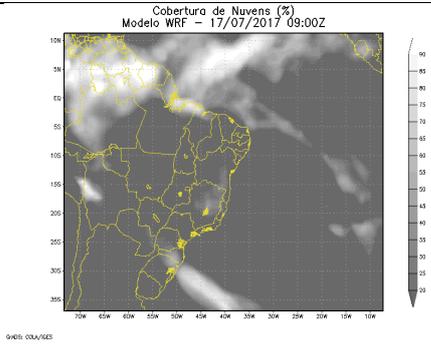
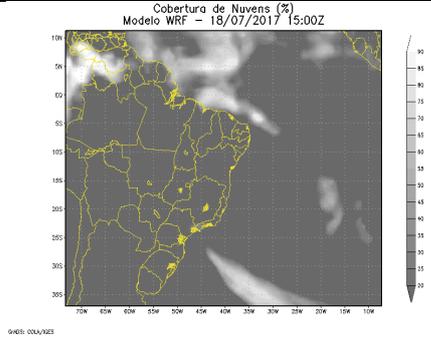


Figura 4 - Imagens do satélite GOES-13 realce colorido e imagens obtidas com o modelo WRF. Para o dia 11 de julho de 2017 às 9h e 15h UTC.

Para os dias compreendidos entre 16 – 19/07/2017, todas as análises feitas para a hora de 9h UTC. Nota-se com o auxílio da sequência de imagens, que o modelo WRF conseguiu representar a dinâmica da atmosfera representada pela nebulosidade, quando comparado as sequências de imagens de satélite, ver figura 5. No dia 16/07 na região Sul da América do Sul,

próximo a Cordilheira dos Andes, o modelo não conseguiu prever a nebulosidade, possivelmente devido ao fato do efeito limitador da altitude na representação das nuvens baixas por parte do modelo, o que demonstra a necessidade de melhorar a representação das nuvens classificadas como sendo baixas.

Dia - 16.07.2017	
Imagem Satélite (GOES-13) – 09h	Imagem WRF – 09h
	
Dia - 17.07.2017	
Imagem Satélite (GOES-13) – 09h	Imagem WRF – 09h
	
Dia - 18.07.2017	
Imagem Satélite (GOES-13) – 15h	Imagem WRF – 15h
	
Dia - 19.07.2017	
Imagem Satélite (GOES-13) – 09h	Imagem WRF – 09h

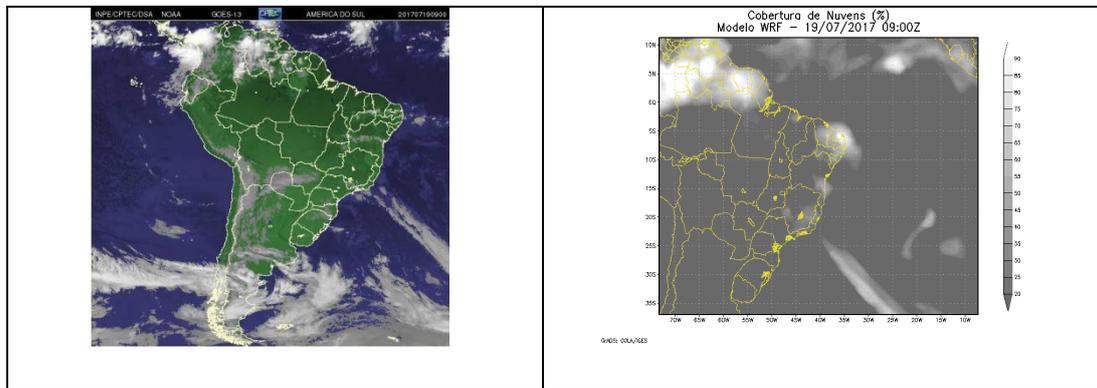


Figura 5 - Imagens do satélite GOES-13 realce colorido e imagens obtidas do modelo WRF. Para o intervalo de dias 16 à 19 de julho de 2017, todas às 9h UTC.

Validação da Variável Temperatura do Ar

Com base na figura 6 e tabela 2, nota-se para as primeiras 24h de previsão do modelo, houve maior precisão para na previsão da temperatura do ar para o período analisado, e apenas nos dias 16 e 17/07/2017 o modelo não conseguiu representar as temperaturas mínimas ocorridas durante a madrugada. Já para previsões com durações mais longas, o modelo apresentou grandes dificuldades em simular as temperaturas mínimas para 48h e 72h, mais precisamente nos dias 14,16, 17 e 19/07/2017, podendo ser notado no desvio padrão do modelo WRF para o teste *Default* (padrão), foi de 0,97 para 48h e aumentou a diferença para 1,38 em 72h. De acordo com a tabela 2, percebe-se que os melhores resultados acontecem para o viés e coeficiente de correlação das 24h, e o desvio padrão para 48h. As atualizações feitas para topografia e uso do solo não demonstraram variações significativas para as previsões realizadas, podendo-se afirmar que a ocupação do solo não seria o problema na depreciação da previsão feita para a temperatura mínima.

Com base na afirmação de Hackerott (2013), os possíveis erros causados nas previsões realizadas para as temperaturas máximas e mínimas, seriam problemas relacionados aos

esquemas que resolvem trocas de calor na CLP (Camada Limite Planetária), dos modelos regionais e globais, tanto para áreas urbanas e não urbanas. Outra hipótese para estes erros, também afirmada por Hackerott (2013) seria que a altitude das estações em relação a área de estudo, as previsões feitas pelos modelos apresentam dificuldades em representar valores extremos de temperatura do ar (máximos e mínimos), tendo melhores ajustes para representar valores médios.

Dessa forma, mesmo com as possibilidades de erros e com a variabilidade em alguns dias para para as previsões de 48h e 72h, é notável que a atualização da topografia e uso do solo gera melhores previsões no comparativo com os dados observados, portanto seria válido dispor de tempo e recursos computacionais para aumentar o processamento dos dados de topografia e uso do solo, para melhorar ainda mais a resolução. Contudo, percebe-se que a descrição física do modelo (parametrização da superfície) ainda deva influenciar bastante os resultados pela dificuldade de representar as temperaturas mínimas. Vale ressaltar que apesar das atualizações, a questão da comparação dos resultados do modelo (informações em área de 25 km²) comparado a um ponto de medição do INMET, é um fator limitante importantes na validação das previsões.

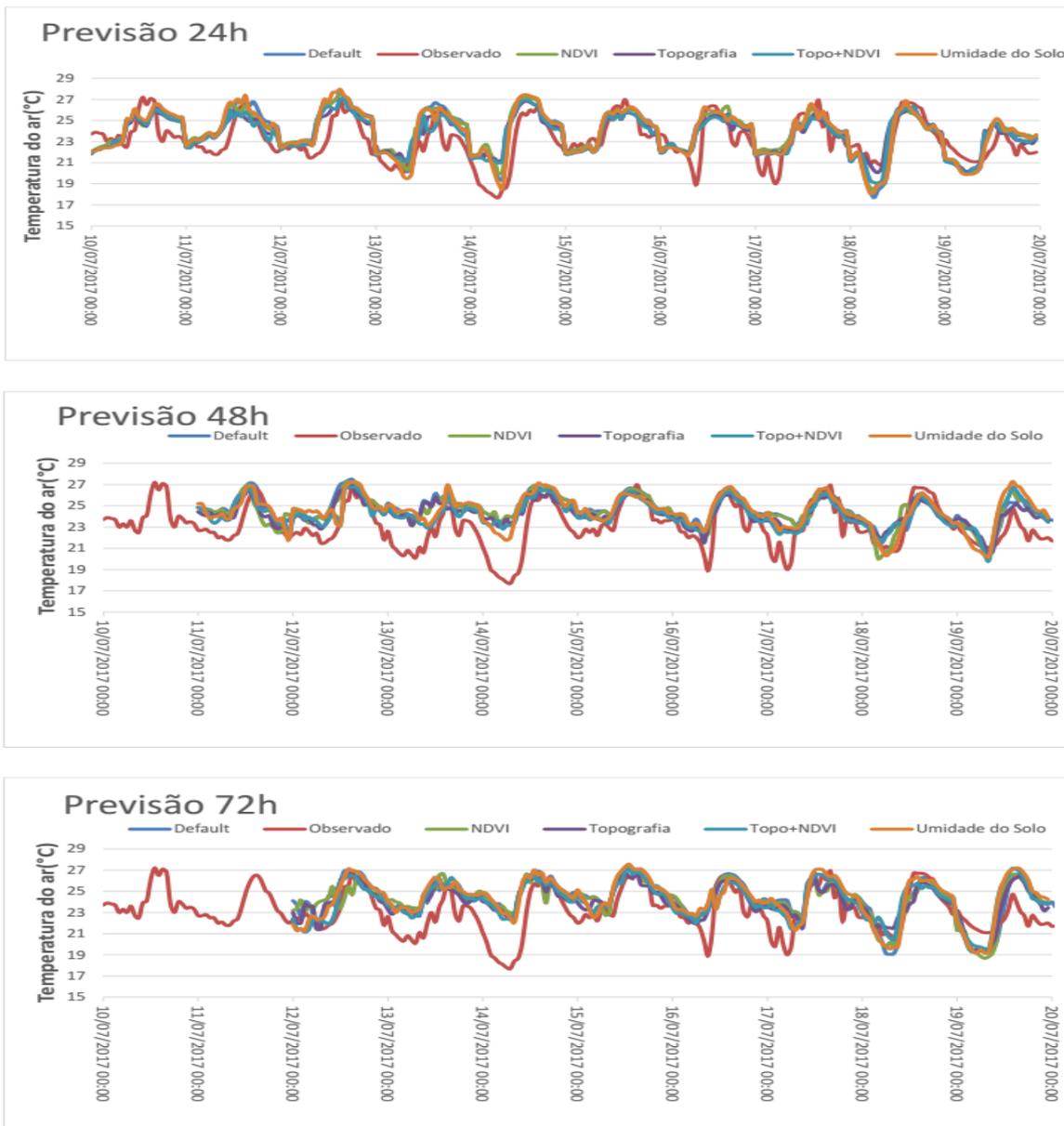


Figura 6 - Gráficos comparativos da Temperatura do Ar para previsões de 24h/48h/72h.

Em linhas gerais quando as previsões de 24, 48 e 72h, o modelo conseguiu representar as variações horárias da temperatura do ar para o

município do Maceió/AL, e a diminuição da precisão das previsões com o aumento da duração das rodadas, ver tabela 2.

Tabela 2 - Tabela de análise estatística da Temperatura do Ar para previsões de 24h/48h/72h.

		Previsão 24h			
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef. Correlação
Temperatura	Padrão(Default)	0,73	1,72	1,59	0,74
	Topografia	0,54	1,41	1,59	0,74
	Topografia+NDVI	0,49	1,48	1,59	0,73
	Umidade do Solo	0,72	1,80	1,59	0,75
		Previsão 48h			
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef. Correlação
Temperatura	Padrão(Default)	1,58	0,97	1,62	0,65
	Topografia	1,18	0,89	1,62	0,68
	Topografia+NDVI	1,15	1,02	1,62	0,70
	Umidade do Solo	1,43	1,16	1,62	0,71
		Previsão 72h			
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef. Correlação
Temperatura	Padrão(Default)	1,27	1,38	1,62	0,64
	Topografia	0,97	1,24	1,62	0,67
	Topografia+NDVI	1,05	1,41	1,67	0,66
	Umidade do Solo	1,28	1,58	1,62	0,65

Validação da Variável Precipitação Pluviométrica

Em concordância com Mariano et al., (2009), a região de Maceió apresenta clima quente e úmido, precipitação anual bastante variável e sofre grande influência de sistemas de grande escala, com direção de ventos predominantemente de sudeste, sendo a época chuvosa representada pelos meses consecutivos entre abril e julho (Quadra Chuvosa).

Na figura 7, pode-se notar que de forma visual a previsão de 24h foi melhor que 48h, e também sendo melhor que 72h. Na tabela 03, a análise estatística apresentada, comprova o nível de acerto de 48h sendo maior que as demais. Nota-se ainda que as fortes chuvas ocorridas nos dias 11, 13 e 19/07 foram representadas pelo modelo com duração da previsão de 24h e com as atualizações de topografia e uso do solo, porém nas previsões de 48h e 72h o modelo não conseguiu prever essas chuvas intensas. Nogueira (2010), alerta sobre as dificuldades envolvidas na previsão quantitativa de

precipitação utilizando modelos globais e regionais, diz ainda que a variável mais difícil de ser estimada é a precipitação, fato este também corroborado por Carvalho (2008), que afirma e seu estudo que os modelos atmosféricos superestimar a simulação da precipitação e que em alguns casos são possíveis prever sistemas meteorológicos atuantes na região do Nordeste do Brasil.

No tocante as taxas de acertos e erros, e também avisos falsos, ver tabela 3. Pode-se destacar que as previsões de 24h, feitas atualizando a topografia, apresentou taxa de acerto 66,6%, taxa de erro 33,3% e 26,6% de avisos falsos. Já para as previsões de 48h e 72h os níveis de acertos foram melhores quando atualizados a topografia e uso do solo (Topografia + NDVI), para previsão de 48h a taxa de acerto 67,92%, taxa de erro 32,08% e 21,66% de avisos falsos e para previsão de 72h a taxa de acerto 66,25%, taxa de erro 33,75% e 22,91% de avisos falsos.

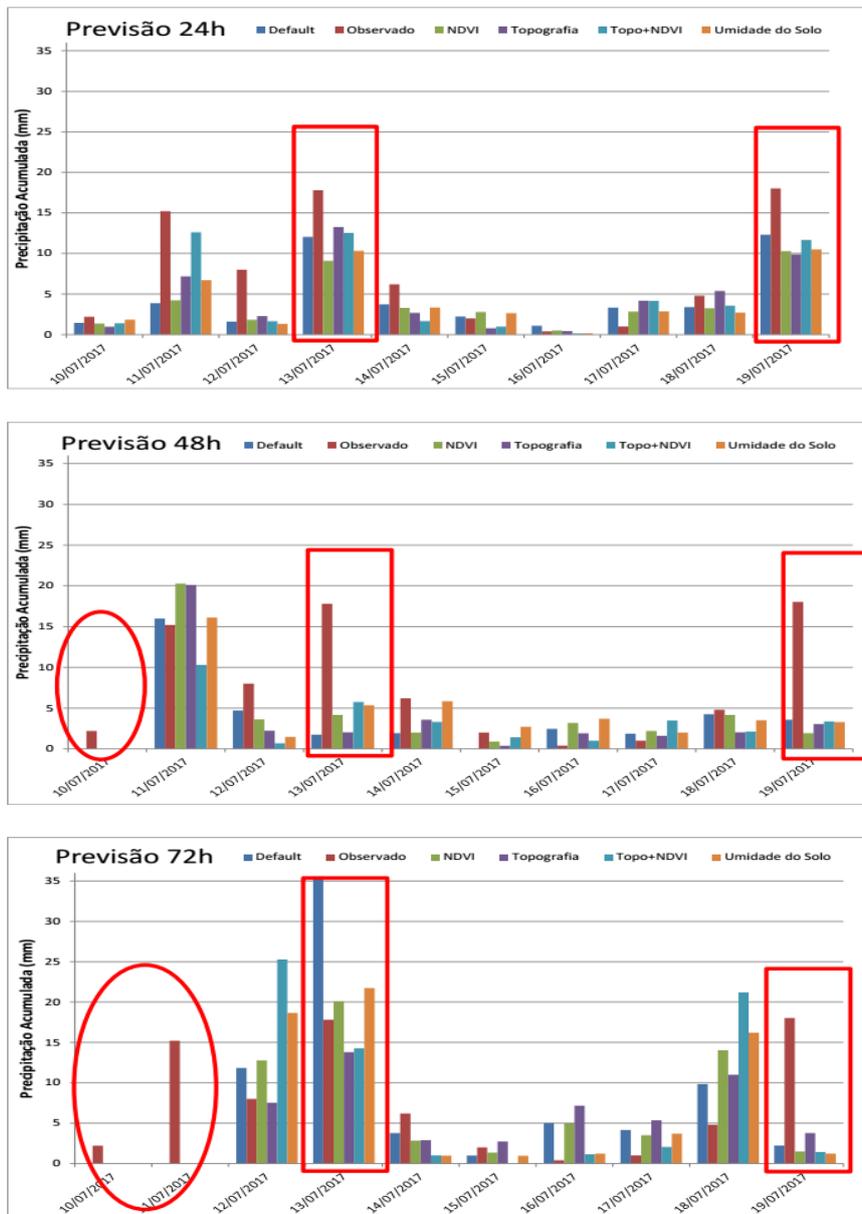


Figura 7 - Gráficos comparativos de Precipitação para previsões de 24h/48h/72h.

Tabela 3 - Percentual de acertos e erros para cada hora comparada no período do estudo de 10/07/17 a 19/07/17 das Precipitações para previsões de 24h/48h/72h.

	Default		Ndvi		Topografia		Topografia+Ndvi		Umidade do Solo	
WRF - 24H	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos
% acerto (horas acerto/horas analisadas)	60,4%	29,5%	59,5%	30,8%	66,6%	26,6%	64,5%	28,7%	60,8%	30%
% erros (horas erro/horas analisadas)	39,5%		40,4%		33,3%		35,4%		39,1%	
	Default		Ndvi		Topografia		Topografia+Ndvi		Umidade do Solo	
WRF - 48H	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos
% acerto (horas acerto/horas analisadas)	61,66%	24,58%	60,83%	27,5%	63,75%	26,25%	67,92%	21,66%	64,17%	25,41%
% erros (horas erro/horas analisadas)	38,33%		39,17%		36,25%		32,08%		35,83%	
	Default		Ndvi		Topografia		Topografia+Ndvi		Umidade do Solo	
WRF - 72H	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos	Taxa de Acerto e Erro	Avisos Falsos
% acerto (horas acerto/horas analisadas)	65,83%	25%	57,5%	28,33%	60,83%	29,58%	66,25%	22,91%	61,67%	27,5%
% erros (horas erro/horas analisadas)	34,16%		42,5%		39,17%		33,75%		38,33%	

Validação da Velocidade e Direção do Vento

Com o auxílio da figura 8, a previsão de 24h apresentaram resultados melhores para representar o padrão horário da velocidade do vento (na fase e em muitos casos nos máximos e mínimos também). Os dias 11 e 12 de julho de 2017, são exemplos de dias onde o modelo apresentou dificuldades em representar os mínimos de intensidade do vento, muito provavelmente pelo

fato dos ventos fracos serem produzidos por fenômenos de microescala (topografia e uso do solo por exemplo), onde naturalmente modelos de mesoescala utilizado neste estudo apresentariam dificuldade ao tentar prever o vento sob estas condições. Os destaque negativo vai para as previsões com duração de 48h, que apresentou os piores indicadores estatísticos e um viés de superestimativa mais intenso. De forma contrária

ao constatado pelas previsões de 24h e 72h, apresentaram os melhores resultados, sendo o destaque positivo para 24h.

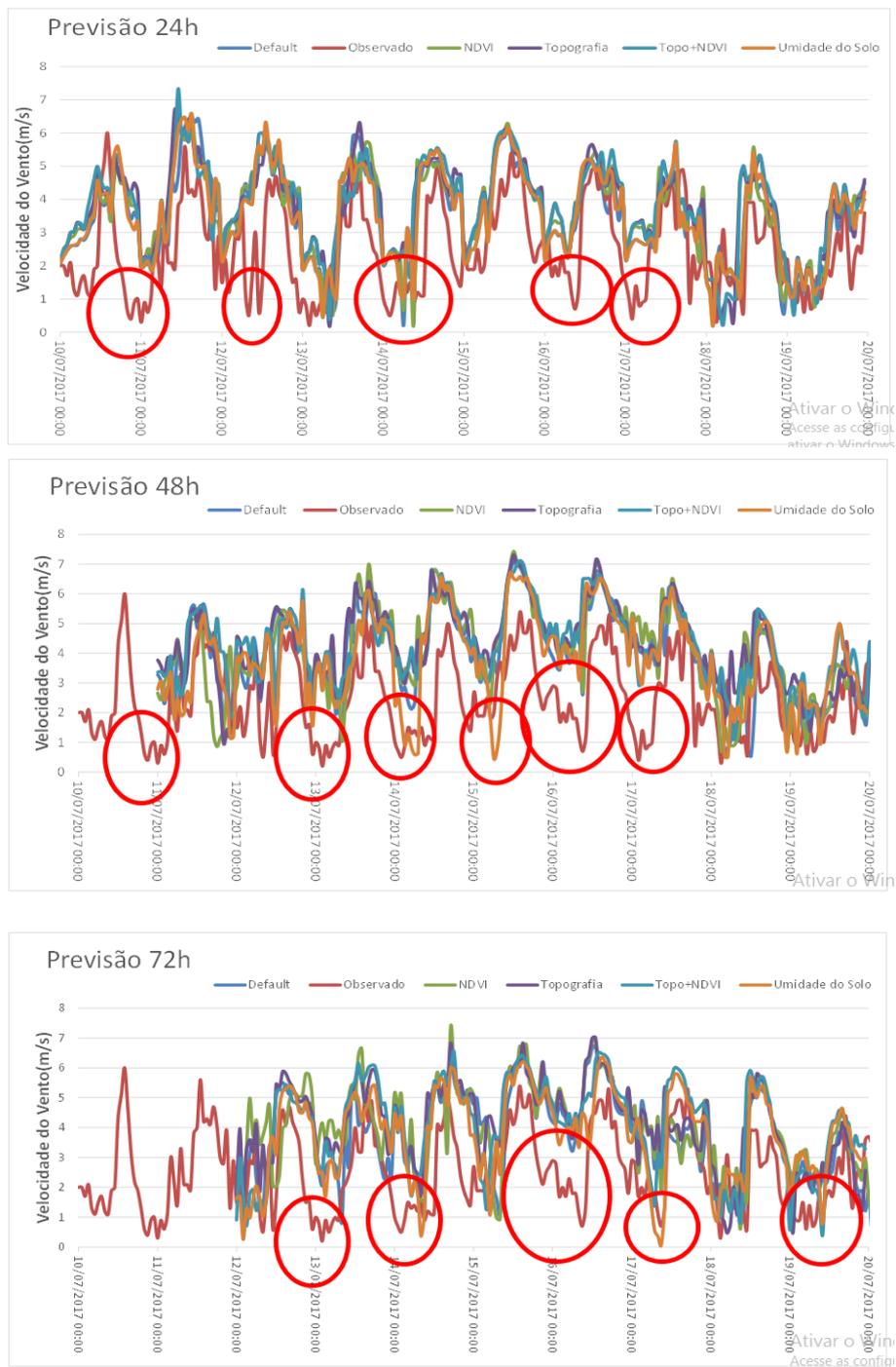


Figura 8 - Gráficos comparativos da Velocidade do Vento para previsões de 24h/48h/72h.

Ainda com base na figura 8 em especial para previsão de 48h (figura 8b), pode-se notar que o modelo no período de 14 a 17/07/2017 apresentou grandes dificuldades em prever a

velocidade do vento, especialmente nos mínimos valores de velocidade do vento com defasagem em alguns dias. Portanto, não podemos afirmar que o motivo desta dificuldade tenha sido pela má

representação das atualizações promovidas, pois os resultados mostraram atraso em alguns momentos nas previsões realizadas com o teste *Default* (padrão). A mesma situação ocorre na figura 8c, para previsão de 72h, onde as dificuldades nas previsões também são evidentes para o mesmo período de 14 a 17/07/2017, apresentando um atraso na previsão quando comparado aos dados observados.

Conforme exposto na tabela 4, as atualizações da topografia, uso do solo e umidade, foram realizadas com sucesso, pois as variabilidades dos dados foram melhor

representadas quando o modelo sofreu algum tipo de atualização. Para previsão de 24h o melhor resultado ocorreu quando atualizada a umidade do solo, com coeficiente de correlação de PEARSON de 0,67. Já para previsão de 48h a melhor representação ocorreu quando atualizado a topografia e uso do solo, com $r=0,62$. Por fim, para previsão de 72h os melhores resultados ocorreram também quando atualizado a umidade do solo, com $r=0,68$. Com base nos coeficientes de correlação, a maioria dos dados pode ser atribuída à melhoria das simulações na umidade do solo, pois a atualização feita para Topografia e NDVI não gerou mudança expressiva no estudo em questão.

Tabela 4 - Análise estatística de Velocidade do Vento para previsões de 24h/48h/72h.

		Previsão 24h			
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef.Correlação
Velocidade do Vento	Padrão(Default)	1,02	1,15	1,15	0,65
	Topografia	1,28	1,11	1,15	0,61
	Topografia+NDVI	1,30	1,12	1,15	0,60
	Umidade do Solo	1,06	1,17	1,15	0,67
		Previsão 48h			
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef.Correlação
Velocidade do Vento	Padrão(Default)	1,40	1,20	1,12	0,56
	Topografia	1,79	1,06	1,14	0,56
	Topografia+NDVI	1,76	1,06	1,14	0,62
	Umidade do Solo	1,28	1,26	1,14	0,61
		Previsão 72h			
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef.Correlação
Velocidade do Vento	Padrão(Default)	1,24	1,19	1,12	0,50
	Topografia	1,57	1,15	1,12	0,56
	Topografia+NDVI	1,57	1,29	1,12	0,65
	Umidade do Solo	1,22	1,24	1,12	0,68

As previsões realizadas para a velocidade do vento, apresentaram o mesmo padrão de variação temporal comparado ao extraído pela estação na região de estudo. A atualização da topografia, uso e umidade do solo podem ter ocasionado influência no aumento dos máximos da velocidade do vento em relação ao padrão do modelo tendo em vista que é fortemente influenciada rugosidade do terreno, segundo Ramos et. al (2012) são características importantes para a escolha de regiões adequadas na distribuição e instalação dos aerogeradores devido que em uma região pode ter diferença de topografia e rugosidade, outra constatação pode ser atribuída a maior influência dos ventos alísios ou dos ventos

locais. Fato este identificado pela dificuldade em prever as mínimas velocidades do vento, da mesma forma que ocorreu com a temperatura.

Já para a direção do vento, pode-se notar maior grau de acerto quando realizado uma análise estatística do vento predominante. Vale ressaltar que a variável direção do vento é um importante parâmetro para indicar o posicionamento das nuvens e advecção de temperatura e umidade, ou seja, influência no índice de acerto das demais variáveis.

Na figura 9 são mostradas as direções predominantes do vento em termos percentuais, e fica evidente que o modelo atmosférico WRF

conseguiu representar o padrão do vento para a variável em questão. No período em questão o vento soprou na maior parte do tempo da direção SE (acima de 60% dos casos para o observado e previsões). Não ocorrendo variações significativas entre a duração das simulações 24h/48h/72h, conferindo ao modelo a características de representar bem a direção do vento. No quesito atualizações da topografia e uso do solo, não se mostrou como sendo de grande importância para aumentar a precisão das previsões, onde

possivelmente as variações da direção do vento sejam influenciados pelos fenômenos de grande escalas em comparação aos efeitos locais. Ayoade, (1998) afirma que a variação sazonal da direção do vento é relacionada com a variação da posição do centro de alta pressão do Atlântico Sul. Segundo Ramos et. al (2012), no âmbito geral, o modelo WRF é mais eficiente em simular a direção do que a velocidade do vento em todos os estudos realizados.

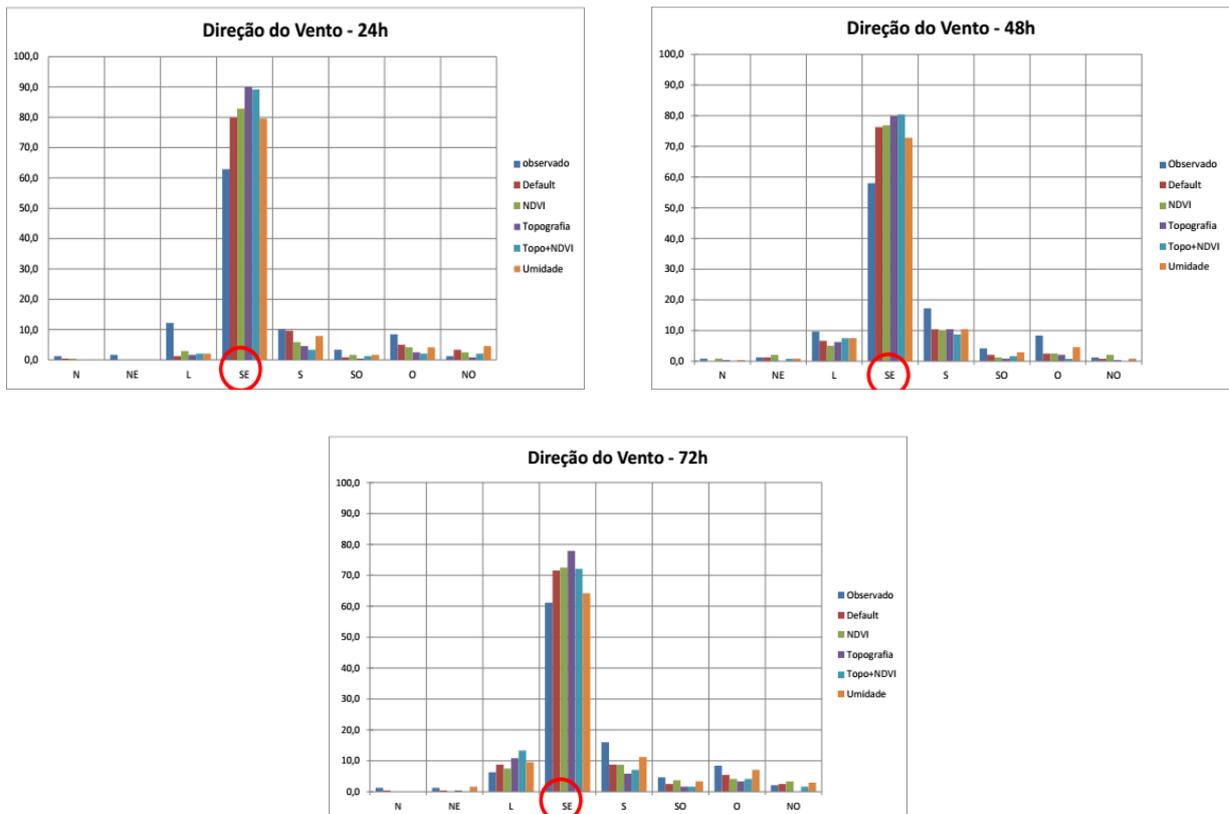


Figura 9 - Gráficos comparativos da Direção do Vento para previsões de 24h/48h/72h.

Validação da Variável Pressão Atmosférica

As análises realizadas para a variável pressão atmosférica mostraram maior destaque entre todas as comparações das variáveis realizadas, conforme pode ser visto na figura 10, ficando evidente quando atualizada a topografia que os resultados apresentaram forte melhoria na previsão (topo e topo + NDVI), pois conseguiram prever com maior exatidão os dados observados para 24h, 48h e 72h.

Em comparação aos testes sem atualização

da topografia, representados pelos testes Default, NDVI e Umidade do solo, que superestimaram os dados observados, a depender do dia, em até 06 (hPa). Os resultados estatísticos confirmam que o melhor dos cenários testados, foram topografia e topografia + NDVI, variando o coeficiente de correlação entre 0,68 e 0,74, sendo considerado uma forte correlação da comparação realizada.

As prováveis explicações para as melhores previsões ocorrem para os casos de Topografia e Topo + NDVI, e deve-se a atualização da

topografia, onde a altitude da região é fator principal para a variação da pressão atmosférica. Com isso podemos justificar que, somente os dados de NDVI ou umidade do solo não são suficientes para melhorar de forma significativa a previsão da variável pressão atmosférica. Com base na figura 10, percebe-se que os dados “default” não consegue prever o observado, pois os dados “default” do modelo possuem uma topografia

muito diferente a topografia real. Foi constatado que a altura do relevo atual do local estudado seria de 84 m, no WRF_old foi de 20,88 m, atualizado o WRF_new foi para 79 m, o tipo do solo Urbano para o teste “default” e NDVI, o fato do tipo de solo não mudar para os teste, comprova que a melhoria seria somente por conta da atualização da topografia.

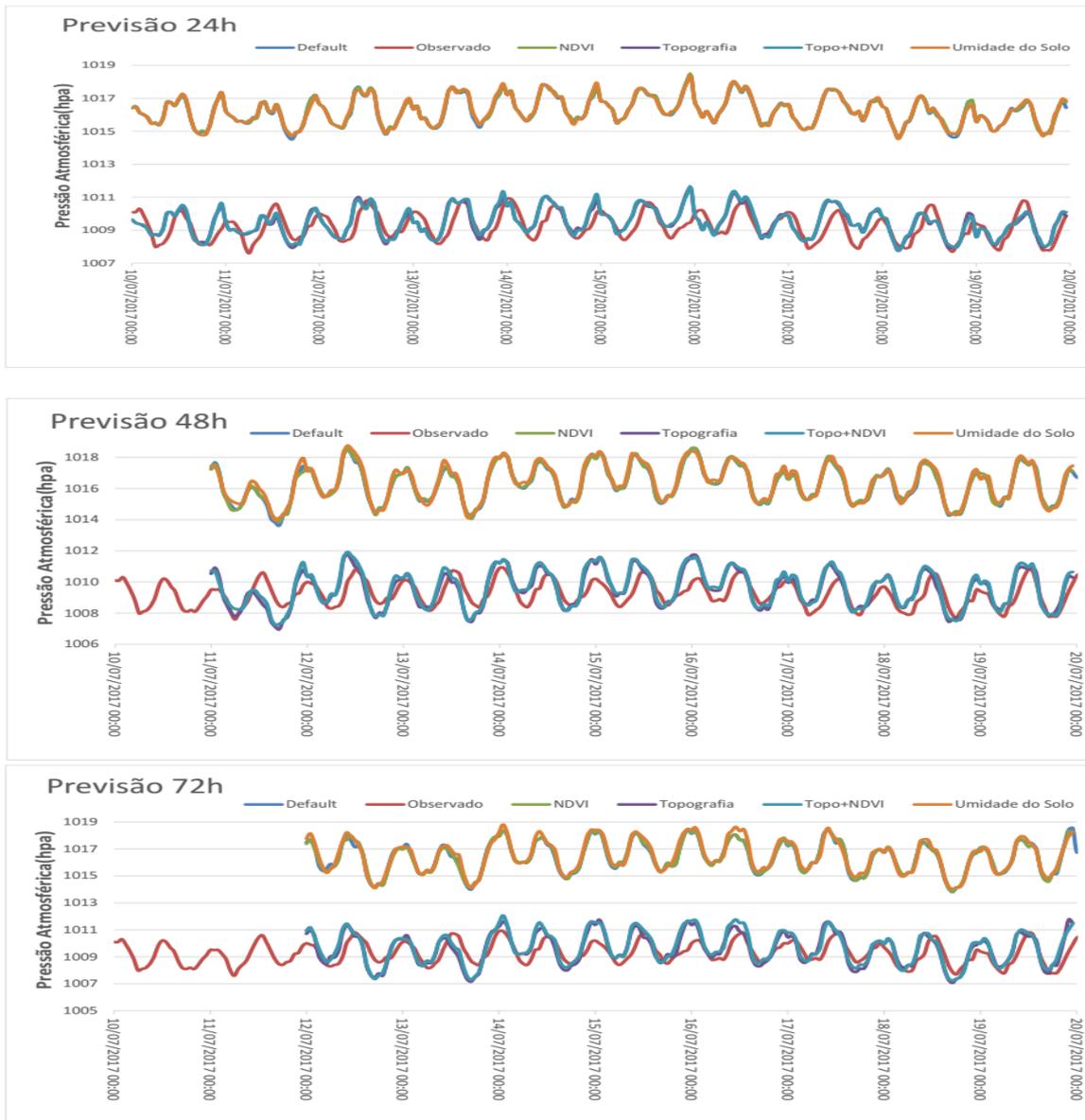


Figura 10 - Gráficos comparativos da Pressão Atmosférica para previsões de 24h/48h/72h.

Com base na Tabela 5, pode-se destacar que os parâmetros estatísticos aplicados na comparação dos dados observados e previstos para a variável pressão atmosférica. Mostra que o efeito

da atualização da topografia melhora a qualidade das previsões realizadas, tendo em vista que a correção da altura do relevo acontece quando ocorre a atualização. Tornando o viés e desvio

padrão menores e aumentando o coeficiente de correlação.

Tabela 5 - Análise estatística da Pressão Atmosférica para previsões de 24h/48h/72h.

		Previsão 24h			
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef. Correlação
Pressão Atmosférica	Padrão(Default)	7,01	0,69	0,69	0,67
	Topografia	0,24	0,68	0,69	0,68
	Topografia+NDVI	0,27	0,70	0,69	0,68
	Umidade do Solo	7,04	0,69	0,69	0,67
		Previsão 48h			
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef. Correlação
Pressão Atmosférica	Padrão(Default)	7,05	0,99	0,69	0,69
	Topografia	0,28	0,98	0,68	0,70
	Topografia+NDVI	0,38	1,01	0,68	0,71
	Umidade do Solo	7,16	1,01	0,69	0,70
		Previsão 72h			
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef. Correlação
Pressão Atmosférica	Padrão(Default)	7,04	0,97	0,67	0,70
	Topografia	0,26	1,00	0,68	0,71
	Topografia+NDVI	0,45	1,00	0,70	0,74
	Umidade do Solo	7,18	1,02	0,68	0,74

Conclusões

As atualizações realizadas proporcionaram uma melhora na previsibilidade para o município de Maceió/AL. Com base nos resultados, conclui-se que o modelo de mesoescala WRF conseguiu prever as variáveis analisadas como precipitação, temperatura do ar, direção do vento, velocidade do vento e pressão atmosférica, o que reafirmar a sua condição de ser uma ferramenta poderosa para realizar previsão em curto prazo.

As atualizações da topografia e uso do solo gerou melhorias nas comparações realizadas para todas as variáveis analisadas, em destaque a previsão da variável pressão atmosférica, quando atualizada a topografia ocorreram sensíveis melhorias nos indicadores estatísticos em comparação aos demais testes que não contaram com mesma atualização. Além disso, as análises estatísticas e figuras apresentadas comprovam que o modelo previu melhor para 24h do que para 48h e nesta sequência melhor que 72h, ou seja, existiu a depreciação das previsões com o aumento da duração das previsões.

Quanto a resolução do modelo, as previsões realizadas com resolução de 5 km do modelo (domínio 03), conseguiu representar as variações quanto a fase e máximos e mínimos das

variáveis estudadas, no caso da variável velocidade do vento, o modelo apresentou dificuldade de representar os mínimos valores.

Na maior parte das comparações realizadas, a proposta do teste topo+NDVI (atualização topografia e uso do solo), foram as que apresentou melhores indicadores estatísticos. Logo recomenda-se a atualização da topografia e uso do solo para melhorar as previsões realizadas com o modelo atmosférico WRF.

Referências

- Argüeso, Daniel, José M. Hidalgo-Muñoz, Sonia R. Gámiz-Fortis, María Jesús Esteban-Parra, Jimmy Dudhia, Yolanda Castro-Díez, 2011. Evaluation of WRF Parameterizations for Climate Studies over Southern Spain Using a Multistep Regionalization. *J. Climate*, 24, 5633–5651.
- Ayoade, J.O., 1986. Introdução à climatologia para os trópicos. Tradução: Maria Juraci Zani dos Santos. São Paulo: DIFEL.
- Dantas, V. A., Filho, V. P. S., Santos, E. B., Gandu, A. W., 2019. Testando diferentes esquemas de parametrização cumulus do modelo WRF, para a região Norte Nordeste do Brasil, *Revista Brasileira de Geografia Física* 12, 754-767.
- Gevaerd, R. E Freitas, S. R., 2006. Estimativa operacional da umidade do solo para

iniciiação de modelos de previsão numérica da atmosfera. Parte I: Descrição da metodologia e validação, *Revista Brasileira de Meteorologia* 21, 1–15.

- Hackerott, J. A., 2013. Simulação numérica a partir do modelo WRF e análise de ventos em superfície na região da Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Meteorologia – Universidade de São Paulo).
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Rio de Janeiro, www.ibge.gov.br, acessado em 22/01/2018.
- Macedo, L. R.; Henkes, A. F.; Yamasaki, Y., 2011. Modelo WRF Na Previsão de um Evento Severo no Rio Grande do Sul. In: IV Encontro Sul-Brasileiro de Meteorologia, Pelotas. IV Encontro Sul-Brasileiro de Meteorologia 4.
- Mariano, G. L.; Moura, M. A. L., 2009. Comportamento da temperatura do lixo em duas épocas distintas (seca e chuvosa) no lixão da cidade de Maceió, AL. *Ciência e Natura*, UFSM, v.31, pp. 57 - 70.
- Mollmann Junior, R, A.; Silva Junior. R. S.; Gomes, H. B.; Moura, M. A. L., 2013. Estudo da Dispersão de Monóxido de Carbono (CO) Emitido Através da Queima de Cana-De-Açúcar, no Estado De Alagoas. *Revista Brasileira de Geografia Física* 06, 488-499.
- Oliveira, E. L.A; Robaina, L. E. S.; Reckziegel, B.W., 2004. Metodologia utilizada para o mapeamento de áreas de risco geomorfológico: bacia do Arroio Cadena, Santa Maria – RS. In: Simpósio Brasileiro De Desastres Naturais, 1, Florianópolis: GEDN-UFSC, p 248-261.
- Oliveira, J. L., 2007. Influência da circulação geral e da variabilidade interanual sobre o potencial eólico do Nordeste brasileiro. Dissertação de Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas: Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, p. 124.
- Pereira, A R., Angelocci, L.R., Sentelhas, P. C., 2002. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, p. 478.
- Ramos, D. N. S.; Lyra, R. F. F.; Silva Júnior, R. S., 2013. Previsão do Vento Utilizando o Modelo Atmosférico WRF Para o Estado. *Revista Brasileira de Meteorologia* 28, 163 - 172.
- Rell, G. A., Peckham, S.E., Schmitz, R., Mckeen, S.A., Wilczak, J. E Eder, B., 2005. Fully coupled online chemistry within the WRF model, *Atmospheric Environment*.39; 6957-6975.
- Skamarock, W. C.; Klemp, J. B.; Dudhia, J.; Gill, D. O.; Barker, D. M.; Wang, W.; Powers, J. G. A., 2005. Description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR/Tech. Notes, 2005.