



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA PREVISÃO NUMÉRICA DO TEMPO DE
CURTO PRAZO PARA O MUNICÍPIO DE MACEIÓ/AL, UTILIZANDO O
MODELO WRF.

BRUNO CÉSAR TEIXEIRA CARDOSO

MACEIÓ – AL

2018

BRUNO CÉSAR TEIXEIRA CARDOSO

ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA PREVISÃO NUMÉRICA DO TEMPO DE
CURTO PRAZO PARA O MUNICÍPIO DE MACEIÓ/AL, UTILIZANDO O
MODELO WRF.

Dissertação submetida ao colegiado do Curso
de Pós-Graduação em Meteorologia da
Universidade Federal de Alagoas - UFAL,
como parte dos requisitos necessários para
obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador:

Prof. Dr. Rosiberto Salustiano da Silva Júnior

MACEIÓ – AL

2018

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária responsável: Janis Christine Angelina Cavalcante – CRB: 1664

C268e Cardoso, Bruno Cesar Teixeira.

Estudo da eficiência da previsão numérica do tempo de curto prazo para o município de Maceió, utilizando o modelo WRF. / Bruno Cesar Teixeira Cardoso. – 2018.

96 f. : il. color., grafs. tabs.

Orientador: Rosiberto Salustiano da Silva Junior.

Dissertação (Dissertação de mestrado em Meteorologia) –
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió,
2018.

Bibliografia: f. 85-89.

Anexos: f. 90-96.

1. Previsão do tempo. 2. Modelo WRF. 3. Topografia. 4. Uso do solo.
I. Título.

CDU: 551.509



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-154.

***“ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA PREVISÃO NUMÉRICA DO TEMPO DE
CURTO PRAZO PARA O MUNICÍPIO DE MACEIÓ-AL, UTILIZANDO O
MODELO WRF.”***

Bruno Cesar Teixeira Cardoso

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

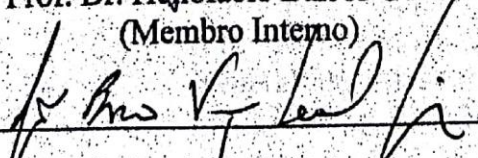
Aprovado pela Banca Examinadora composta por:



Prof. Dr. Rosiberto Salustiano da Silva Junior
(Orientador)



Prof. Dr. Heliofábio Barros Gomes
(Membro Interno)



Prof. Dr. João Bosco Verçosa Leal Junior
(Membro Externo)

JUNHO /2018

DEDICATÓRIA

À minha família, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, meu pai (Apolônio - *in memoriam*), minha mãe (Maria Alice), meus irmãos (Carolina e Daniel), meus filhos (Lucas e Giovanna) e minha noiva (Anna Paula), por terem me apoiado nos momentos bons e não tão bons, sendo as pessoas que me fizeram buscar força e inspiração.

Ao Prof. Dr. Rosiberto Salustiano, pela paciência, amizade e companheirismo por ter acreditado e me motivado a todo o momento, além de enriquecendo meus conhecimentos na área computacional de meteorologia e pela sua orientação tornando possível a conclusão deste trabalho e contribuindo para meu crescimento profissional.

Ao meu amigo Prof. Dr. Heliofábio Barros Gomes que incentivou para realizar o mestrado na Meteorologia e todo apoio durante o curso.

Aos amigos de turma e do Laboratório de Modelagem Atmosférica, parceiros e incentivadores mútuos, principalmente nos momentos difíceis que às vezes enfrentávamos.

Agradeço o apoio, motivação, compreensão dos meus amigos/irmãos da equipe de Jiu-Jitsu Vicente Júnior da qual faço parte e tenho muito orgulho.

RESUMO

Neste trabalho aplicam-se métodos simples de estatística para comparar o desempenho do modelo realizando o comparativo das variáveis meteorológicas com dados observados de uma estação automática e dados simulados pelo modelo WRF. Com a inserção dos modelos numéricos, se tornou possível realizar previsão do tempo com melhor confiabilidade e um curto prazo em busca de resultados mais eficientes. Os dados analisados dessas variáveis foram do período de 10 a 19 de julho de 2017, utiliza-se estatística e ferramentas computacionais: modelo atmosférico de mesoescala (WRF), planilhas eletrônicas, além de linguagens de programação específicas e scripts para execução dos dados. A estação automática da qual foram extraídos os dados observados está localizada em Maceió. As simulações do WRF foram validadas através de séries de dados e análises estatísticas e ficou comprovado que nas variáveis houve eficiência do WRF nas previsões. Os resultados mostraram-se eficiente com coeficiente de correlação entre média e forte para 24h na maioria dos simulados e uma correlação média para 48h e 72h na maioria dos simulados, foi possível concluir que o modelo está ajustado para prever valores médios e que em alguns momentos que os resultados mínimos e máximos não conseguiram ser simulados, logo é possível indicar o modelo como uma ferramenta a ser utilizada para realizar previsão de curto prazo desde que haja atualização de topografia e uso do solo para o município de Maceió. Nessa pesquisa foi possível obter resultados satisfatórios, porém pode-se aperfeiçoar os equipamentos de medição e processamento de dados para se obter resultados ainda mais satisfatórios.

Palavras-Chave: Previsão do Tempo. Modelo WRF. Topografia. Uso do Solo.

ABSTRACT

With the insertion of the numerical models, it became possible to carry out a more reliable and short-term forecast of the time in search of more efficient results besides being necessary to improve the model and to acquire knowledge of its performance. In this work we apply simple statistical methods to compare the performance of the model by comparing the meteorological variables with observed data from an automated weather station (AWS) and data simulated by the WRF model. The analyzed data of these variables were from July 10 to 19, 2017, using statistical and computational tools: atmospheric mesoscale model (WRF), spreadsheets, as well as specific programming languages and scripts for data execution. The (AWS) from which the observed data was extracted is located in Maceió. The WRF simulations were validated through data series and statistical analyzes and it was verified that in the variables there was efficiency of the WRF in the predictions. The results expected with correlation coefficient between average and strong for 24h in most simulated and a mean correlation for 48h and 72h in most of the simulated, it was possible to conclude that the model is adjusted to predict average values and that in some moments that the minimum and maximum results could not be simulated, it is therefore possible to indicate the model as a tool to be used to carry out short-term forecasting provided there is updating of topography and land use for the city of Maceió. In this research it was possible to obtain expected results, but the equipment of measurement and data processing can be improved to obtain even more satisfactory results.

Key-Words: Weather Forecast. Model WRF. Topography. Use of the soil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Ilustração da influência do espaçamento entre pontos de grade, na representação de parâmetros meteorológicos contínuos. Fonte: Autor (adaptação das notas de aula do Prof. Adilson Wagner Gandu IAG/USP).....	27
Figura 02 - Localização do Estado de Alagoas na região Nordeste do Brasil. Fonte: EMBRAPA (2012).....	34
Figura 03 - Mesorregiões de Alagoas, Leste (Mata Norte, Litoral e Mata Sul), agreste e o sertão. Fonte: IBGE (2015).....	35
Figura 04 - Localização da estação meteorológica automática (Maceió-A303) do INMET.....	36
Figura 05 - Normais Climatológicas do Brasil. Precipitação acumulada mensal e anual(mm). Fonte: INMET (2017).....	42
Figura 06 - Cobertura espacial de 80km(a) e 20km(b) gerados a partir de dados topográficos do modelo WRF. Fonte: Autor.....	44
Figura 07 - Atualização dos dados topográficos do modelo WRF, atualizado com dados da NOAA com cobertura espacial de 5km. Fonte: Autor.....	45
Figura 08 - Cobertura espacial de 80km gerados a partir de dados do uso do solo do modelo WRF. Fonte: Autor.....	46
Figura 09 - Atualização dos dados do uso do solo do modelo WRF, atualizado com dados da NOAA com cobertura espacial de 20km. Fonte: Autor.....	47
Figura 10 - Atualização dos dados de uso do solo do modelo WRF, atualizado com dados da NOAA com cobertura espacial de 5km. Fonte: Autor.....	48
Figura 11-1 - Imagens do satélite GOES-13 realce colorido e imagens obtidas do modelo WRF. Ambas para os dias 10 e 11/07/2017.....	51
Figura 11-2 - Imagens do satélite GOES-13 realce colorido e imagens obtidas do modelo WRF. Ambas para os dias 12 e 13/07/2017.....	52

Figura 11-3 - Imagens do satélite GOES-13 realce colorido e imagens obtidas do modelo WRF. Ambas para os dias 14 e 15/07/2017.....	53
Figura 11-4 - Imagens do satélite GOES-13 realce colorido e imagens obtidas do modelo WRF. Ambas para os dias 16 e 17/07/2017.....	55
Figura 11-5 - Imagens do satélite GOES-13 realce colorido e imagens obtidas do modelo WRF. Ambas para os dias 18 e 19/07/2017.....	56
Figura 12 - Gráficos comparativos da Temperatura do Ar para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.....	59
Figura 13 - Gráficos comparativos de Precipitação para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.....	62
Figura 13-a - Imagens geradas pelo modelo WRF de Precipitação de precipitações acumuladas no dia 11/07/17 de 00-06h, 06-12h, 12-18h. Fonte: Adaptado pelo Autor.....	64
Figura 13-b - Imagens do satélite GOES-13 canal infravermelho de Precipitação de precipitações acumuladas no dia 11/07/17 de 00-06h, 06-12h, 12-18h. Fonte: CPETC, 2017. Adaptado pelo Autor.....	65
Figura 13-c - Imagens geradas pelo modelo WRF de Precipitação de precipitações acumuladas no dia 13/07/17 de 00-06h, 06-12h, 12-18h. Fonte: Adaptado pelo Autor.....	66
Figura 13-d - Imagens do satélite GOES-13 canal infravermelho de Precipitação de precipitações acumuladas no dia 13/07/17 de 00-06h, 06-12h, 12-18h. Fonte: CPETC, 2017. Adaptado pelo Autor.....	67
Figura 13-e - Imagens geradas pelo modelo WRF de Precipitação de precipitações acumuladas no dia 19/07/17 de 00-06h, 06-12h, 12-18h. Fonte: Adaptado pelo Autor.....	69
Figura 13-f - Imagens do satélite GOES-13 canal infravermelho de Precipitação de precipitações acumuladas no dia 19/07/17 de 00-06h, 06-12h, 12-18h. Fonte: CPETC, 2017. Adaptado pelo Autor.....	70

Figura 14 - Gráficos comparativos da Velocidade do Vento para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.....	74
Figura 15 - Gráficos comparativos da Direção do Vento para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.....	79
Figura 16 - Gráficos das simulações da Direção do Vento com dados observados e simulados para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.....	80
Figura 17 - Gráficos comparativos da Pressão Atmosférica para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.....	81
Figura 18 - Gráficos comparativos da Umidade Relativa para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.....	90
Figura 19 - Gráficos comparativos da Temperatura do Ponto de Orvalho para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.....	91
Figura 20 - Gráficos comparativos da Radiação Solar para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Características da área de estudo do município de Maceió, Altura do relevo e uso do solo.....	38
Tabela 02 - Características dos tipos de solo na área de estudo do município de Maceió. Fonte: IGBP, 2017.....	39
Tabela 03 - Classificação dos valores das correlações de Pearson. Fonte: Adaptado de Cavalcante, 2003.....	40
Tabela 04 - Tabela de análise estatística da Temperatura do Ar para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.....	60
Tabela 05 - Tabela de análise estatística de Precipitação para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.....	63
Tabela 06 - Tabela com o 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. Fonte: Autor.....	71
Tabela 07 - Tabela de análise estatística de Velocidade do Vento para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.....	75
Tabela 08 - Tabela de análise estatística de Direção do Vento para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.....	77
Tabela 09 - Tabela de análise estatística de Pressão Atmosférica para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.....	82
Tabela 10 - Tabela de estatista de viés, desvio padrão e coeficiente de correlação comparando os dados no período do estudo de 10/07/17 a 19/07/17 para previsão de 24h. Fonte: Autor.....	93
Tabela 11 - Tabela de estatista de viés, desvio padrão e coeficiente de correlação comparando os dados no período do estudo de 10/07/17 a 19/07/17 para previsão de 48h. Fonte: Autor.....	94
Tabela 12 - Tabela de estatista de viés, desvio padrão e coeficiente de correlação comparando os dados no período do estudo de 10/07/17 a 19/07/17 para previsão de 72h. Fonte: Autor.....	95

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DOL – Distúrbios Ondulatórios de Leste

ENOS – El Niño Oscilação Sul

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LI – Linhas de Instabilidade

MDE – Modelo Digital de Elevação

NASA – **National Aeronautics and Space Administration**

NCAR – **National Center for Atmospheric Research**

NCEP – **National Center for Environmental Prediction**

NEB – Nordeste Brasileiro

NOAA – **National Ocean and Atmospheric Administration**

OMM – Organização Meteorológica Mundial

PNT – Previsão Numérica do Tempo

POA – Perturbação Ondulatória dos Alísios

SEMARH – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos

SRTM – **Shuttle Radar Topography Mission**

UFAL – Universidade Federal de Alagoas

UTM – Universal Transversa de Mercator

WRF – **Weather Research and Forecasting**

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	13
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1- Previsão do Tempo	17
2.2- Variáveis Climáticas	18
2.3- Ferramentas utilizadas na previsão do tempo	21
2.4- Modelagem Atmosférica	22
2.5- A influência da Topografia e Uso do Solo na Previsão do Tempo.....	25
2.6- Uso de Radar e Satélite na previsão do tempo	27
2.7- Principais campos meteorológicos de previsão do tempo	28
2.8- Sistemas Meteorológicos Atuantes em Alagoas	29
3- MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1- Caracterizações do Estado de Alagoas	31
3.2- Dados Observados	33
3.3- Modelo atmosférico utilizado	34
3.4- Análises Estatísticas	37
4- RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1- Testes de atualização de Topografia e Uso do Solo	41
4.2- Atualização do Uso do Solo	44
4.3- Validação da Variável Nebulosidade	47
4.4- Validação da Variável Temperatura do Ar	55
4.5- Validação da Variável Precipitação Pluviométrica	58
4.6- Validação da Variável Velocidade do Vento	70
4.7- Validação da Variável Direção do Vento	73
4.8- Validação da Pressão Atmosférica	78
5- CONCLUSÃO	80
6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
Anexos	87

1- INTRODUÇÃO

Atualmente destaca-se a importância de realizar previsão do tempo de curto prazo, com a finalidade de fazer estimativas das variáveis meteorológicas (consequentemente tendo uma avaliação do meio ambiente) para que a sociedade possa usar como ferramenta no seu cotidiano e fazer uso das previsões para os devidos fins no dia a dia. Previsões dos fenômenos como tempestades, chuvas, ventos, formação de gelo, auxiliam na orientação da melhor rota para o navio. Muitos aspectos da indústria, comércio e agricultura tem influência em relação ao tempo. Todos os aspectos do tempo podem ser importantes para as mais diversas áreas, tanto para a previsão de lucros como para a proteção de bens e pessoas. A previsão também pode ser útil para o turismo, onde o tempo indica quais os melhores locais a serem visitados nas condições de tempo presente e futuro. O cotidiano da sociedade atual se baseia na condição do tempo e clima, fazendo com que seja realizado um planejamento das atividades a serem realizadas com base nas previsões.

A previsão é feita a partir da análise de dados captados em todo o mundo por uma rede internacional. Até o fim da Segunda Guerra Mundial, as informações meteorológicas tinham fins militares. Com a criação da Organização das Nações Unidas, os países começaram a trabalhar em conjunto e surgiu a Organização Meteorológica Mundial (OMM) em 1950. Ela estabelece o estado inicial global, que mostra as condições de tempo em todo o planeta a partir de dados obtidos pelos países membros. Mesmo com tantos dados e poderosos computadores, muito da previsão vem da leitura que os meteorologistas fazem dessas informações, com isso as previsões para um mesmo local em um mesmo dia podem variar devido as análises meteorológicas. Outro problema é que há áreas do globo sobre as quais há menos informações, o que deixa a previsão menos precisa. A coleta de informações começa em terra na estação meteorológica. Em geral, esses instrumentos são alimentados por painéis de energia solar.

Seria extremamente inviável monitorar todo o globo com estações meteorológicas por conta do alto custo e logística. Por isso, além das estações meteorológicas automáticas e convencionais do INMET, também são utilizadas miniestações espalhadas em lugares como os aeroportos, que medem ventos,

pressão atmosférica, chuva e umidade do ar, por exemplo. Além de usar os dados para garantir a segurança dos vôos, os aeroportos também os enviam à OMM, que com tantas informações vindas de fontes tão diferentes, organiza o processamento dos dados vindos de 182 países e 6 territórios. Algumas empresas de meteorologia fazem boletins meteorológicos para meios de comunicação. Existem canais de TV especializados no assunto e emissoras que têm meteorologistas próprios

A principal dificuldade de realizar previsão do tempo no Nordeste e no Brasil é a quantidade reduzida de profissionais na área e a falta de investimento do governo em equipamentos que facilitem o trabalho de processar os dados coletados, ou seja, os dados são coletados em quase todo o globo e parte deles compartilhados, mas as análises devem ser feitas pelos profissionais daquela região onde existe o interesse em realizar as previsões. Em Alagoas existem alguns órgãos que realizam o trabalho de análise e previsão do tempo que traz informações importantes para toda a sociedade local, mas a falta de profissionais na área e falta de investimento do governo em equipamentos é fato e dificulta a melhoria desse tipo de trabalho.

O progresso da computação tornou a Previsão Numérica do Tempo (PNT) um instrumento poderoso para a evolução da meteorologia operacional e climatológica. A utilização de modelos matemáticos que resolvem as equações primitivas vindas da mecânica dos fluídos e que descrevem os processos fundamentais que ocorrem na atmosfera vem ganhando espaço nos últimos tempos graças ao avanço tecnológico dos supercomputadores com capacidade de processamento de trilhões de cálculos por segundo. O WRF se encontra em diversos trabalhos que estão sendo feitos relacionados à validação deste modelo concentrando no ensaio das possibilidades oferecidas pelo vasto leque de configurações possíveis que incluem vários esquemas de parametrização para cada processo físico, diferentes opções na formulação dinâmica e inúmeras alternativas nos próprios métodos numéricos.

De modo a exemplificar as dificuldades de realização da previsão de curto prazo, no tocante a representatividade a validação dos modelos, Gandu et al, (1986) afirmam que os fenômenos meteorológicos de mesoescala não conseguem ser representados ou estudados com parâmetros observados em apenas um “ponto” de medida, tal como uma estação meteorológica de

superfície ou uma radiosondagem. De alguns anos até a atualidade, os fenômenos meteorológicos passaram a ter grande importância econômica e social, já que alguns deles estão associados a inúmeros eventos meteorológicos extremos tais como: ventos fortes, chuvas intensas e relâmpagos.

Com base em Skamarock et al, (2005), as análises das saídas dos modelos inicialmente assume-se o pressuposto de que esses dados representam bem as condições meteorológicas sobre a região estudada. Esse nem sempre é o caso, pois em algumas regiões o modelo atua bem, representando de forma realística as diferentes variáveis quando comparados a dados observados, no entanto, em outras regiões o modelo pode encontrar certas dificuldades na previsão devido a diversos fatores tais como topografia, vegetação, condição inicial, umidade e tipo do solo, entre outras anomalias. Entretanto, o modelo tende a não fazer uma leitura ideal de dados com intensidades mínimas muitas vezes sendo desconsiderado devido a sua maneira de obter as informações na atmosfera. Devido a esse e outros conceitos semelhantes o referido estudo proporciona a atualização de alguns desses fatores, dessa forma é possível uma melhor representação do modelo comparado ao observado.

Objetivo Geral:

- a) Avaliar a precisão do modelo WRF, na realização de previsão do tempo de curto prazo;

O objetivo específico deste trabalho para alcançar bons resultados foi:

- a) Gerar informações para validação do modelo atmosférico para as variáveis de Precipitação, Temperatura do Ar, Umidade Relativa do Ar, Direção do Vento, Velocidade do Vento, Pressão Atmosférica, Temperatura do Ponto de Orvalho e Radiação Solar;
- b) Analisar as saídas dos dados gerados pelo modelo atmosférico de mesoescala WRF;
- c) Comparar o comportamento dos diferentes esquemas de dados gerados pelo WRF com os dados observacionais da região de Maceió;
- d) Avaliar o impacto da atualização dos dados de entrada de topografia e uso do solo do modelo WRF;

- e) Analisar através de ferramentas estatísticas a precisão do modelo atmosférico.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Previsão do Tempo

A junção de ciência e tecnologia pode ser utilizada para realização de previsão do tempo e uma descrição detalhada de ocorrências futuras esperadas na atmosfera em determinado local. Sendo assim, entende-se que prever o tempo é resolver um sistema de equações tendo condições iniciais e de fronteira com variabilidades conhecidas e devido a estas dificuldades nem sempre conseguimos obter previsão do tempo com total exatidão.

A previsão do tempo inclui o uso de modelos objetivos baseados em determinados parâmetros atmosféricos. A busca de informações do tempo e clima baseada nas condições meteorológicas momentâneas que busca antecipar com o máximo de certeza as condições meteorológicas futuras, pode ser chamado de prognóstico. Com base em Carvalho, Iriart & Pereira Neto (2011) esse estudo de previsão do tempo é baseado em dados de diferentes áreas, por vez são utilizados para rodar em modelos numéricos utilizando computadores de grande capacidade de processamento para comparar o estado inicial e analisar as várias possibilidades da evolução do tempo, gerando previsões baseadas em probabilidades.

Podemos chamar a sucessão de diferentes estados do tempo que se repetem e se sucedem na atmosfera ao longo do ano em determinada região de clima. Para se obter o clima de um determinado local, é necessário que se faça observações do tempo atmosférico diariamente, durante anos, analisando a regularidade das combinações dos elementos, sendo esses elementos formadores do clima, a temperatura, pressão atmosférica, precipitações (chuva, neve, e granizo) e os ventos. O tempo atmosférico é chamado de uma condição passageira dos elementos do clima. Ele altera de um dia para outro ou até de uma hora para outra. As previsões meteorológicas são combinadas dos elementos do clima. Geralmente são usadas as expressões: tempo bom, tempo nublado, parcialmente nublado ou tempo chuvoso (REBOITA et al., 2012).

De acordo com Corte-Real J. e Santos, J.A. (2004), realizar previsão do tempo é determinar os estudos futuros da atmosfera tendo um dado inicial e condições que descrevam o forçamento da qual a atmosfera está sendo submetida, tal fato é possível porque as variáveis que definem o estado

momentâneo da atmosfera estão ligadas entre si por equações que traduzem leis fundamentais da física. Por outras palavras, qualquer tipo de dado impreciso no estado inicial vai implicar em falhas na previsão e o forçamento da atmosfera também não é conhecido com precisão.

2.2 - Variáveis Climáticas

Em qualquer região o clima é influenciado em grande parte pela circulação geral da atmosfera, resultando no diferencial do clima pela radiação solar, na diferente distribuição de oceanos e nas diversas características topográficas dos continentes. A circulação padrão gerada na atmosfera redistribui calor, umidade e movimento por todo o globo. Porém, essa redistribuição não é homogênea, atuando algumas vezes no aumento ou diminuição das variações e dos elementos climáticos, tais como, precipitação, temperatura e incidência da radiação solar na qual, têm enorme influência nas atividades humanas. O Nordeste Brasileiro é considerado uma região semi-árida por apresentar substanciais variações temporal e espacial da precipitação pluviométrica, e elevadas temperaturas no decorrer do ano (AZEVEDO et al., 1998). Apesar das elevadas temperaturas no ciclo anual, as máximas amplitudes térmicas ficam em torno de 6°C. Segundo Uvo e Berndtsson (1996), alguns mecanismos existentes que são fortemente atuantes no regime de chuva da região nordeste são: El Niño-Oscilação Sul (ENOS); Temperatura da superfície do mar (TSM) na bacia do oceano Atlântico, Ventos Alísios, Pressão ao Nível do Mar (PNM); Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o oceano Atlântico, Frentes Frias, e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN). Paralelo a esses mecanismos destacamos também a atuação das linhas de Instabilidade (LI), dos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e os efeitos das brisas marítima e terrestre na precipitação.

Em determinados interstícios anuais nos quais se verificam anomalias positivas ou negativas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nas bacias do oceano Atlântico, a célula de Hadley e a célula de Walker são perturbadas causando fortes anomalias na circulação atmosférica sobre os trópicos. Sendo assim, essas células ao serem deslocadas de suas posições climatológicas, causam anomalias que interferem nas intensidades e duração do período chuvoso na região nordeste (RAMOS et al., 1994).

Considerado como um dos principais sistemas atmosféricos inibidores ou causadores de chuva sobre a região Nordeste do Brasil, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) pode ser definida como uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul, em baixos níveis, baixas pressões, altas temperaturas da superfície do mar, intensa atividade convectiva e precipitação. A ZCIT é o fator mais importante na determinação de quão intensa ou deficiente serão as chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil. Normalmente ela migra sazonalmente de sua posição mais ao norte, em agosto-outubro para posições mais ao sul, entre fevereiro a abril. Esse deslocamento está relacionado aos padrões da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre essa bacia do oceano Atlântico Tropical (UVO, 1989). A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é o principal fator na posição e intensidade da ZCIT.

Outro mecanismo importante que pode causar chuva no Nordeste do Brasil está na inserção de frentes frias até às latitudes tropicais. As frentes frias são bandas de nuvens que se formam em confluência entre uma massa de ar frio com uma massa de ar quente. A massa de ar frio penetra sob a quente, e faz com que o ar quente e úmido ascenda, forme nuvens e por fim, as chuvas.

Segundo Gan e Kousky (1982), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) é um conjunto de nuvens com uma forma aproximada de círculo girando no hemisfério sul. Ao seu redor formam-se nuvens que provocam chuva e no centro há movimentos de ar de cima para baixo, elevando a pressão e impedindo a formação de nuvens. O tempo de vida útil desses sistemas tem uma variabilidade média de 7 a 10 dias. Na região Nordeste do Brasil quando ocorre esse sistema, inicia-se no oceano Atlântico, geralmente com mais intensidade entre os meses de novembro e março, e sua trajetória normalmente segue de leste para oeste, chegando ao seu ápice nos meses de janeiro e fevereiro.

Linhas de Instabilidade são bandas de nuvens causadoras de chuva, normalmente do tipo cumulus em forma de linha. Segundo Cavalcanti (1982) sua formação ocorre pelo fato da grande quantidade de radiação solar incidente sobre a região tropical acontecendo o desenvolvimento das nuvens cumulus, atingem uma intensa quantidade no fim da tarde e início da noite, onde a

convecção é máxima, consequentemente chuva. A proximidade da ZCIT no interstício de fevereiro e março é outro fator que influencia no incremento das LI.

O aglomerado de nuvens formadas devido às condições locais como temperatura, pressão atmosférica, relevo, e outras, provocam chuvas fortes e de curta duração acompanhadas de fortes rajadas de vento. Chamamos esse sistema de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs). Na região subtropical, ocorrem com mais frequência nos meses de primavera e de verão, formando-se no período noturno com um ciclo de vida entre 10 e 20 horas (SOUZA et al., 1998).

Ondas de Leste são ondas que provocam chuvas da Zona da Mata estendendo-se do Recôncavo Baiano até o litoral do Rio Grande do Norte, formando-se aproximadamente na faixa tropical do globo, na região sob influência dos ventos alísios, e se deslocam de oeste para leste, ou seja, da costa da África até o litoral leste do Brasil (VAREJÃO-SILVA, 2001).

As Brisas Marítima e Terrestre resultam do aquecimento e resfriamento diferenciais que se estabelecem entre a terra e a água. Durante o dia o continente se aquece mais rapidamente que o oceano, fazendo com que a pressão sobre o continente seja mais baixa que sobre o oceano. Fazendo com que o vento à superfície sopra do oceano para o continente, vento esse denominado de brisa marítima. No interstício da noite o continente perde calor mais rápido que o oceano, fazendo o oceano ficar com temperaturas mais elevadas às do continente, a pressão fica maior sobre o continente fazendo com que o vento sopra do litoral para o oceano, vento esse chamado de brisa terrestre (FEDOROVA, 2001). No nordeste brasileiro, os ventos alísios são persistentes e intensos durante todo o ano, quase constantemente as brisas contribuem para mudar um pouco a direção e a velocidade dos alísios (AZEVEDO et al., 1998).

O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é caracterizado por anomalias na temperatura da superfície do mar (TSM), sendo positivas (El Niño) ou negativas (La Niña), ocorrem no Pacífico equatorial, e sua caracterização é feita através de índices (ENFIELD E MAYER, 1997).

2.3 - Ferramentas utilizadas na previsão do tempo

As estações de superfície, navios, bóias, balões, aviões, etc, fornecem informações a respeito da temperatura, umidade, vento, pressão, tipos de

nuvens e precipitação, sendo que as duas últimas informações podem variar de lugar para lugar devido ao clima de cada região. Para obtermos tais estimativas utilizamos o radar meteorológico, o qual é o meio técnico mais potente para medições de queda de chuva. Com o feixe de radar a prospectar horizontalmente, qualquer chuva, neve ou saraiva, que esteja no alcance do radar refletirá o sinal e fornecerá uma visão pormenorizada da distribuição da precipitação. A intensidade do eco de radar refletido pelas gotas de chuva pode ser relacionada com a taxa de queda de chuva (STÉPHANIE NASUTI, 2013).

A atmosfera é observada em locais distribuídos irregularmente por toda a Terra e, algumas das observações são sinóticas, algumas outras por satélites e monitorado em horários diferentes. Quando uma análise é concluída, torna-se possível aplicar equações matemáticas que representam todos os processos físicos que interessam, e assim, calcular a modificação que ocorrerá em cada valor de cada ponto da rede num intervalo de tempo curto chamado incremento de tempo. O cálculo, em cada ponto da rede, implicará em adições, subtrações e multiplicações, utilizando-se valores dos pontos da rede à volta. Logo que tenham sido calculados novos valores das variáveis (velocidade e direção do vento, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar), para todos os pontos da rede e a todos os níveis, todo o processo pode ser repetido para se avançar outro incremento temporal. O sistema de equações, aproximações e cálculos é chamado modelo numérico da atmosfera. (SKAMAROCK et al, 2008). Por isso, a previsão consiste em métodos aproximados de probabilidades, com base em dados de observações de superfície, de altitude, satélites, radar e análise numérica.

Os modelos numéricos da atmosfera para previsão global exige um grande número de cálculos a serem realizados em tempo reduzido, portanto são utilizados os chamados “supercomputadores”. Outra alternativa seria comprimir as interações numéricas no modelo, otimizando o espaço entre os pontos na rede. Os modelos são executados com dados disponibilizados que são emitidos por outras ferramentas que auxiliam na extração dos dados para que sejam compilados nos modelos (SILVA JÚNIOR et.al, 2016).

2.4 – Modelagem Atmosférica

A modelagem atmosférica em mesoescala é uma excelente ferramenta computacional para avaliação de curto a longo prazo pois possibilita elaborar

estudos prévios antes e diagnosticando áreas promissoras com base em informações climatológicas de tal forma que considerando alguns fatores que resultam em uma maior confiabilidade dos produtos gerados pelo modelo (OLIVEIRA, 2013). O aumento da resolução, ou seja, diminuir o espaçamento da grade em um modelo possibilita uma melhor qualidade nos dados gerados em simulações (SILVA JUNIOR et.al, 2016), pois descrevem com maior exatidão o que ocorre localmente, e ainda incorporando o efeito dos fenômenos meteorológicos de escala sinótica, porém quanto maior a resolução do modelo, verifica-se que os processos físicos em microescala são mais relevantes.

O problema da previsão de tempo em curto prazo envolve o detalhamento dos sistemas de tempo com escalas que variam das poucas dezenas até as várias centenas de quilômetros. No entendimento de (ORLANSKI, 1975) esses sistemas de tempo pertence a chamada mesoescala, com dimensões espaciais de cerca de dezenas até um milhar de quilômetros. No entanto, a mesoescala inclui sistemas que tem diferentes características, quanto à origem e evolução temporal. Ainda segundo (ORLANSKI, 1975) a previsão de tempo à curto prazo depende essencialmente de características do ambiente de grande escala.

Conforme afirmativa de Gandu (2018), Todo modelo é uma representação da realidade e, como tal, é sempre incompleta e limitada. O modelo atmosférico condiciona a realização de uma previsão futura, ou a seja, observar a evolução temporal das variáveis que definem o estado da atmosfera, tais como a pressão, temperatura, ventos e umidade do ar. Entretanto, realizar uma previsão numérica do tempo já seja uma possibilidade, o desenvolvimento dos modelos só foi possível com a invenção e aperfeiçoamento dos computadores. Atualmente a previsão numérica do tempo é uma das principais ferramentas científicas associada à computação para o estudo da atmosfera, a previsão operacional do tempo e a simulação do clima e suas variabilidades. Como todo modelo numérico, todo modelo atmosférico precisa atender a alguns requisitos matemáticos para que ele possa expor as informações previstas em questão. Os critérios são: consistência, convergência, precisão e estabilidade.

Devido ao resultado de uma parceria conjunta entre várias instituições e agências governamentais, entre elas: o Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas (NCAR), a Administração Nacional de Oceanos e Atmosfera (NOAA) e o Centro Nacional de Previsão do Meio Ambiente (NCEP) foi

disponibilizado o modelo de mesoescala “Weather Research and Forecasting” (WRF) versão “Advanced Research WRF” (ARW) sendo de acesso livre ao público, porém o usuário necessita de conhecimento básicos de informática para sua instalação (SKAMAROCK et al., 2005).

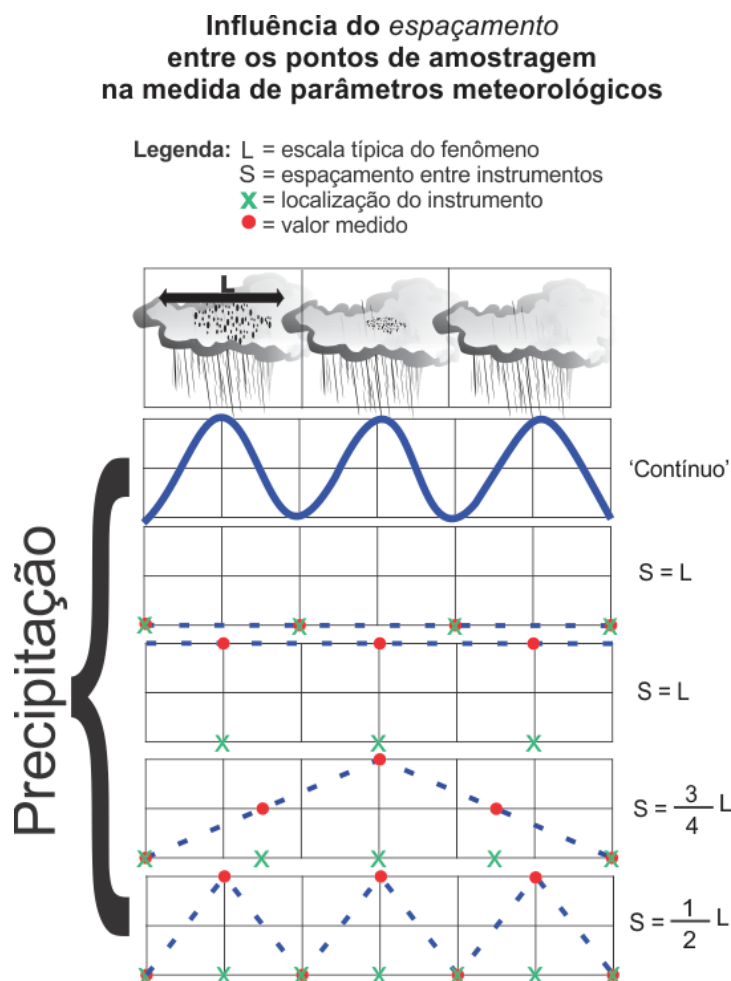
Os modelos atmosféricos são utilizados como uma poderosa ferramenta computacional para pesquisas e previsão do tempo e clima. No caso desse trabalho foi utilizado o modelo atmosférico WRF (Weather Research and Forecasting) que está disponível de forma gratuita para download precisando apenas de algumas configurações para a sua instalação. O referido modelo é flexível no que diz respeito a assimilação e formato de saída de dados, utilizando uma arquitetura computacional que dispõe de um alto desempenho em suas simulações e armazenamento de dados. Outro ponto importante é a adequação a uma ampla gama de aplicações em escalas que variam de metros a milhares de quilômetros, um recurso para ampliar a resolução de um modelo é aumentar o número de pontos na mesma área de domínio do modelo (diminuindo, portanto o espaçamento dos pontos da grade). Entretanto, o aumento na resolução implica num aumento nos recursos computacionais, pois o modelo deve determinar valores para mais pontos de grade. Pois, se a distância entre os pontos de grade for dividida pela metade (uma resolução mais alta), o número de pontos de grade sobre a mesma área quadruplica. (SKAMAROCK et al., 2008).

Conforme afirmativa de Gandu (2003) exposta na figura 01 é exemplificada de qual a menor escala que um modelo de pontos de grade pode representar. Ao simular um fenômeno, no caso uma sequência de nuvens precipitantes, com escala “L”. Caso fosse possível medir a precipitação de forma contínua, obteríamos um gráfico contínuo (em azul) conforme primeiro painel. Porém, não é possível fazer essa medida contínua, mas sim com pluviômetros pontuais ilustrados na figura 01 como uma cruz verde que devem ser colocados sob as nuvens, a uma distância “S” entre eles. Nos dois painéis seguintes, os pluviômetros foram colocados espaçados de “S=L”, sendo esse então o “espaçamento da grade”. Conforme pode ser observado, o valor medido (em tracejado azul) é um valor constante, podendo variar de zero ao valor máximo real, conforme a posição relativa dos pontos da grade. Na situação seguinte, os pluviômetros foram colocados em distâncias “S=(3/4)L” que agora mostra uma

certa variação espacial, mas de maneira errônea em relação à real. Isso significa que um determinado comprimento de onda é “visto” pelo modelo como sendo de outro comprimento de onda maior. O último painel mostra uma situação onde os pluviômetros estão espaçados de $S=(1/2)L$, sendo agora possível observar que o padrão ondulatório do fenômeno é bem melhor representado pelas observações.

Dessa forma, um modelo de pontos de grade é capaz de analisar fenômenos que tenha no mínimo uma escala de duas vezes o espaçamento da grade que na verdade, para simular um determinado fenômeno meteorológico são necessários de 8 a 10 pontos de grade, para que suas características reais sejam preservadas. Entretanto, aumentar a resolução espacial de um modelo, através da diminuição do espaçamento da grade, implica também na necessidade de diminuir o passo no tempo, que de certa forma um menor passo de tempo oferece uma melhor resolução temporal. Entretanto, nem sempre é possível escolher o espaçamento de grade e o passo de tempo que se quer. A limitação mais comum se trata da máquina que irá processar essa gama de dados, o espaço limitado de memória impede o uso de um número muito grande de pontos de grade, e a capacidade limitada de processamento inviabiliza o uso de um número excessivo de passos de tempo, que levaria processamento dos dados extremamente elevado (GANDU e GEISLER, 1991).

Figura 01 - Ilustração da influência do espaçamento entre pontos de grade, na representação de parâmetros meteorológicos contínuos.



Fonte: Autor (adaptação das notas de aula do Prof. Adilson Wagner Gandu IAG/USP, 2018).

2.5 – A influência da Topografia e Uso do Solo na Previsão do Tempo

A interação e troca de energia e matéria entre a atmosfera e superfície terrestre ocorrem nas diferentes escalas. Fatores na superfície, como relevo e cobertura vegetal influenciam e controlam os elementos climáticos em escalas inferiores e distribuição da radiação solar, controla o clima em escalas superiores, Ribeiro (1993).

Em concordância ao exposto por Ribeiro (1993), escalas inferiores são aquelas mais próximas dos indivíduos e da superfície terrestre, onde ocorrem as interações climáticas com a sociedade, sendo que a influência dos elementos presentes na superfície se torna mais acentuada nessas escalas. Entretanto, os

fenômenos climáticos ligados às escalas superiores interferem no comportamento da atmosfera em escalas inferiores. Dessa forma, quanto menor a escala, maior o número de variáveis que interferem no comportamento dos elementos climáticos, fazendo com que as análises em mesoescalas sejam mais complexas. Sabe-se que a vegetação desempenha importante papel na variação dos elementos climáticos em escala local, elevando as taxas de umidade relativa e reduzindo consideravelmente os valores de temperatura do ar em relação ao seu entorno. Entretanto, as características geomorfológicas de determinado lugar (relevo, altitude, declividade) também são capazes de influenciar de modo significativo. Devido a esses fatos, as alterações no uso da terra (atividade agropecuária, ocupações urbanas e o intenso processo de industrialização) modificam o balanço de energia, alterando o comportamento das variáveis climáticas locais. A ausência de áreas verdes, impermeabilização elevada do solo, presença maciça de concreto e asfalto favorecem o acúmulo de calor nessas áreas, alterando as taxas de umidade relativa do ar, circulação dos ventos e precipitação.

Alguns estudos têm sido realizados com modelos tendo o objetivo de melhor representar os processos de mesoescala, topografia e características da superfície terrestre da América do Sul. Quando se trata de modelos, a confiabilidade das simulações em alta resolução depende da qualidade da condição de contorno lateral e também da própria capacidade do modelo de desenvolver características realísticas do clima presente (SILVA, 2012). Uma das vantagens do uso de modelos é que suas grades incorporam uma alta resolução de topografia que tendem a representar melhor os efeitos da orografia na distribuição de chuva na área de interesse modelada. (GIORGI e MEARNS, 1999; TANAJURA, 1996; DICKINSON et al., 1989).

As simulações de tempo e clima também são diretamente influenciadas pelas condições do solo e pela umidade inicial inserida em um modelo de previsão, devido à influência destes na partição de energia entre calor latente e calor sensível (DIRMEYER et al, 1999). Essa partição é responsável pelas diferenças na disponibilidade de calor e água na superfície, determinando o balanço de energia na superfície e o ciclo hidrológico da região. Verifica-se então que as condições do solo podem afetar não só a temperatura próxima da

superfície e a umidade do ar, mas também a circulação local e principalmente a precipitação.

2.6 – Uso de Radar e Satélite na Previsão do Tempo

No uso dos dados de radar meteorológico para previsão do tempo a maior vantagem seria de estimar as correlações e a alta resolução espaço-temporal dos mesmos. A totalização de pontos utilizados que determinam as correlações da amostra é uma função do número de pares, onde existe ao menos um deles com mensuração no registro de precipitação. A correlação espacial é função da distância entre 2 km x 2 km de pixels em intervalos diferentes de acumulação, resultando na média de todas as estimativas de correlação numa dada distância. A função ajustada deve decrescer quando ela preservar ou inverter com a distância (PEREIRA FILHO et al., 1998).

Atualmente o uso dos radares na previsão de nebulosidade, visibilidade e condições de vento nos aeroportos são essenciais no planejamento e monitoramento das decolagens e aterrisagens. Determinadas condições meteorológicas perigosas podem aparecer durante vôos em altos níveis, como a turbulência em ar limpo e gelo decorrente no interior de nuvens convectivas. As previsões de alguns fenômenos meteorológicos são informadas por uma “carta de tempo significativo”, como parte da documentação de vôo para a tripulação. Essas informações a respeito da temperatura e vento são também de extrema importância para os aviões, as quais podem levar a variações significativas no combustível necessário numa determinada rota (CURTO LUCÍA et al., 2016).

Medições realizadas por satélites meteorológicos que fornecem valores numéricos da temperatura do ar em vários níveis são as mais visadas pelos profissionais da área. O ar é uma mistura de gases onde cada gás emite radiação de tipos particulares. Os radiômetros dos satélites utilizados para sondagem da temperatura são sintonizados para medir a radiação da pequena quantidade de anidrido carbônico que o ar contém. Pela medição da intensidade da radiação em vários comprimentos de onda da radiação, é possível deduzir valores diferentes da temperatura do ar. As sondagens por satélite fornecem informação da temperatura do ar em altitude onde outro modo nada existiria, inclusive sobre todos os oceanos (GARCIA, G. J.; MARCHETTI, D. A B; ESPINDOLA, C. R., 1985).

2.7 - Principais campos meteorológicos de previsão do tempo.

Para a condição de previsão de tempo de curto prazo, é necessário definir um método de aquisição e análise de dados permitindo a visualização dos diversos aspectos dinâmicos nas atividades convectivas. Browning e Collier (1982) mostram três estágios na previsão de tempo de curto prazo: o primeiro se refere aos padrões de precipitação observados por radar e satélite que são analisados e linearmente extrapolados, o segundo se refere ao índice de temperatura, umidade e vento na superfície e em altitudes na mesoescala utilizando as redes de dados convencionais, além dos dados processados via satélite, o terceiro estágio é onde inicia o processamento das informações já obtidas nos estágios anteriores com o intuito de detectar ocorrências nos processos físicos. O procedimento de análise a partir dessa fase tem o suporte de três técnicas: modelos numéricos prognósticos, modelos diagnósticos e modelos estatísticos. Os resultados interpretados dos modelos, no enquadramento de grande escala, são realizados em função de modelos conceituais baseados nas teorias de desenvolvimento de sistemas de precipitação em mesoescala, como as descritas por Browning (1986). Os modelos numéricos de mesoescala podem ser os mais sofisticados, como, o utilizado em Rotunno e Klemp (1982), ou simplificados como o descrito por Machado e Silva Dias (1986). As técnicas diagnósticas são determinadas no cálculo de parâmetros havendo a possibilidade de incorporar novos parâmetros a medida que se desenvolvem novas teorias (BENNETS e SHARP, 1981). As técnicas estatísticas utilizam equações de regressão linear múltipla, obtidas de longas séries de observações e de resultados de modelos prognósticos. Sendo assim esses parâmetros previsores podem ser escolhidos conforme utilizados nos modelos diagnósticos de mesoescala e de grande escala. As variáveis que podem ser estatisticamente previstas são a probabilidade de precipitação, de ventanias e da queda de granizo (GLAHN e LOWRY, 1972). Entende-se que, o uso integrado das informações meteorológicas convencionais e não convencionais, devido ao apoio pelos resultados de modelos prognósticos, diagnósticos e estatísticos, é que forma a base para um eficiente sistema de previsão de curto prazo.

2.8 - Sistemas Meteorológicos Atuentes em Alagoas

Pode-se afirmar que a variabilidade climática no Nordeste brasileiro está mais associada à irregularidade que à escassez, sendo essa, talvez, a principal dificuldade do homem não permanecer no meio rural, pois a água existente não atende suas necessidades básicas nem torna o solo apropriado para cultivo (BRITO et al. 1999).

Estudos sobre as secas no Nordeste revelam que no século XX ocorreram mais de 20 períodos de secas, algumas das quais classificadas como extremas. Segundo Moreira Filho et al., (2002) a ocorrência cíclica das secas e seus efeitos catastróficos são por demais conhecidos e remontam aos primórdios da história do Brasil. Os anos de secas têm em comum, o fato de as precipitações se situarem, abaixo da média histórica (PESSOA e CAVALCANTI, 2002). Onde, o regime de chuvas é marcado pela escassez, acentuada irregularidade espaço-temporal e longos períodos de estiagem, enquanto a maior parte da precipitação, geralmente, ocorre em três ou quatro meses do ano e, muitas vezes num lugar restrito, mas pode passar meses sem chover em grandes áreas, com média anual inferior a 800 mm.

A descrição do contexto em que ocorrem as secas no Nordeste brasileiro mostra as dificuldades naturais e institucionais em que se dá a convivência do sertanejo com o fenômeno climático. A falta de reorganização fundiária, disponibilidade e uso adequado dos recursos hídricos e de tecnologias apropriadas para a agricultura dependente de chuvas, de culturas adaptáveis às condições de clima e solo, causam efeitos econômicos e sociais.

Dentro deste contexto é pertinente afirmar que os principais fenômenos atuantes e que influenciam os níveis de precipitação no Nordeste brasileiro, são: o Dipolo do Atlântico Tropical; o El Niño; e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Perturbações Ondulatórias nos Alísios (POA) geralmente estão associadas a sistemas convectivos e são um dos principais mecanismos responsáveis por elevadas taxas de precipitação sobre a Costa Leste do NEB, durante a estação chuvosa. A faixa costeira, região leste do NEB, que se estende do Rio Grande do Norte até o sul da Bahia, apresenta um clima quente e úmido com totais pluviométricos similares aos da região sul do NEB, mas com quadrimestre chuvoso compreendido entre abril e julho (MOLION e BERNARDO, 2002).

Os eventos extremos chuvosos e secos são associados aos fenômenos climáticos regionais como El Niño Oscilação Sul (ENOS) e gradiente meridional de Temperatura da Superfície do Mar (TSM). Durante as fases negativas de ENOS e as positivas da TSM as chuvas são elevadas, enquanto as fases positivas de ENOS e as negativas da TSM são caracterizadas pelo menor volume da chuva e ocorrências de secas (Lucena et al., 2011), podemos entender que com a fase negativa de ENOS e positiva de TSM associamos estes fenômenos a formação da ZCIT, ocasionando no período da estação chuvosa um índice de precipitação muito acima da normal climatológica. Na conhecida quadra chuvosa na região nordeste, é prevista mudanças na temperatura e precipitação que poderão acarretar vários impactos regionais e globais, atingindo vários setores ambientais, sociais e econômicos. (KARL & TRENBERTH 2003; IPCC 2007; BUCKERIDGE 2008).

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

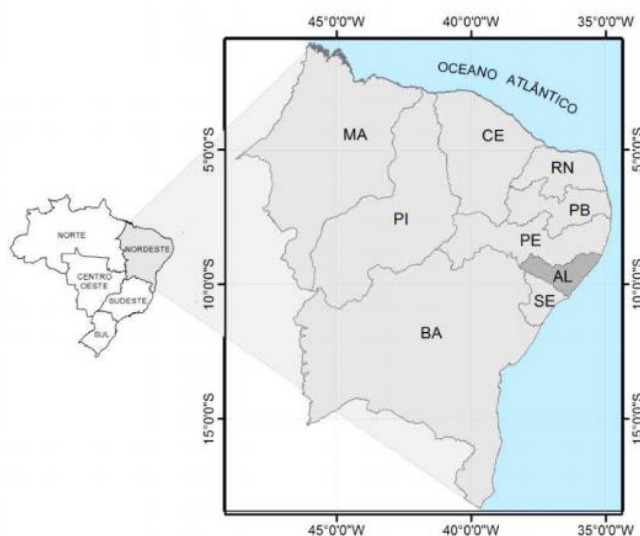
3.1 - Caracterizações do Estado de Alagoas

O Estado de Alagoas situa-se geograficamente na porção leste do Nordeste do Brasil. Limita-se ao Norte com Pernambuco, ao Sul com Sergipe, a Oeste com a Bahia e a Leste com o Oceano Atlântico. 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, (ver figura 02). 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, portanto, é considerado o segundo menor território da federação, ficando à frente apenas do Estado de Sergipe. 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, 2012), (ver figura 03). Segundo a classificação do projeto RADAMBRASIL¹ 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.

1

<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22Projeto%20RADAMBRASIL.%22>

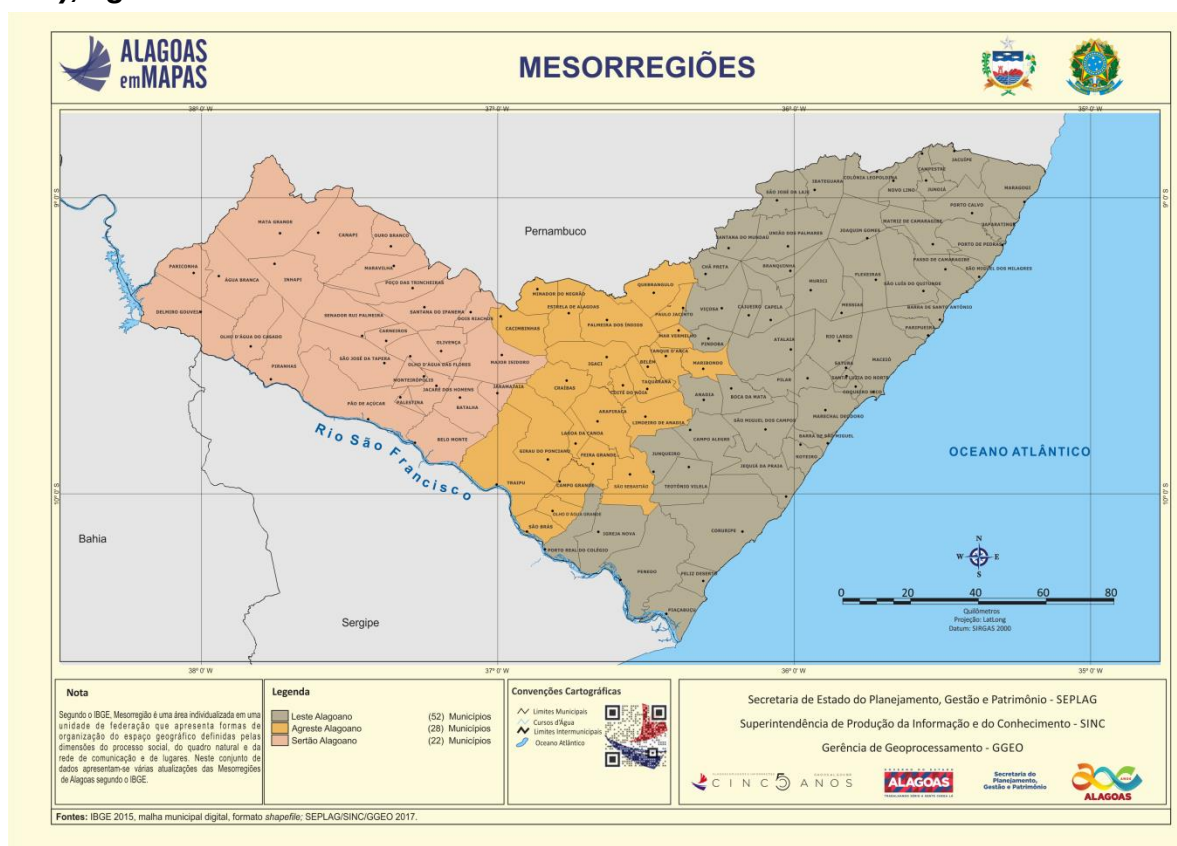
Figura 02 - Localização do Estado de Alagoas na região Nordeste do Brasil.



Fonte: EMBRAPA (2012).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) no Brasil, Alagoas se encontrava na 16ª colocação em número de habitantes no ano 2000 e em 2010 é o 17º estado no ranking. Na região nordestina, atualmente ocupa a 7ª colocação entre os nove estados. 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. Dentre as cidades mais populosas, encontram-se: Maceió (932.748), Arapiraca (214.006), Palmeira dos Índios (70.368), Rio Largo (68.481) e União dos Palmares (62.358) (IBGE, 2012).

Figura 03 - Mesorregiões de Alagoas, Leste (Mata Norte, Litoral e Mata Sul), agreste e o sertão.



Fonte: IBGE(2015).

3.2 - Dados Observados

Os dados observados de precipitação, temperatura do ar, 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 -9.551168° , longitude de -35.770195° 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 do observados (INMET) e modelo atmosférico (WRF).

Figura 04 – Localização da estação meteorológica automática (Maceió-A303) do INMET



Fonte: Google(2018).

A Figura 04 mostra a estação meteorológica de superfície automática do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET², localizada em Maceió, composta por sensores responsáveis pelo monitoramento das variáveis meteorológicas: pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento dentre outras. Composta por 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.

3.3 – Modelo Atmosférico Utilizado

Segundo Skamarock et al. (2008), o modelo atmosférico de mesoescala (WRF), Weather Research and Forecasting Model, é um modelo de previsão numérica de tempo e clima que possui uma estrutura numérica e computacional baseado em conceitos físicos.

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

² http://www.inmet.gov.br/porta/css/content/topo_iframe/pdf/Nota_Tecnica-Rede_estacoes_INMET.pdf

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. Além disso, utilizou-se os dados de topografia disponibilizados no repositório da EMBRAPA³ que serviram como dados de entrada para o WRF, proporcionando um melhor ajuste para o contorno da topografia para a área de estudo.

Silva Junior et al., 2016 afirmam que 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.

Na atualização da topografia para obter uma melhor descrição superficial do WRF foi realizada uma atualização da topografia e uso do solo, 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.

Com base nos dados da tabela 01, pode-se notar que não existe diferença significativa entre a configuração padrão e a atualizada, com relação ao uso do solo, pois em ambas as situações simuladas a área considerada é classificada como urbana, vale destacar o fato que a atualização do uso do solo é considerada a área analisada próxima estação Maceió-A303 do INMET e ao seu

³ <https://www.embrapa.br/>

entorno não houve alteração comparado ao modelo padrão e o atualizado. 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 01. Características da área de estudo do município de Maceió, 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

Fonte: Autor (2018).

Na atualização do uso do solo ocorreu que a descrição do tipo de solo na configuração padrão do modelo está datado do ano de 1992 com resolução horizontal de 1km, e a atualização proposta faz referência ao ano de 2001 com resolução horizontal de 0,25km. Os dados obtidos para atualização do uso do solo tem base no Programa Internacional Geosfera Biosfera (IGBP)⁴, esses dados foram utilizados no estudo como parâmetro na análise do solo da área de estudo no município de Maceió. A tabela 01 mostra o tipo de uso do solo atualmente utilizando a ferramenta online Google Earth(atualizada em março 2018), na qual faz referência a área estudada como tipo de solo urbano. Quanto a atualização, pode-se notar que o ponto de validação das previsões, não houve mudança para a classificação para o tipo de uso do solo, pois em todos os casos Default, WRF_Old e WRF_New, foram classificados como área urbana. Na tabela 02 são apresentados os respectivos códigos e descrição dos tipos possíveis de classificação do uso do solo considerados nas previsões realizadas com o modelo WRF, destaque para o código 13 Urbano.

⁴ <http://www.igbp.net/>

Tabela 02. Características dos tipos de solo na área de estudo do município de Maceió.

Código	Descrição
1	Floresta Alta Latitude Média Densa
2	Floresta Alta Tropical Densa
3	Floresta Alta Latitude Média Menos Densa
4	Floresta Alta Tropical Menos Densa
5	Floresta Mista
6	Floresta Rasteira Densa
7	Floresta Rasteira Menos Densa
8	Árvores e Savanas
9	Savanas
10	Pastos Selvagens
11	Vegetação Alagada
12	Área Cultivada
13	Urbano
14	Área Cultivada/Natural
15	Neve e Gelo
16	Solo Exposto (arenoso)
17	Água

Fonte: IGBP(2017).

3.4 - Análises Estatísticas

Os cálculos dos índices estatísticos leva em consideração todo o período dos dados horários observados e previstos, ou seja, caso haja ocorrência de problemas relacionados à ausência e/ou falhas no banco de dados da estação e/ou do modelo foram descartados e não considerados nas análises estatísticas.

Para avaliar os dados observados e previstos nas diferentes condições de atualizações, foram utilizados índices estatísticos, como: o erro médio (VIÉS), que indica a direção do erro, onde o Viés positivo indica superestimação e uma negativa subestimação dos valores analisados e por fim o coeficiente de correlação de Pearson (r), onde se mede o grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. O valor de r apresenta uma variação entre -1 e 1. O sinal

(positivo ou negativo) é o valor que sugere a direção e a força deste relacionamento, enquanto o (zero) indica a ausência de correlação. O desvio padrão é uma medida que expressa o grau de dispersão de um conjunto de dados. Ou seja, o desvio padrão indica o quanto um conjunto de dados é uniforme. Quanto mais próximo de (zero) for o desvio padrão, mais homogêneos são os dados.

Com o auxílio de softwares computacionais que aceleram o processo da análise os valores destes índices estatísticos VIÉS equação (1), DP equação (2) e r equação (3) são calculados pelas seguintes equações,:

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

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

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2)(\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2)}} \quad (3)$$

Onde x_i é o valor dos dados previstos, y_{obs} é o valor dos dados observados na superfície e N é o número de dados analisados.

A validação da previsão foi feita para detectar o grau de acerto do modelo WRF e prever a sua eficiência comparada aos dados observados das estações automáticas do INMET, onde foram utilizados os dados para correlacionar no município de Maceió, os resultados foram aplicados dentro das análises através das correlações para previsão de tempo do município de Maceió. Os valores das correlações de Pearson são classificados de acordo com o grau de intensidade da correlação. CAVALCANTE (2003) classificou os valores das correlações da seguinte forma:

Tabela 03. Classificação dos valores das correlações de Pearson.

Coeficiente de Correlação (r)	Classificação
0,00	Nula
0,00 – 0,30	Fraca
0,30 – 0,60	Média
0,60 – 0,90	Forte
1,00	Perfeita

Fonte: Adaptado de Cavalcante, 2003.

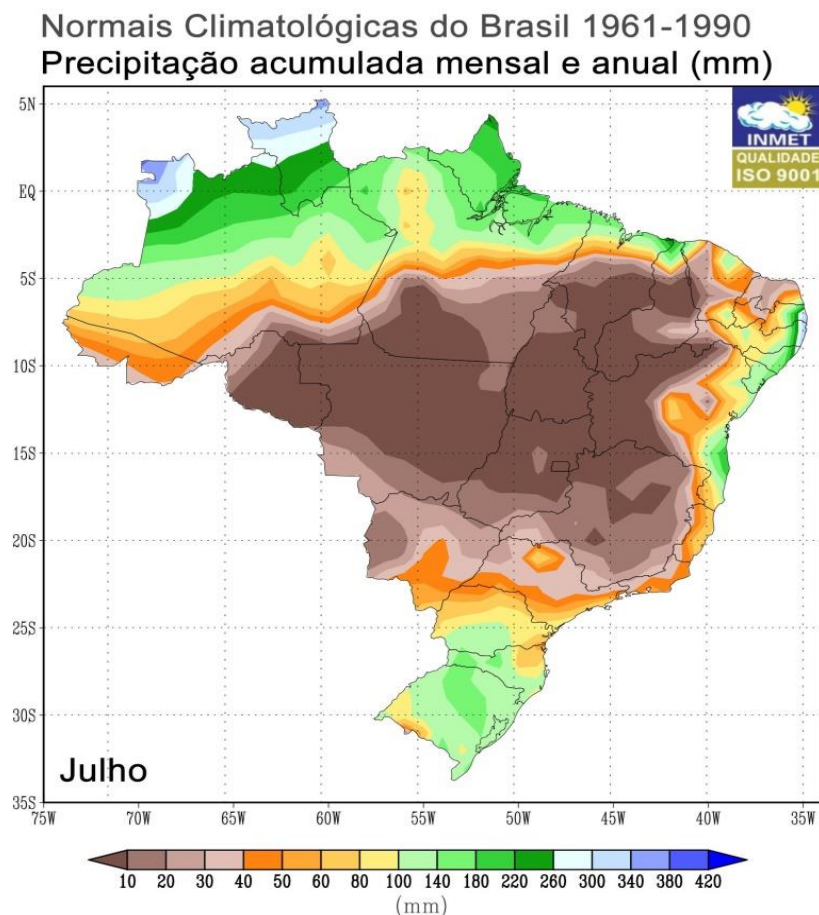
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão avaliadas e comparadas as diferentes previsões realizadas para o município de Maceió/AL, para o período de 10/07/2017 a 19/07/2017, tendo por objetivo verificar o impacto das atualizações da topografia e uso do solo nas previsões realizadas de curto prazo.

Em linhas gerais, as variáveis meteorológicas mais estudadas em previsão do tempo de curto prazo são a precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, que serão abordadas nesta seção incluindo a pressão atmosférica nesta lista.

De modo a caracterizar o regime de chuvas do Nordeste Brasileiro, a (figura 05) mostra o saldo de precipitação para o mês de julho de 2017, comparado a normal climatológica de 1961-1990. A estação chuvosa terminou com chuvas abaixo da média no norte da região nordeste, em particular no norte da região semiárida. Por outro lado, em parte do leste e litoral da região nordeste, houve excesso de chuva em Alagoas e Pernambuco ultrapassando a média dos últimos 10 anos, Acredita-se que o aumento da convergência de umidade e a formação de alguns episódios de distúrbios no escoamento de leste, na região do Atlântico Sul (típicos para este período do ano) favoreceram os elevados totais de chuvas em Pernambuco, Alagoas e Sergipe. (ANA, 2017).

Figura 05 - Normais Climatológicas do Brasil. Precipitação acumulada mensal e anual(mm).



Fonte: INMET (2017).

Vale salientar que o ano de 2017 foi atípico em termos de regime de chuvas e de acordo com dados da Normal Climatológica (INMET, 2017) Maceió teve o terceiro julho mais chuvoso em 56 anos, desde 1961. Este mês, a capital de Alagoas ficou sem chuva apenas nos dias 15, 16 e 17 de julho. O Instituto Nacional de Meteorologia registrou 436 mm de chuva. A média de chuva para julho fica em torno de 230 - 280 mm. No período de 1961 a 2017, o julho mais chuvoso foi o do ano 1989, quando Maceió acumulou 779,9 mm. O segundo julho mais chuvoso neste período foi o de 1969 que acumulou 631,2 mm, no presente trabalho foi analisado o período de 10 a 19 de julho de 2017, onde foi registrado neste período o acumulado de precipitação de 75,62 mm correspondendo a 17,45% do total do mês de julho de 2017 que foi de 436 mm, vale ressaltar que nesse período houve eventos de chuvas severas e dias sem

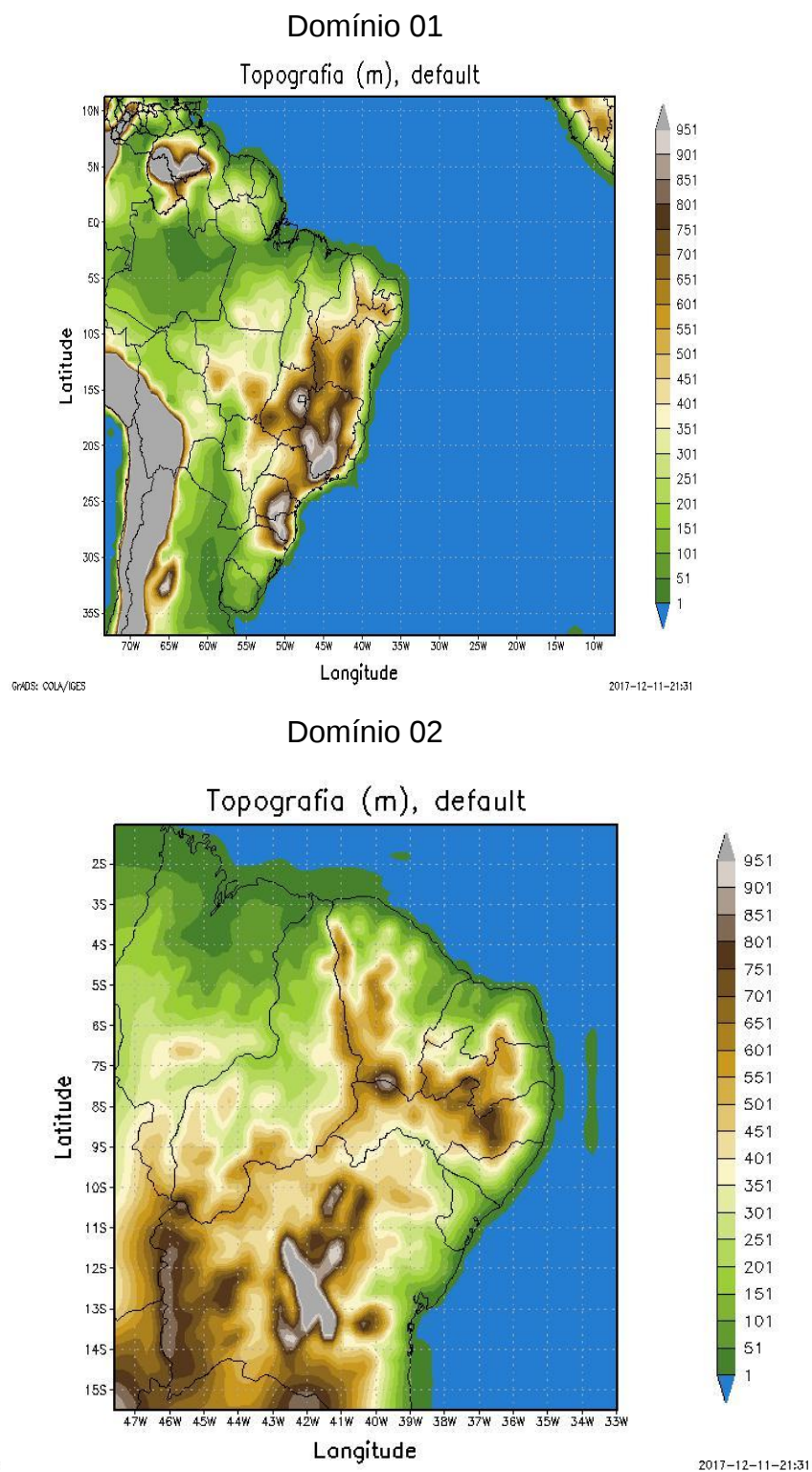
precipitação o que favoreceu as análises do modelo para períodos sem ou forte chuva.

4.1 – Testes de atualização de Topografia e Uso do Solo

A representação do terreno em modelos numéricos é normalmente muito mais suavizada que na realidade. Isso pode provocar significativos erros na simulação do escoamento e de outras características associadas sobre topografia complexa. A suavização do terreno é função da resolução horizontal do modelo e dos detalhes do conjunto de dados de topografia utilizado. Se o conjunto de dados de topografia for grosseiro, ele não pode fornecer os detalhes da topografia para modelos de alta resolução. Se a resolução do modelo for baixa, não pode 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 maior escala (GANDÚ, 2018).

Dados topográficos usados em modelos vêm de várias fontes. Atualmente é possível obter-se pela Internet dados de topografia com resolução de cerca de 1 km, como no portal da NOAA. Na pesquisa utiliza-se os dados de uso do solo e topografia da NOAA tentando melhorar os resultados destes comparativos, conforme exposto nas figuras 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).

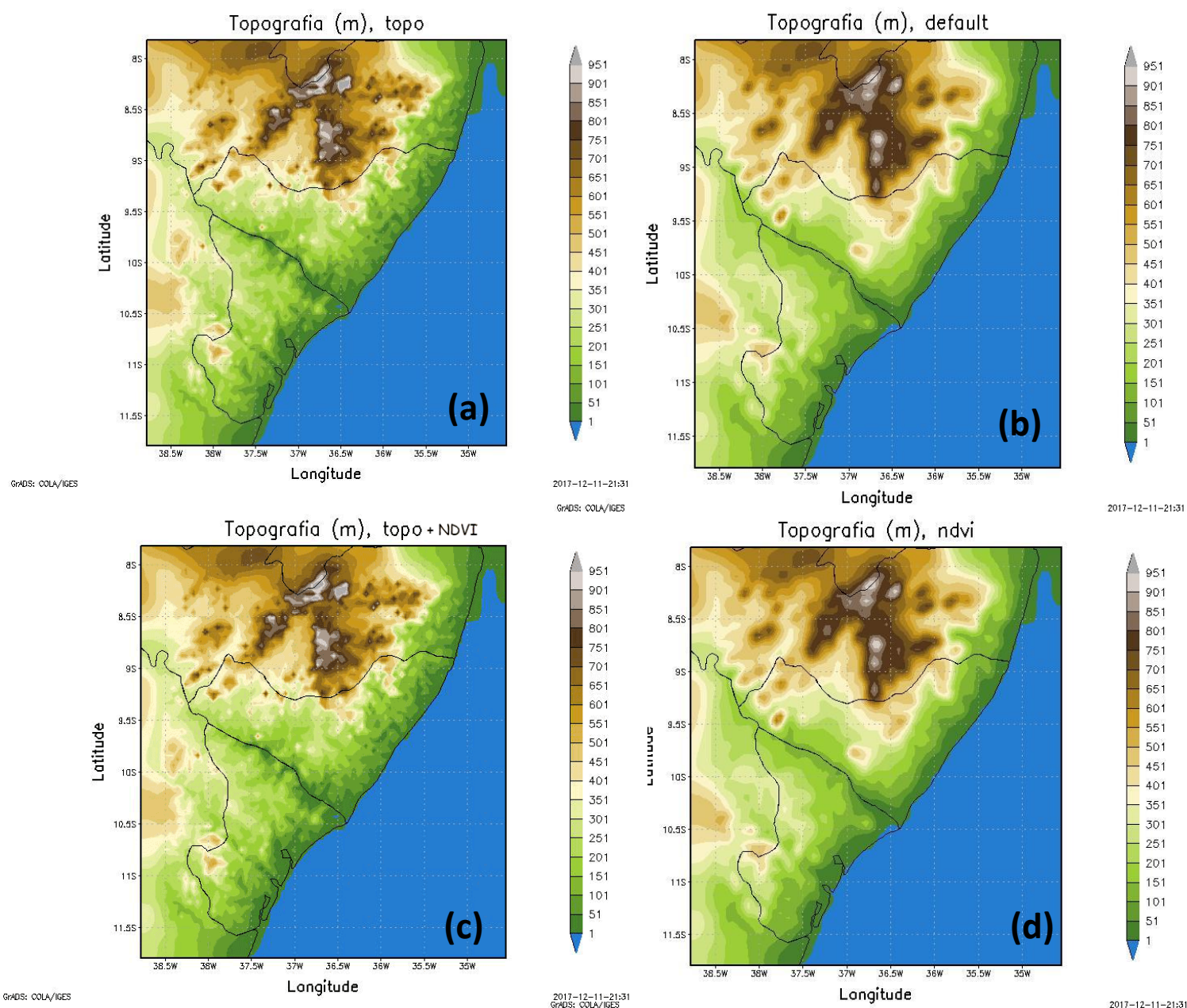
Figura 06 - Cobertura espacial de 80km(a) e 20km(b) gerados a partir de dados topográficos do modelo WRF.



Fonte: Autor(2018).

Figura 07 - Atualização dos dados topográficos do modelo WRF, atualizado com dados da NOAA com cobertura espacial de 5km.

Topografia no Domínio 03



Fonte: Autor(2018).

Houve atualização dos dados de entrada do modelo de uso do solo e topografia com melhores resoluções e mais recentes, que substituíram os dados de entrada padrão do modelo, sendo perceptível a melhora bastante considerável se observarmos a figura 07(c) sendo o domínio 3 a área de estudo que cobre todo o estado de Alagoas e resolução espacial de 5km. Os dados dos

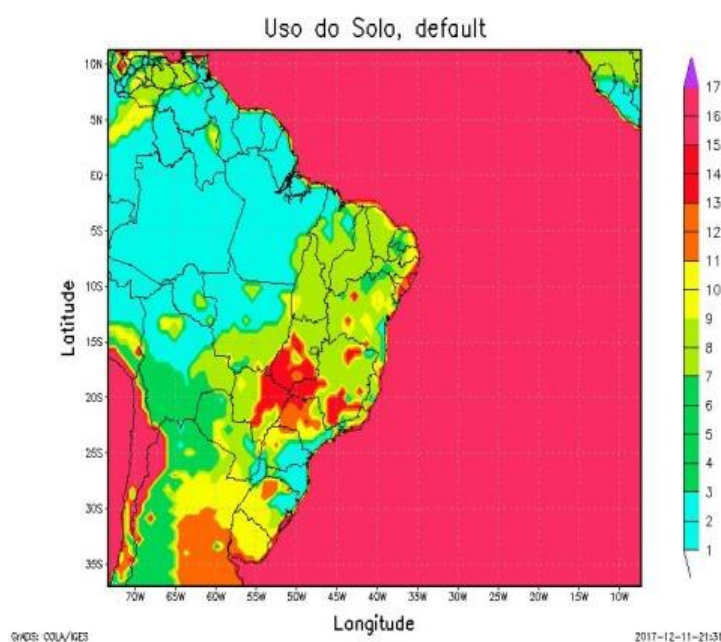
domínios 1 e 2 que abrangem a América do Sul e toda a Região Nordeste Brasileira respectivamente, não foram atualizados devido a grande quantidade de dados que necessitaria de processamento. Para se ter um entendimento apenas no domínio atualizado houve um processamento de mais de 10GB somente para os dados de topografia, caso fosse realizado a atualização de outras variáveis obtém-se uma demanda de desempenho bastante considerável de recursos computacionais que iria ocasionar em erros e lentidão no processo.

4.2 – Atualização do Uso do Solo

A figura 09 mostra os detalhes sobre a configuração dos testes quanto a atualização do uso do solo para o domínio 2 (NEB), pode-se notar que nas figuras 09(a) e 09(b), não houve atualização do uso do solo (Default e Topo), já a figura 09(c) e 09(d) fica evidente que para estes casos o uso do solo foi atualizado em termos de resolução e informações mais recentes quanto a cobertura do solo (Ndvi e Topo+Ndvi). A resolução foi aprimorada de 1km para 250m e atualizada da década de 80 para o ano de 2017.

Figura 08 - Cobertura espacial de 80km gerados a partir de dados do uso do solo do modelo WRF

Uso do Solo no Domínio 01

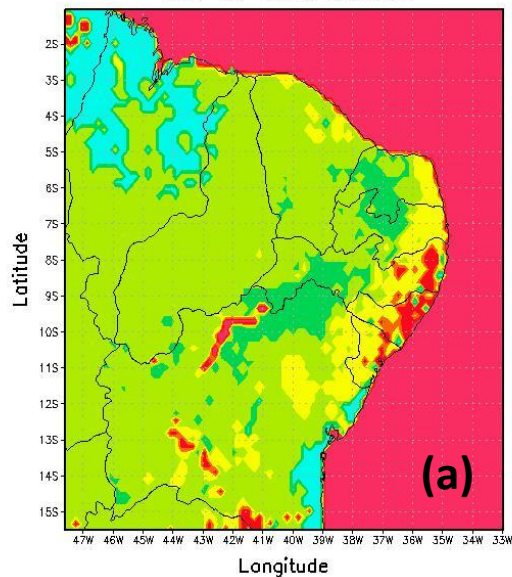


Fonte: Autor(2018).

Figura 09 - Atualização dos dados do uso do solo do modelo WRF, atualizado com dados da NOAA com cobertura espacial de 20km.

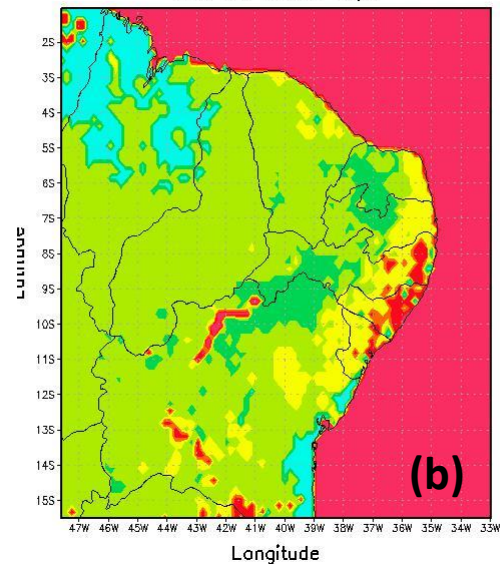
Uso do Solo no Domínio 02

Uso do Solo, default



GRADS: COLA/IGES

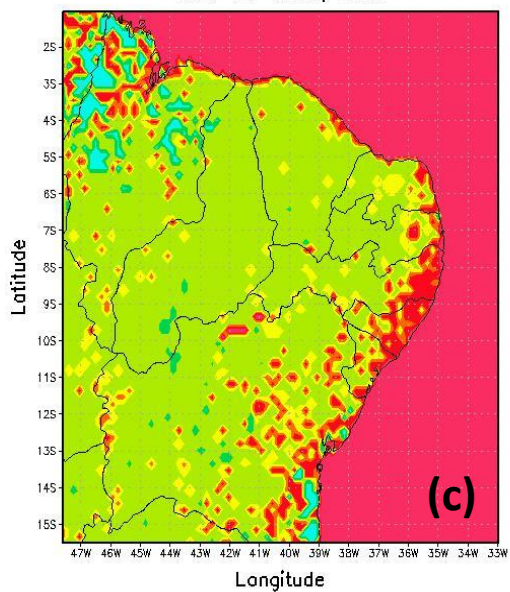
Uso do Solo, topo



2017-12-11-21:31

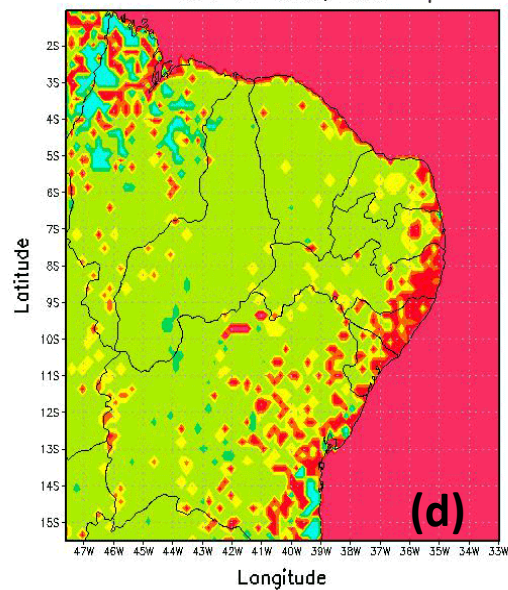
2017-12-11-21:31

Uso do Solo, ndvi



GRADS: COLA/IGES

Uso do Solo, ndvi+Topo



2017-12-11-21:31

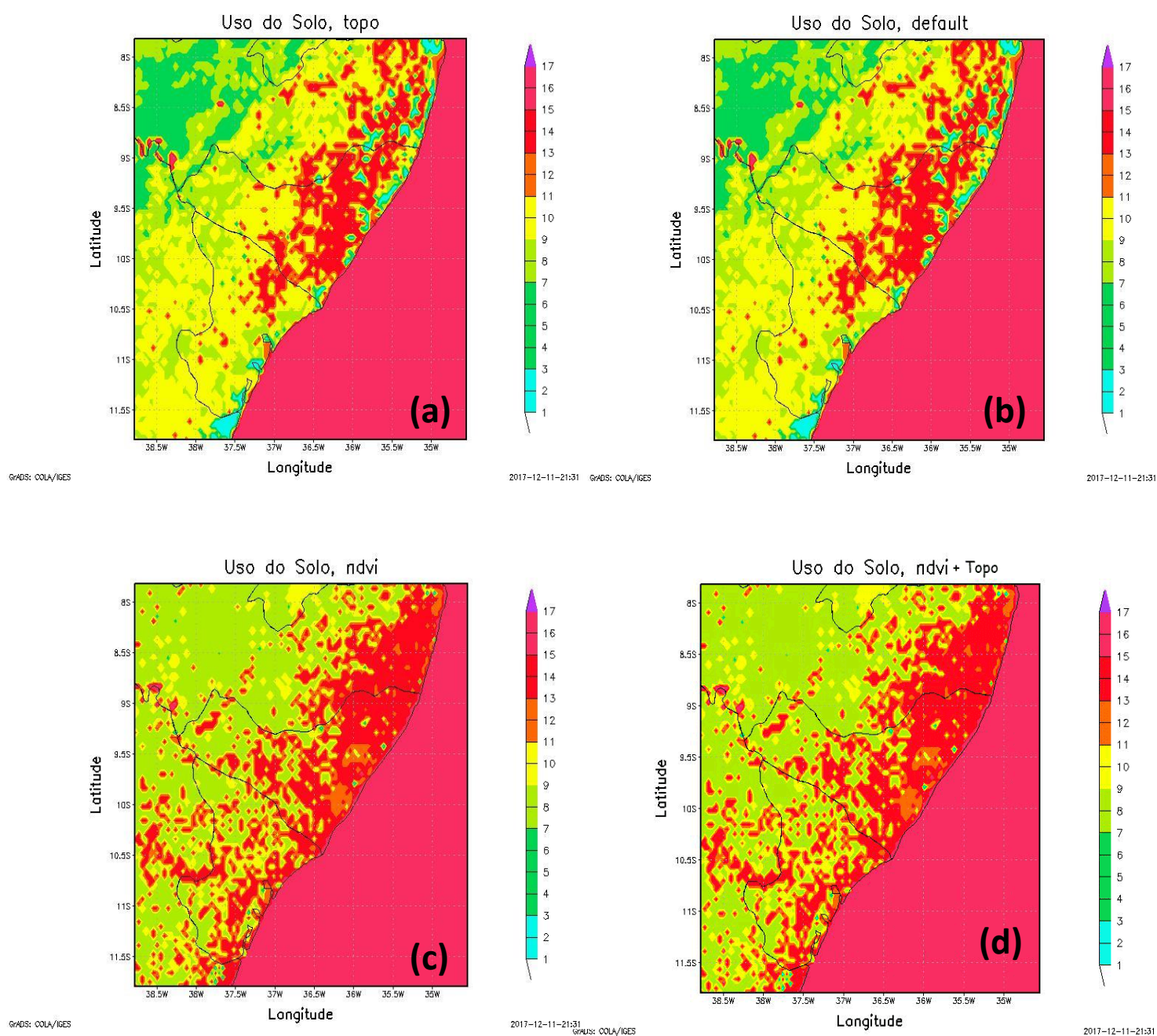
2017-12-11-21:31

Fonte: Autor(2018).

O mesmo aconteceu para o domínio 3 (estado de Alagoas) em termos de atualização do uso do solo. Onde se pode destacar a alteração da vegetação do Agreste e sertão de Pernambuco, Sergipe e Alagoas. E o forte aumento do código 14 (área cultivada) do IGBP para a faixa litorânea.

Figura 10 - Atualização dos dados de uso do solo do modelo WRF, atualizado com dados da NOAA com cobertura espacial de 5km.

Uso do Solo no Domínio 03



Fonte: Autor(2018).

Essas atualizações exigiram uma grande capacidade de processamento dos dados através do computador, que diferentemente dos dados de topografia foram atualizados o NDVI para os domínios 2 e 3, havendo um processamento de mais de 20GB por dados de 2 domínios, vale ressaltar que devido a essa atualização houve uma demanda de desempenho bastante considerável no computador ocasionando lentidão no processo.

4.3 – Validação da Variável Nebulosidade

Percebe-se que numa média de 9 dias analisados, a previsão do modelo para algumas variáveis chega muito próximo aos dados observados. Ocorre uma alternância mínima nos dados do modelo comparados ao observado quando os dados previstos pelo modelo WRF são melhorados quando ocorrem as atualizações da topografia e uso do solo, como por exemplo, nas simulações identificadas como IGBP, Topografia, IGBP + Topografia e Umidade do solo.

Com o auxílio das imagens de satélites GOES-13 para o intervalo de dias compreendidos entre 10 – 19/07/2017, sempre para os horários de 9h e 15h - UTC, pode-se verificar de forma visual as previsões realizadas com o modelo WRF, para a variável nebulosidade. Vale lembrar que as figuras de nebulosidade do modelo foram obtidas com base nos dados da Umidade Relativa do Ar em diferentes níveis de altura, 100mb até 850mb (nuvens baixas), 850mb até 500mb (nuvens médias) e 500mb até 200mb (nuvens altas). Para facilitar a comparação entre as imagens de satélite (toda a América do Sul) com nebulosidade obtida com o modelo WRF, foi utilizado o domínio 1 (América do Sul), e como o domínio 1 não sofreu atualizações de topografia e uso do solo, os resultados serão mostrados apenas no domínio 1.

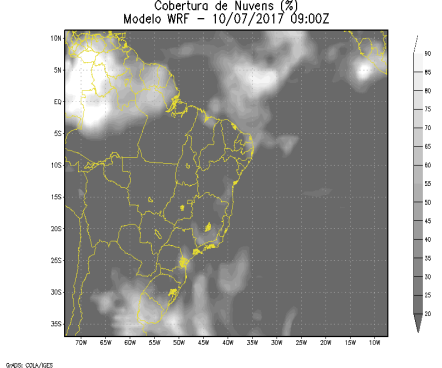
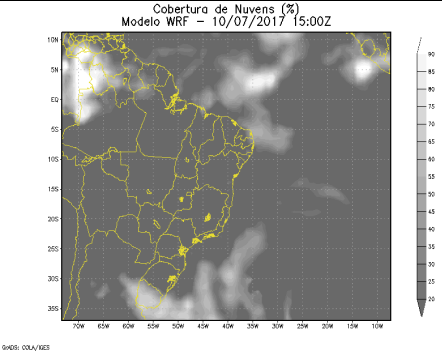
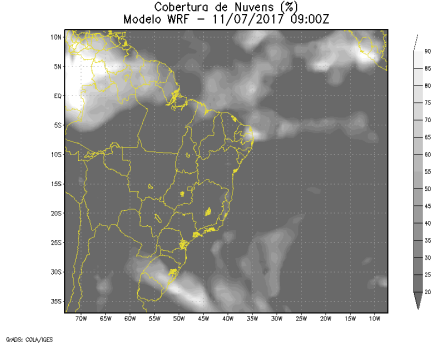
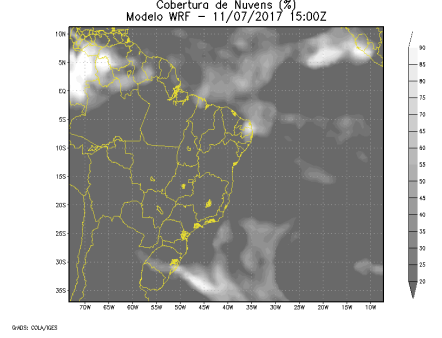
Com base nas imagens de satélites GOES-13 comparadas com imagens geradas do modelo WRF do período de 10 a 19 de julho de 2017, nota-se nas imagens de satélite a atuação da ZCIT na região Norte e Nordeste do Brasil, assim como a atuação de frentes frias na região Sul e Sudeste do Brasil. Pode-se destacar no dia 11/07/2017 às 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, ver figuras 11-1, 11-2 e 11-3. Com base em Reboita 2010, que afirma que o sistema de tempo mais importante na região norte do Brasil e pelo litoral do nordeste do Brasil é a ZCIT. Já

Hastenrath, 1991, constatou que os máximos pluviométricos registrados no primeiro semestre dos anos, ocorrem por conta são da migração da ZCIT para o Hemisfério Sul. E menciona que a ZCIT no oceano Atlântico no verão e outono localiza-se em $\sim 4^{\circ}\text{S}$ e no inverno em $\sim 10^{\circ}\text{N}$. Além da ZCIT que atua nessa região, outro processo importante para a precipitação é brisa marítima que atua na grande zona litorânea, este sistema transporta umidade para o interior do litoral do nordeste do Brasil. Yamazaki e Rao, 1977; Chou, 1990; Espinoza, 1996; Souza Filho, 2003, afirmam que as ondas de leste se deslocam de oeste para leste, desde a costa da África até o litoral leste do nordeste do Brasil. Nieto Ferreira e Schubert, 1997, enfatizam que estas ondas geram quebras na ZCIT, isto é, regiões com nebulosidade intercaladas por regiões sem nebulosidade.

As imagens de satélites GOES-13 entre os dias de 10 a 15/07/2017 às 09:00 e às 15:00 – UTC, mostram que a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) atua em torno de $08^{\circ}/10^{\circ}\text{N}$ no Oceano Pacífico e entre $04^{\circ}/06^{\circ}\text{N}$ no Oceano Atlântico. Entretanto, fica confirmada a análise dos autores citados acima sobre o posicionamento desse sistema e também de uma possível influência das ondas de leste, ressaltando que o intuito do estudo não é de realizar análise de sistemas climatológicos e sim, analisar a precisão das imagens do satélite com as imagens do WRF para os dias analisados em relação ao posicionamento da nebulosidade.

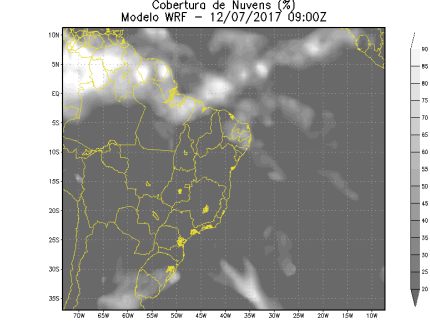
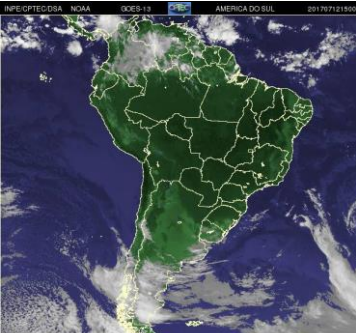
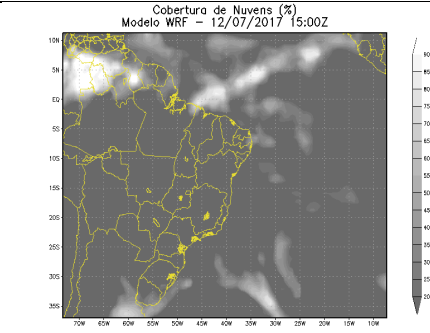
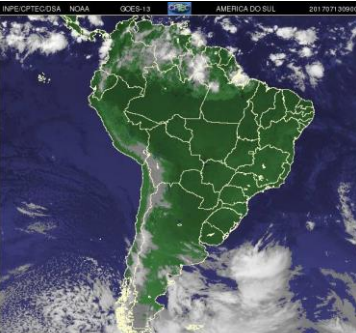
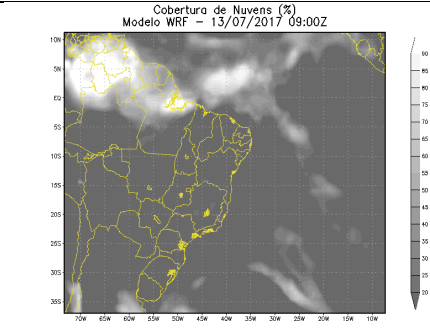
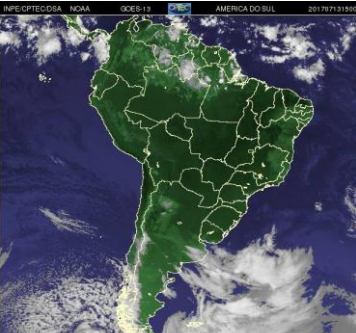
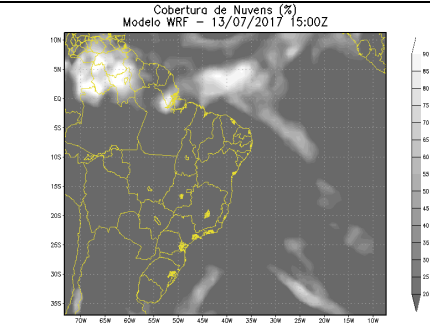
Nota-se que nas imagens WRF das figuras 11-1, 11-2 e 11-3 as nuvens se encontram na mesma posição em relação as imagens do satélite, porém a densidade das nuvens do modelo são maiores devido a atualização dos dados de umidade do solo, essa atualização faz com que as nuvens apareçam com mais intensidade na imagem. Esse resultado pode continuar sendo considerado como um acerto pelo modelo.

Figura 11-1 - Imagens do satélite GOES-13 realce colorido e imagens obtidas do modelo WRF. Ambas para os dias 10 e 11/07/2017.

Dia - 10/07/2017	Imagem Satélite(GOES-13) – 09h	Imagem WRF – 09h
		
	Imagem Satélite(GOES-13) – 15h	Imagem WRF – 15h
		
Dia - 11/07/2017	Imagem Satélite(GOES-13) – 09h	Imagem WRF – 09h
		
	Imagem Satélite(GOES-13) – 15h	Imagem WRF – 15h
		

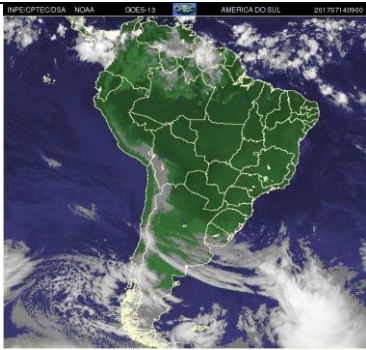
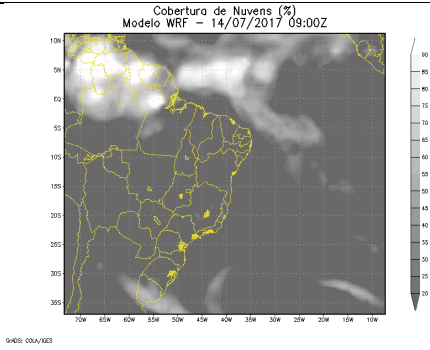
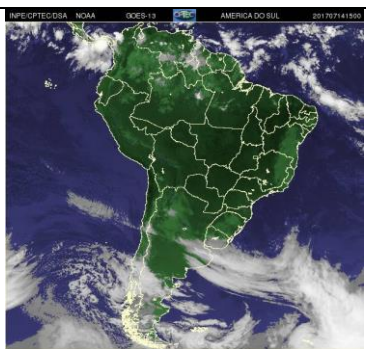
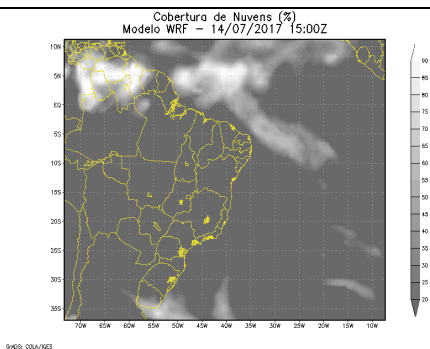
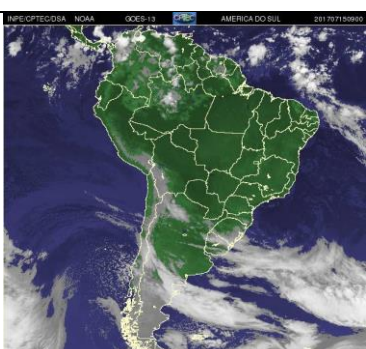
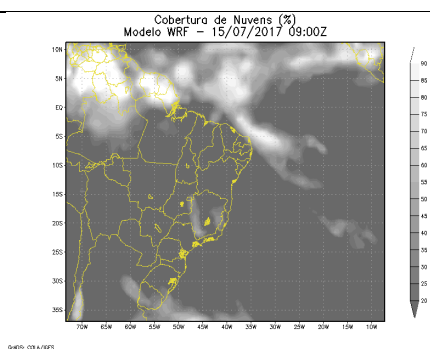
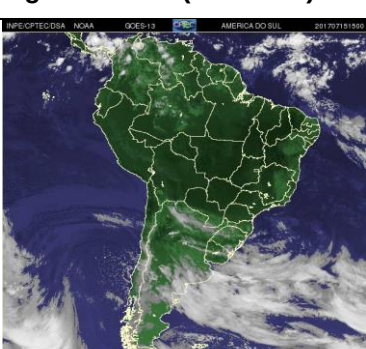
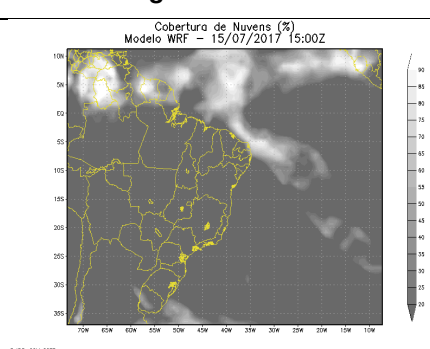
Fonte: Autor(2018).

Figura 11-2 - Imagens do satélite GOES-13 realce colorido e imagens obtidas do modelo WRF. Ambas para os dias 12 e 13/07/2017.

Dia - 12/07/2017	Imagem Satélite(GOES-13) – 09h	Imagem WRF – 09h
		
Dia - 12/07/2017	Imagem Satélite(GOES-13) – 15h	Imagem WRF – 15h
		
Dia - 13/07/2017	Imagem Satélite(GOES-13) – 09h	Imagem WRF – 09h
		
Dia - 13/07/2017	Imagem Satélite(GOES-13) – 15h	Imagem WRF – 15h
		

Fonte: Autor(2018).

Figura 11-3 - Imagens do satélite GOES-13 realce colorido e imagens obtidas do modelo WRF. Ambas para os dias 14 e 15/07/2017.

Dia - 14/07/2017	Imagem Satélite(GOES-13) – 09h	Imagem WRF – 09h
		
Dia - 14/07/2017	Imagem Satélite(GOES-13) – 15h	Imagem WRF – 15h
		
Dia - 15/07/2017	Imagem Satélite(GOES-13) – 09h	Imagem WRF – 09h
		
Dia - 15/07/2017	Imagem Satélite(GOES-13) – 15h	Imagem WRF – 15h
		

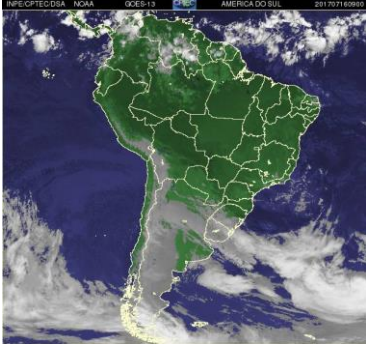
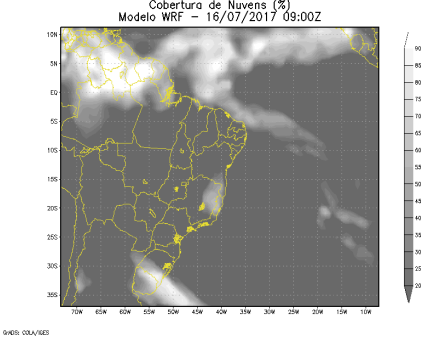
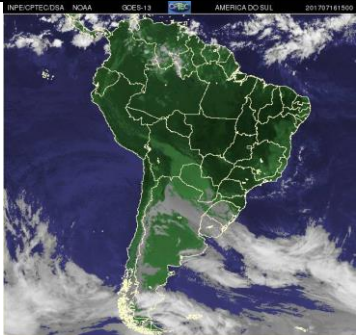
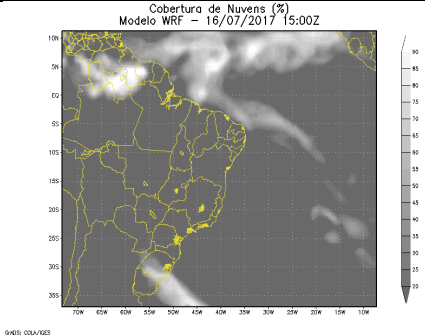
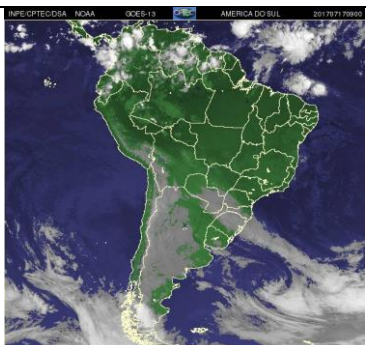
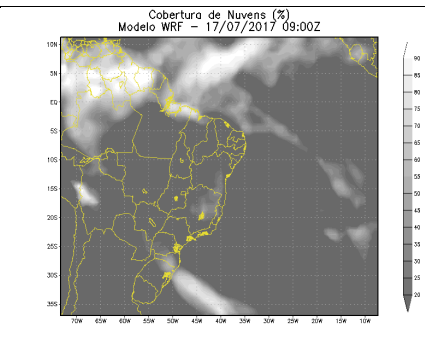
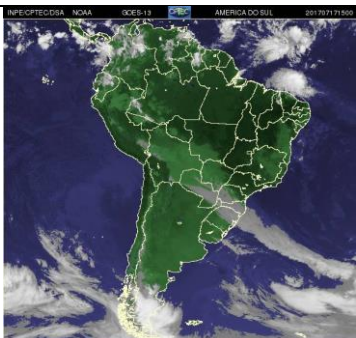
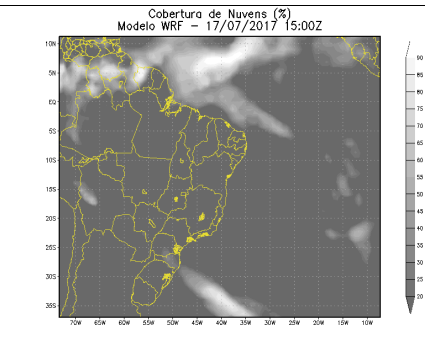
Fonte: Autor(2018).

Analizando as imagens de satélites GOES-13 entre os dias de 16 a 19/07/2017 às 09:00 e às 15:00 – UTC, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) segue atuando em torno de 08°/10°N no Oceano Pacífico e entre 04°/06°N no Oceano Atlântico. Entretanto, enfatizado por Nieto Ferreira e Schubert (1997) o padrão de circulação acima mencionado induz o escoamento de leste, transportando umidade em parte do litoral leste do Nordeste.

Nota-se que nas imagens WRF da figura 11-4, as nuvens se encontram na mesma posição em relação às imagens do satélite, porém no leste da região nordeste e no sul da Bahia surgem nuvens que não são perceptíveis pelas imagens do GOES-13 e constam nas imagens do modelo, apesar da densidade das nuvens do modelo serem maiores devido a atualização dos dados de umidade do solo, essa atualização nas figuras (11-1, 11-2 e 11-3) são mais densa nas imagens, porém não surgiram nuvens diferentes relacionadas as imagens do GOES-13. Esse resultado pode ser considerado como uma pequena falha do modelo, ressaltando que pode ser algum sistema surgindo que devido a atualização da umidade do solo tenha intensificado o resultado do modelo especificamente nos dias 16 e 17 de julho de 2017. Na figura 11-5, observa-se que nas imagens de satélite existe uma nebulosidade pouco intensa no dia 18/07 e praticamente desaparece no dia 19/07, mas que nas imagens do WRF são intensas no dia 18/07 e menos intensa, mas ainda perceptível no dia 19/07 pode também se considerar uma pequena falha do modelo ou se levar em consideração a atualização da umidade do solo realizada no modelo.

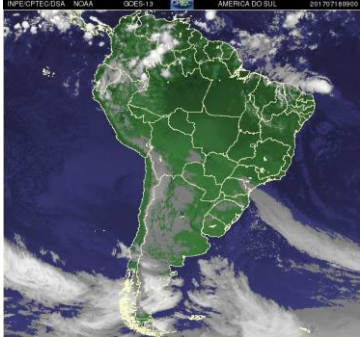
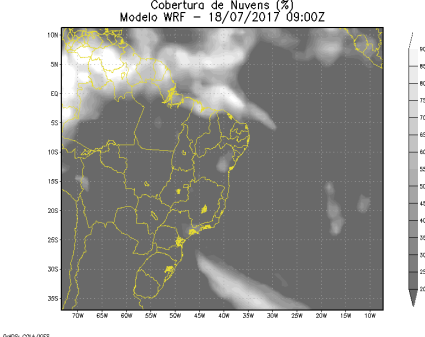
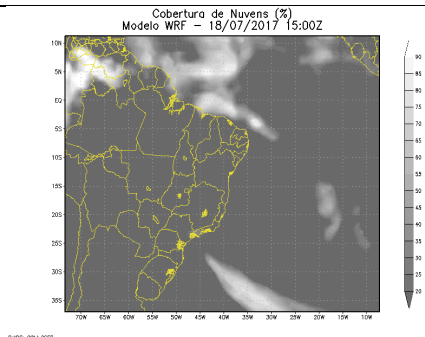
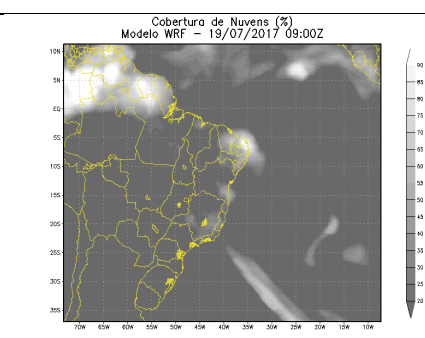
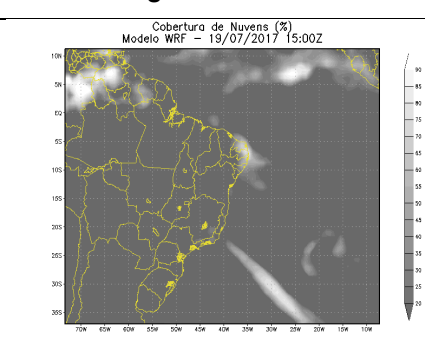
No período de 10 a 19/07/2017, ao comparar as imagens de satélite e as imagens do modelo WRF fica claro que o modelo foi bem representado tendo sofrido a atualização de umidade do solo, o que pode ser destacado é que em algumas imagens não é possível detectar de forma idêntica a intensidade da nebulosidade em algumas imagens do modelo comparadas com as imagens do satélite GOES-13. Porém, no contexto geral é possível analisar e pode ser considerado que o modelo reagiu bem ao que foi proposto no período comparado.

Figura 11-4 - Imagens do satélite GOES-13 realce colorido e imagens obtidas do modelo WRF. Ambas para os dias 16 e 17/07/2017.

Dia - 16/07/2017	Imagem Satélite(GOES-13) – 09h	Imagem WRF – 09h
		
	Imagem Satélite(GOES-13) – 15h	Imagem WRF – 15h
		
Dia - 17/07/2017	Imagem Satélite(GOES-13) – 09h	Imagem WRF – 09h
		
	Imagem Satélite(GOES-13) – 15h	Imagem WRF – 15h
		

Fonte: Autor(2018).

Figura 11-5 - Imagens do satélite GOES-13 realce colorido e imagens obtidas do modelo WRF. Ambas para os dias 18 e 19/07/2017.

Dia - 18/07/2017	Imagem Satélite(GOES-13) – 09h	Imagem WRF – 09h
		
	Imagem Satélite(GOES-13) – 15h	Imagem WRF – 15h
		
Dia - 19/07/2017	Imagem Satélite(GOES-13) – 09h	Imagem WRF – 09h
		
	Imagem Satélite(GOES-13) – 15h	Imagem WRF – 15h
		

Fonte: Autor(2018).

4.4 – Validação da Variável Temperatura do Ar

Com base nas figuras 12 e tabela 04, nota-se que nas primeiras 24h o modelo obteve uma melhor precisão para a temperatura prevista referente a simulada, apenas nos dias 16 e 17/07/2017 o modelo não conseguiu representar as temperaturas mínimas em algumas horas desses dois dias, onde o observado possa ter detectado algum fenômeno de grande escala ocorrendo uma queda de temperatura em alguns momentos desses dias no qual tenha induzido o modelo ao erro. Já para previsões 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 WRF Default foi de 0,97 para 48h e aumentou a diferença para 1,38 em 72h. O que possivelmente possa ter ocorrido para estes dias seria uma tendência o modelo prever temperaturas maiores para 48h e 72h. Observando a tabela 04, percebe-se que os melhores resultados aparecem no viés médio e coeficiente de correlação das 24h e o desvio padrão do WRF nas 48h, com isso ficam comprovados que nesses pontos os resultados se tornam mais confiáveis. Como os dados de topografia e uso do solo não demonstraram variações significativas para as previsões realizadas, pode-se afirmar que a ocupação do solo não seria o problema na previsão da temperatura mínima.

Nos dias 13 e 14 houve uma queda de temperatura nos dados previstos, porém esse ponto 24h obteve o melhor resultado para a temperatura mínima, já as máximas temperaturas todas as previsões 24, 48 e 72h simularam bem. Como as mínimas temperaturas não estão sendo bem representadas existe a possibilidade do resfriamento radiativo não está sendo bem representado pelo modelo (parametrização de radiação de onda longa).

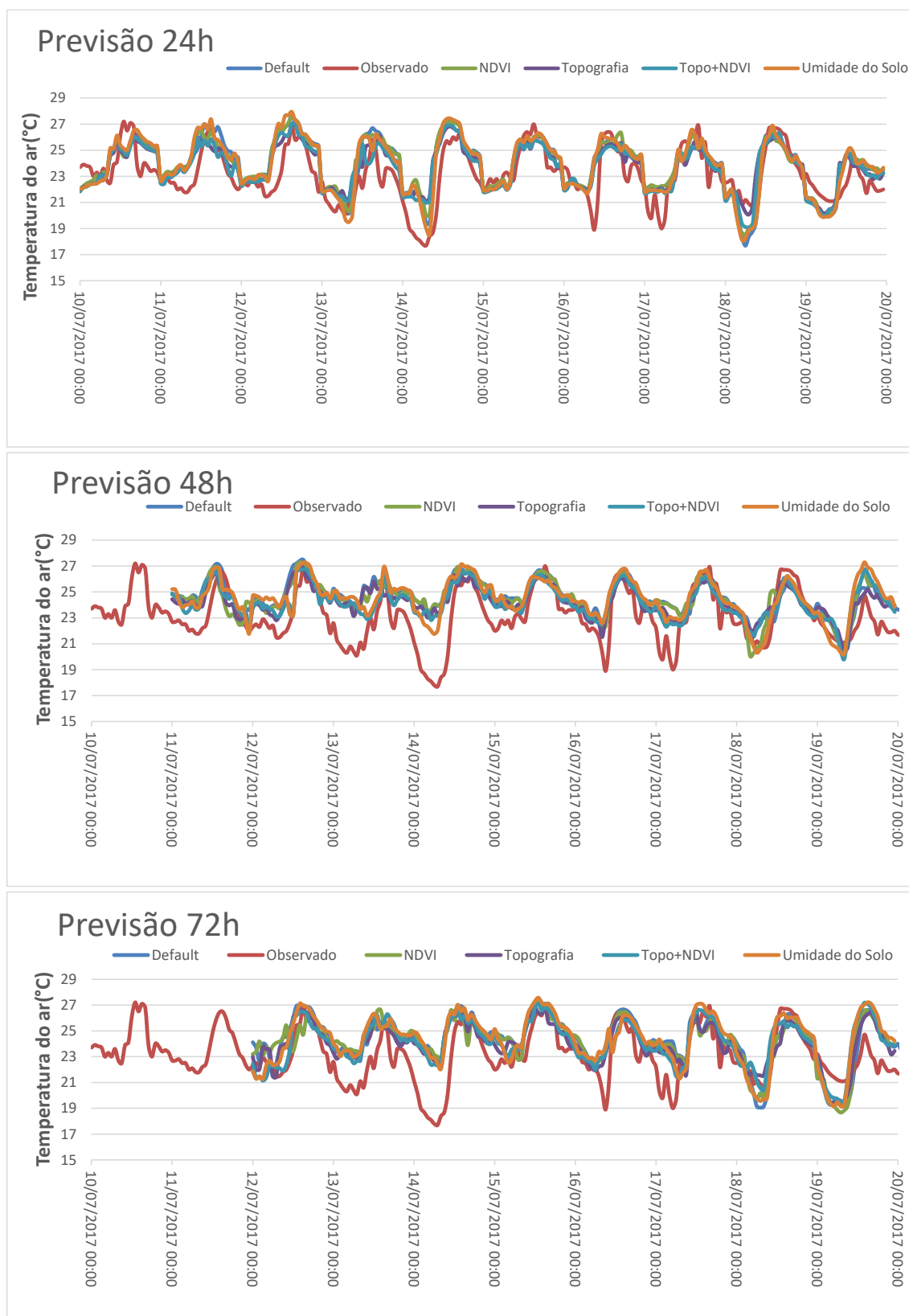
Em afirmativa de Hackerott (2013), os possíveis erros causados nas máximas e mínimas medições de temperatura do ar, mostra que há problemas nos esquemas que resolvem trocas de calor na CLP para os modelos regionais e globais tanto em áreas urbanizadas como as não urbanizadas. Outra hipótese para estes erros, também afirmada por HACKEROTT (2013) é que a altitude das estações em relação a área de estudo é influenciada para a medição do modelo em picos de máximas e mínimas na temperatura do ar. A estação dessa pesquisa está localizada a (65m de altitude), e assim a altitude do modelo atualizado é de 79m no ponto da estação, a altitude média do município de

Maceió é em média de 84m, de forma que mesmo com a atualização do modelo ainda existe uma diferença entre o modelo e a estação da pesquisa, numa atmosfera padrão essa diferença significa uma variabilidade nas medições, dependendo do fenômeno atuante naquele momento em que os dados foram captados para realização do comparativo.

Dessa forma, mesmo com as possibilidades de erros e com a variância em alguns dias para o período de 48h e 72h, continua-se a entender que ao ter realizado as atualizações de topografia e uso do solo foi possível melhorar a previsão no comparativo com os dados observados, pode-se afirmar que é válido dispor de tempo e recursos computacionais para aumentar a atualização das variáveis estudadas, principalmente da topografia e uso do solo. Contudo, percebe-se que a descrição física do modelo (parametrização da superfície) ainda deva está influenciando nos resultados. Vale ressaltar que apesar de atualizar o uso do solo, a questão da resolução do modelo deve ser considerada e a comparação de um ponto (observado) com uma área de 25km² (modelo).

Em linhas gerais as previsões de 24, 48 e 72h conseguiram representar as variações horárias da temperatura do ar para o município do Maceió/AL.

Figura 12 - Gráficos comparativos da Temperatura do Ar para previsões de 24h/48h/72h.



Fonte: Autor(2018).

Tabela 04. 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

Fonte: Autor(2018).

4.5 – Validação da Variável Precipitação Pluviométrica.

Em concordância com Mariano et al., 2009, a época chuvosa que atinge grande parte da região leste do NEB é causada pelo sistema meteorológico chamada de ZCIT (Zona de Convergência Intertropical). 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 de Abril, Maio, Junho e Julho (Quadra Chuvosa).

Neste sentido o objetivo dessa análise é identificar se o modelo consegue prever eventos de precipitação intensa, prevendo com antecedência de até 72h. Foi utilizado o Modelo de Elevação Digital fornecido pela EMBRAPA que permite o WRF ajustar melhor o contorno da topografia para a área de estudo, favorecendo a obtenção de resultados melhores. O grau de confiabilidade das informações das simulações foi validado com ferramentas estatísticas utilizando o coeficiente de correlação (r) de Pearson conforme figura 13-1.

Segundo Nogueira (2010, p.29) “Apesar dos contínuos avanços na área de modelagem atmosférica, a comunidade meteorológica em geral concorda sobre as dificuldades envolvidas na quantitativa de precipitação simulada pelos modelos globais e regionais”, pois a precipitação é considerada uma das

variáveis mais difíceis de ser estimada. Trabalhos anteriores que tentam simular a precipitação utilizando modelos numéricos mostram a superestimativa do valor dessa variável. De acordo com Carvalho (2008), a simulação de precipitação é superestimada quando da passagem de sistema frontal sobre a região Sul do Brasil.

De modo geral, analisando a tabela 05, houve uma melhor correlação entre os dados obtidos pelo INMET e a previsão realizada com o WRF para 24h ao ser atualizado a topografia e uma correlação média apenas com os dados Defaults do modelo, no entanto, houve período em que o modelo superestimou os valores medidos, no dia 13 para o período de 72 horas, possivelmente por ter sido um dia que o observado mediu chuvas extremas o modelo possa ter falhado ao tentar uma máxima e também o modelo subestimou nos dias 11 e 12 para o período de 24h, não conseguindo analisar com precisão com os dados Defaults. Entretanto, ao atualizar os dados de topografia e NDVI fez com que todos os resultados encontrados fossem promissores a ponto de identificar cada detalhe e precisão da previsão para o município de Maceió.

Na figura 13, foi destacado com um círculo a fim de ressaltar que esses dias não foram analisados por conta de ser da previsão de 48h no dia 10/07 e 72h nos dias 10 e 11/07. Visualmente a previsão para 24h foi que 48h que por sua vez foi melhor que 72h, onde a análise estatística da tabela 05 comprova. Nota-se também conforme em destaque na figura 13 na previsão de 24h nos dias 13 e 19/07 o modelo conseguiu prever bem as chuvas intensas, porém nas previsões de 48 e 72h o modelo não conseguiu prever essas chuvas intensas com destaque na previsão de 72h do mesmo dia 13/07 que o modelo superestimou o resultado do observado.

Figura 13 - Gráficos comparativos de Precipitação para previsões de 24h/48h/72h.



Fonte: Autor(2018).

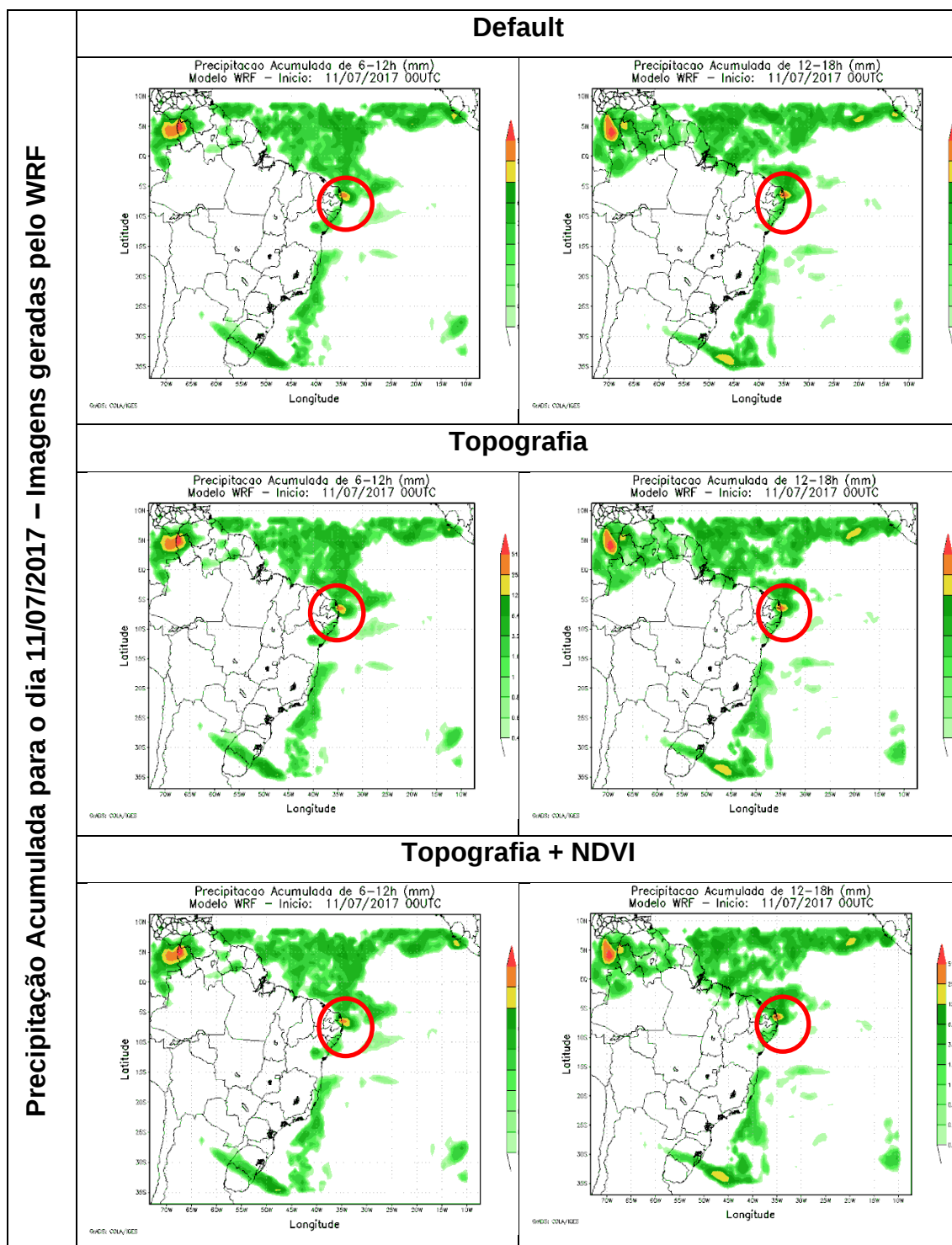
Tabela 05. Tabela de análise estatística de Precipitação para previsões de 24h/48h/72h.

Previsão 24h					
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef.Correlação
Precipitação	Padrão(Default)	-0,13	0,23	0,48	0,20
	Topografia	-0,12	0,25	0,48	0,34
	Topografia+NDVI	-0,11	0,27	0,48	0,30
	Umidade do Solo	-0,14	0,22	0,48	0,19
Previsão 48h					
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef.Correlação
Precipitação	Padrão(Default)	-0,17	0,23	0,50	0,13
	Topografia	-0,17	0,23	0,50	0,16
	Topografia+NDVI	-0,19	1,19	0,50	0,11
	Umidade do Solo	-0,13	0,27	0,50	0,16
Previsão 72h					
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef.Correlação
Precipitação	Padrão(Default)	-0,08	0,51	0,47	0,11
	Topografia	-0,01	0,35	0,47	0,11
	Topografia+NDVI	0,04	0,47	0,47	0,12
	Umidade do Solo	0,03	0,45	0,47	0,17

Fonte: Autor(2018).

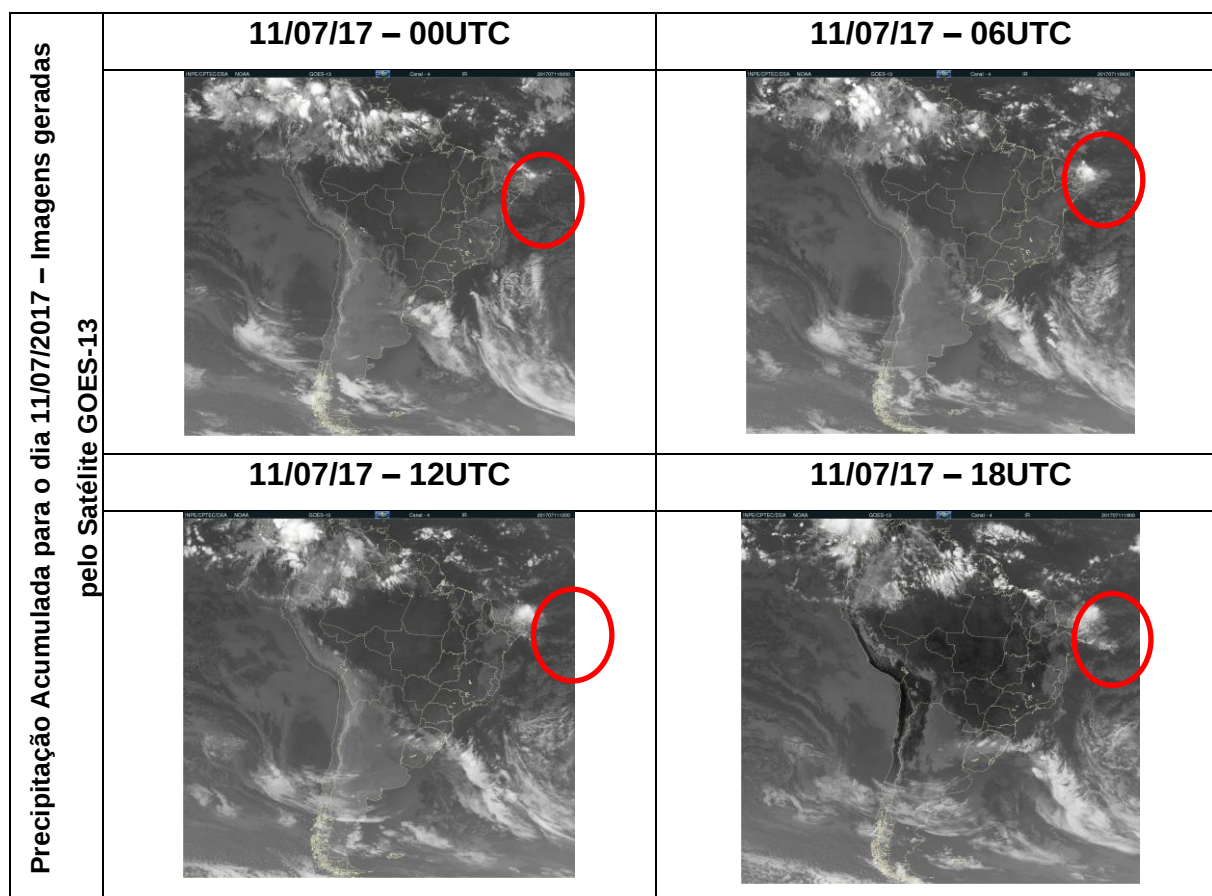
Ao observar as figuras 13-a e 13-b que são imagens geradas com base nas previsões feitas com o modelo WRF e imagens do satélite GOES-13. Na figura 13-a estão sendo mostradas as imagens do WRF Default e imagens com dados atualizados de topografia e topografia + NDVI. Observando especificamente para a região do nordeste, próximo ao estado de Alagoas, pode-se notar que a nebulosidade intensa se forma no decorrer das horas, conforme pode ser visto na figura 13-b, as 00h é possível notar e comparar com base na figura 13-a uma grande semelhança nessa área específica que vai intensificando às 12h e fica mais intensa às 18h. Porém, a estação do INMET de Maceió/AL na qual foi extraído os dados observados, aferiu para o dia 11/07/17 o total de 15,2mm e o modelo estimou uma quantidade de precipitação de 3,87mm com o dado default, mas com a atualização da topografia + NDVI o modelo estimou o quantitativo de 12,61mm tendo um resultado bastante satisfatório, pois a atualização resultou em melhoria na estimativa de precipitação acumulada diária.

Figura 13-a - Imagens geradas pelo modelo WRF de Precipitação de precipitações acumuladas no dia 11/07/17 de 00-06h, 06-12h, 12-18h.



Fonte: Adaptado pelo Autor(2018).

Figura 13-b - Imagens do satélite GOES-13 canal infravermelho de Precipitação de precipitações acumuladas no dia 11/07/17 de 00-06h, 06-12h, 12-18h.

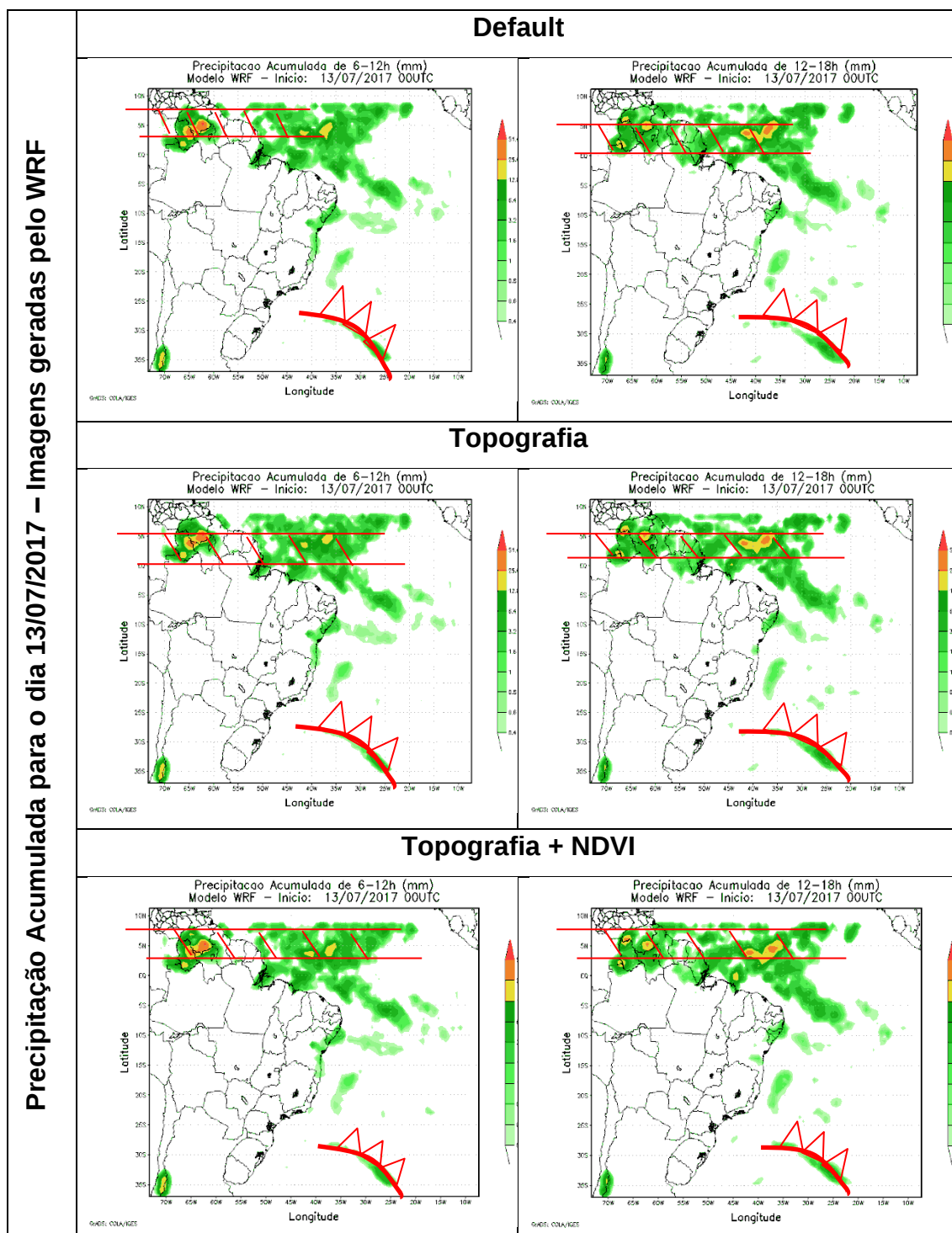


Fonte: CPETC, 2017. Adaptado pelo Autor(2018).

Em observância as figuras 13-c e 13-d feitas a partir das previsões realizadas com o modelo WRF e imagens do satélite GOES-13, pode-se notar na figura 13-c que mostra o teste WRF Default e imagens com dados atualizados de topografia e topografia + NDVI, que especificamente na região do NEB, próximo ao estado de Alagoas pode-se notar que existe uma nebulosidade não tão intensa como no dia 11/07 e conforme exposto visualmente em ambas as figuras 13-c e 13-d, a quantidade de nuvens e de chuva é reduzida. Porém, a estação do INMET de Maceió/AL registrou para este dia 13/07/17 o total de 17,8mm e o modelo estimou uma quantidade de precipitação de 12,04mm para o caso WRF default, mas com a atualização da topografia o modelo estimou o quantitativo de 13,27mm tendo um resultado também bastante satisfatório, e para o caso da atualização topografia + NDVI o total de 12,53mm. É correto afirmar que nesse dia 13/07/17 o modelo obteve uma correlação forte tanto com

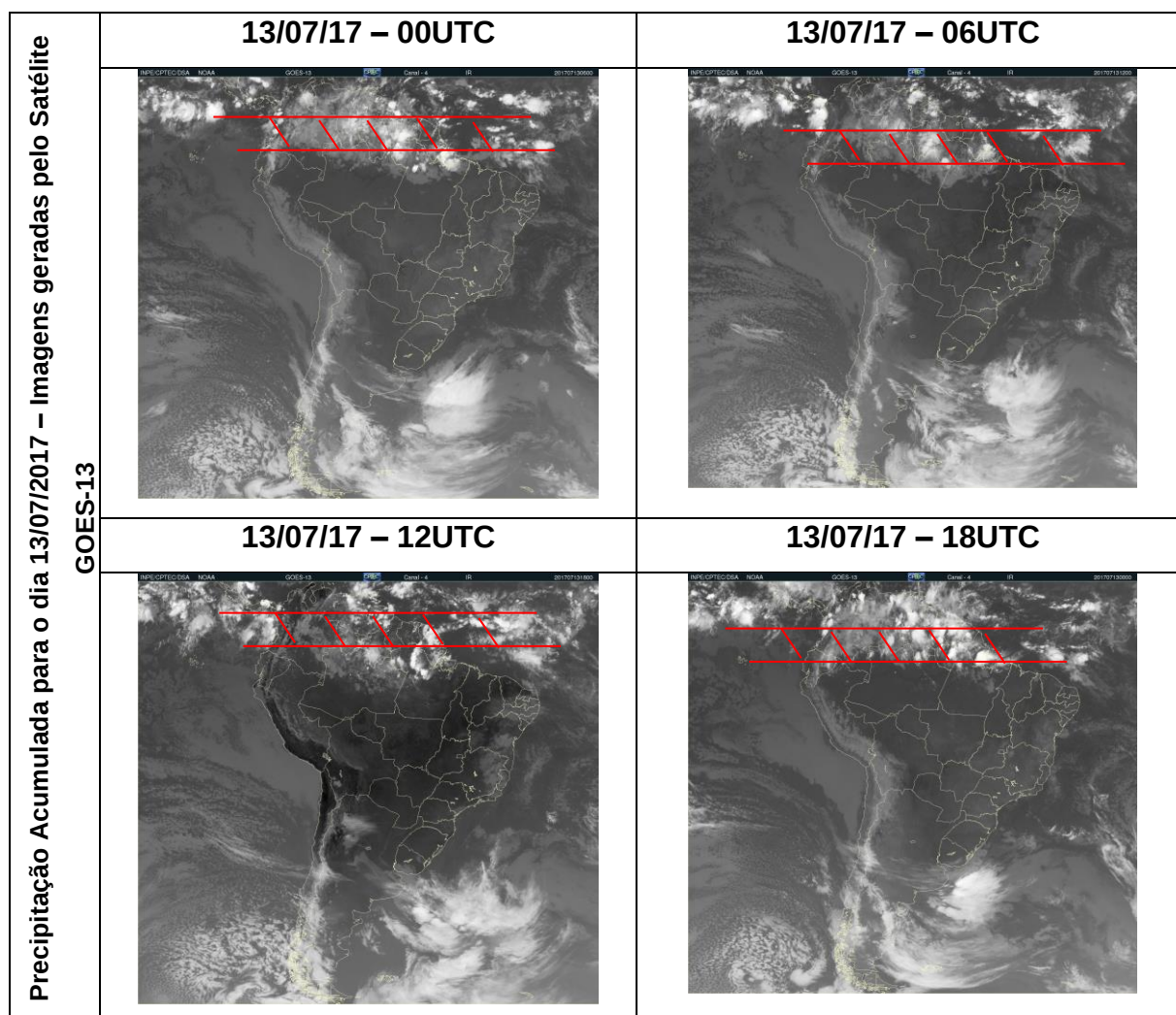
os dados default, bem como somente atualizando a topografia, e também quando atualizada a topografia + NDVI, nesses 3 casos os resultados foram próximos aos valores medidos pela estação INMET.

Figura 13-c - Imagens geradas pelo modelo WRF de Precipitação de precipitações acumuladas no dia 13/07/17 de 00-06h, 06-12h, 12-18h.



Fonte: Adaptado pelo Autor(2018).

Figura 13-d - Imagens do satélite GOES-13 canal infravermelho de Precipitação de precipitações acumuladas no dia 13/07/17 de 00-06h, 06-12h, 12-18h.

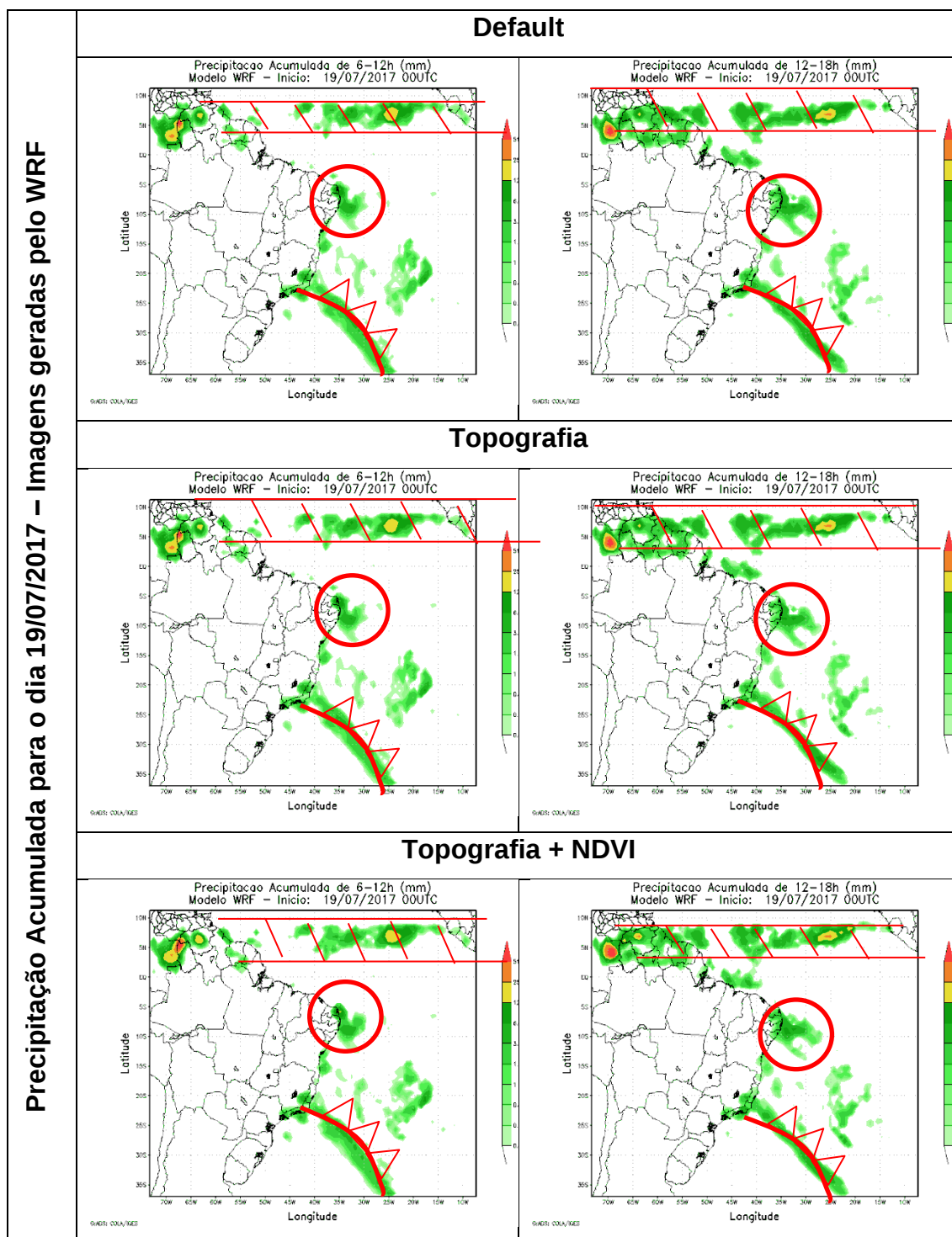


Fonte: CPETC, 2017. Adaptado pelo Autor(2018).

Nas figuras 13-e e 13-f, especificamente na região do NEB conforme já discutido nos dias anteriores a precipitação prever no dia 19/07 o total de 18,2mm para o observado e o modelo estimou uma quantidade de precipitação de 12,31mm com o dado default, mas com a atualização da topografia o modelo estimou o quantitativo de 9,89mm e com a topografia + NDVI obteve o valor de 11,66mm ocorrendo um resultado mais próximo ao observado. As análises que mais se destacaram foram nos dias 11, 13 e 19/07/17 para previsão de 24h. Percebe-se também que existe uma relação visual entre a previsão do acumulado de precipitação e a cobertura de nuvens apresentados nas figuras 13-e e 13-f, em termos de posicionamento geográfico. Por exemplo, de acordo

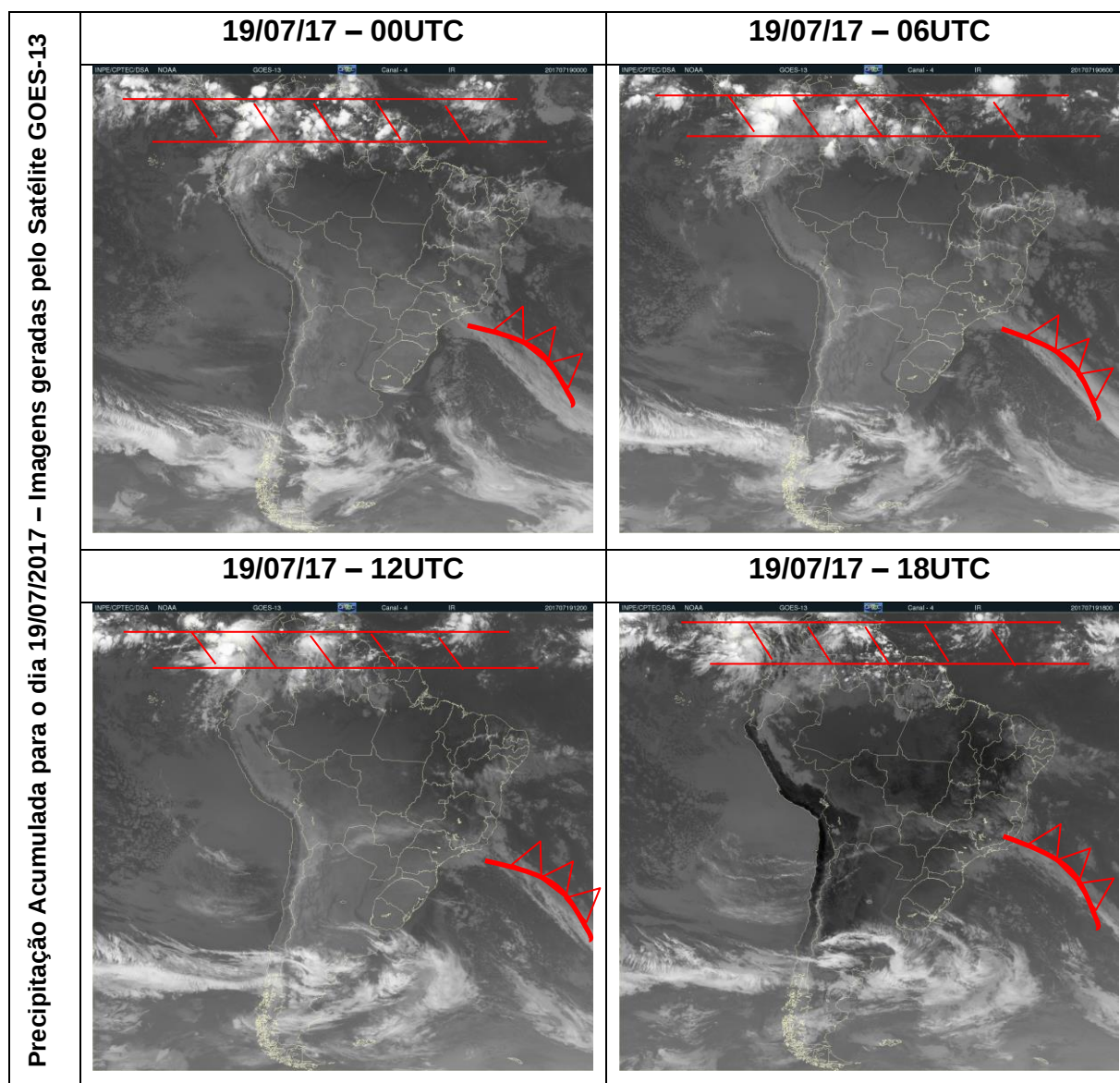
com análises do CPTEC pode-se observar o posicionamento da Frente Fria são bandas de nuvens organizadas que se formam na região de confluência entre uma massa de ar frio com uma massa de ar, ITCZ banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os do hemisfério sul e Onda de Leste que se formam no campo de pressão atmosférica, na faixa tropical do globo terrestre, na área de influência dos ventos alísios, e se deslocam de oeste para leste, ou seja, desde a costa da África até o litoral leste do Brasil. O Estado do Ceará também recebe chuvas nos meses de junho, julho e agosto, que são influenciadas por esse sistema atmosférico denominado Ondas de Leste. Este sistema provoca chuvas principalmente na Zona da Mata que se estende desde o Recôncavo Baiano até o litoral do Rio Grande do Norte. Quando as condições oceânicas e atmosféricas estão favoráveis as Ondas de Leste também provocam chuvas no Estado do Ceará, principalmente na parte centro-norte do Estado.

Figura 13-e - Imagens geradas pelo modelo WRF de Precipitação de precipitações acumuladas no dia 19/07/17 de 00-06h, 06-12h, 12-18h.



Fonte: Adaptado pelo Autor(2018).

Figura 13-f - Imagens do satélite GOES-13 canal infravermelho de Precipitação de precipitações acumuladas no dia 19/07/17 de 00-06h, 06-12h, 12-18h.



Fonte: CPETC, 2017. Adaptado pelo Autor(2018).

Em afirmativa de Nogueira (2010) o mesmo concorda 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 e corroborando com esse conceito temos Carvalho (2008) que afirma sobre trabalhos anteriores superestimar a simulação da precipitação e que em alguns casos são possíveis sistemas meteorológicos atuantes na região do NEB.

No tocante as taxas de acertos e erros, e também avisos falsos, pode-se destacar que as previsões de 24h foram feitas com o teste de topografia (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 para Topografia + NDVI (48h – taxa de acerto 67,92%, taxa de erro 32,08% e 21,66% de avisos falsos) e (72h – taxa de acerto 66,25%, taxa de erro 33,75% e 22,91% de avisos falsos).

Tabela 06. Tabela com o 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%	

Fonte: Autor(2018).

4.6 – Validação da Variável Velocidade do Vento.

Na figura 14 para 24h os resultados mostraram que o modelo conseguiu representar as variações na velocidade do vento, mas com exceção em alguns momentos dos dias 11 e 12 de julho de 2017, Pois o modelo não conseguiu prever os valores mínimos havendo uma disparidade quanto a intensidade e fase da velocidade do vento. Nos demais dias simulados para 24h, como por exemplo, nos dias 13, 16 e 17/07/2017 o modelo não previu a velocidade do vento nos valores mínimos, em alguns momentos percebe-se um atraso da previsão.

Ainda com base na figura 14 para 48h, 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 os motivos dessas dificuldades tenham ocorrido pela má representação da atualização do modelo, pois o mesmo atraso em alguns momentos ocorre com o dado Default. A mesma situação ocorre na figura 14 para 72h no mesmo período de 14 a 17/07/2017 referente a 48h o modelo obteve um atraso na previsão.

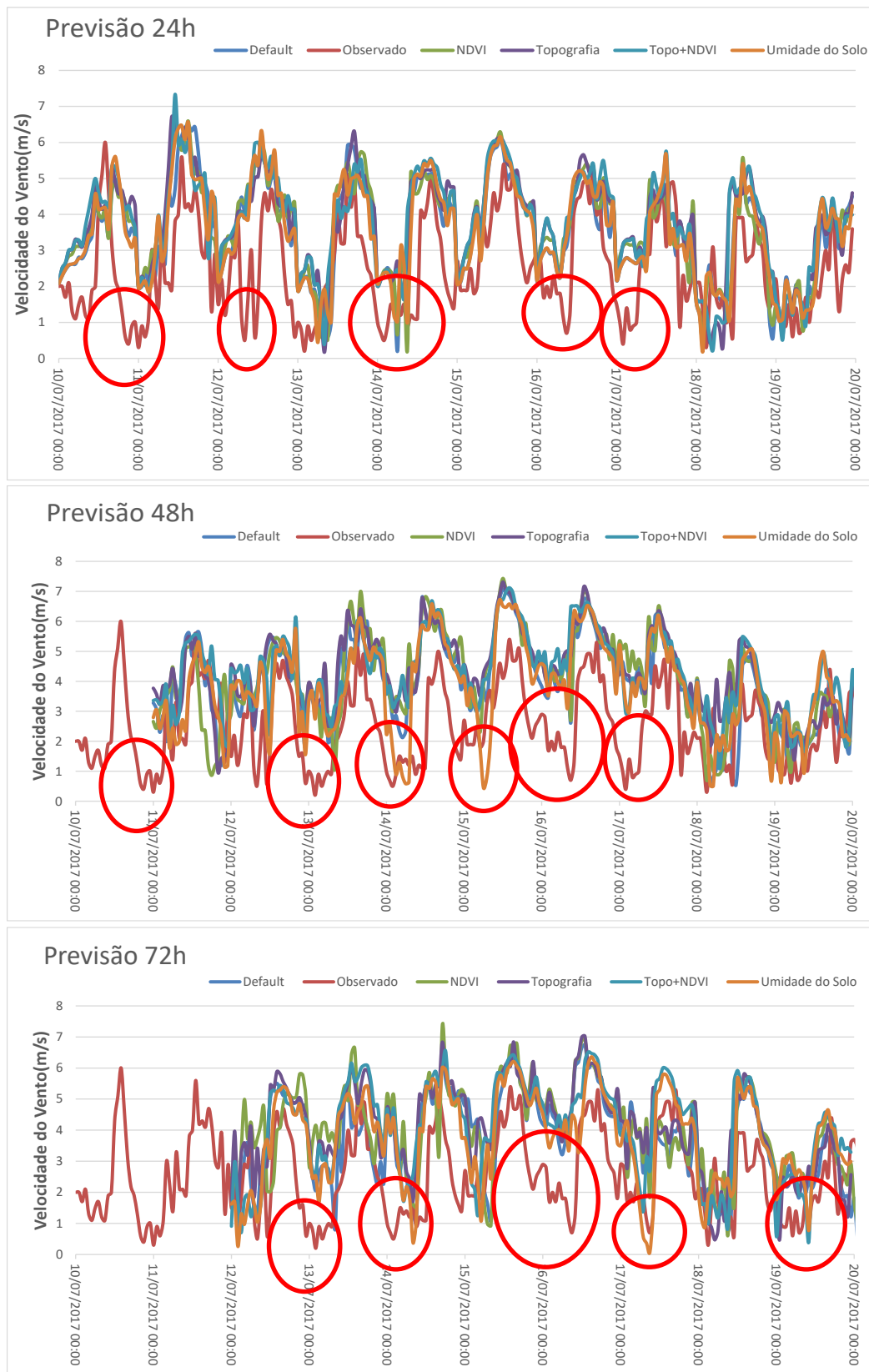
Conforme exposto na tabela 07, as atualizações da topografia, uso do solo e umidade, foram realizadas com sucesso, pois a variabilidade dos dados foram representadas pelo modelo WRF. Estatisticamente os melhores coeficientes de correlação de PEARSON para 24h foi de 0,67(forte) para umidade do solo, 48h foi de 0,54(média) para umidade do solo e topografia + NDVI e para 72h foi de 0,60(média) também para umidade do solo, os coeficientes para o default do modelo foram 0,60, 0,45 e 0,44 respectivamente, ou seja, no período onde o modelo apresentou maiores dificuldades nas simulações, as atualizações proporcionaram melhorias significativas nas simulações. Com base na 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.

Os dados de velocidade do vento simulados mantiveram o mesmo padrão de desenvolvimento temporal comparado ao extraído pela estação na região de estudo. A atualização da topografia, uso do solo e umidade 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.

Em geral o modelo tem dificuldades de prever as mínimas velocidades do vento, da mesma forma que aconteceu com a temperatura, mas de qualquer forma após realizar ao processamento dos dados constata-se pelos resultados dos gráficos que as previsões de 24h foram as melhores para a velocidade do vento.

Figura 14 - Gráficos comparativos da Velocidade do Vento para previsões de 24h/48h/72h.



Fonte: Autor(2018).

Tabela 07. Tabela de 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

Fonte: Autor(2018).

4.7 – Validação da Variável Direção do Vento.

Prever de forma correta a direção do vento também é fundamental, pois possibilita indicar o posicionamento para a formação das nuvens e advecção de temperatura e umidade. Na figura 15 são mostradas as direções predominantes dos valores observados e previstos pelo modelo no período estudado com as atualizações que vem sendo aplicadas na pesquisa.

Pode-se observar com o auxílio da figura 15 que com os dados observados no período em questão a direção do vento oscila algumas horas dos dias 11, 16, 18 e 19 de julho de 2017 nas previsões de 24, 48 e 72h e alguns o modelo não consegue prever quando o vento muda para o norte. Os desvios desses dias chegam a aproximadamente quase 0° a 260°, 350°, 360° e uma mínima de 51°, respectivamente. Porém, no maior período o modelo conseguiu prever bem a direção do vento onde a predominância do vento foi de SE conforme explicito na figura 16, em somente alguns casos isolados o modelo não conseguiu acompanhar o observado.

Em observância a figura 15 na previsão 24h os dados simulados default e umidade do solo foram os mais eficientes em comparativo aos dados

observados e os dados de topografia+NDVI foram os que menos se aproximaram, podemos confirmar essa análise na tabela 08 no coeficiente de correlação, a suposição mais coerente é a influência do contraste topográfico que força a mudança de direção do vento e conforme estudado acima na atualização dos dados de topografia a atualização dessa variável no modelo teve um resultado satisfatório, mas mesmo assim continua uma diferença de relevo em alguns momentos possa ter influenciado na simulação. 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. Evidentemente os processos físicos envolvidos são diferentes no modelo, desde micro à mesoescala, mas ambos possuem relação com as características da superfície, como topografia e condições do solo.

Para a análise da previsão de 48h e 72h os estudos mostraram que os dados de topografia conseguem simular o observado. Com isso, basta confirmar as séries de dados estatísticos na tabela 08, deve-se averiguar alguma circulação local do ar que influencia na direção do vento em alguns períodos. Visando averiguar as variações da direção do vento, principalmente durante o período estudado que pode ser considerado chuvoso (inverno). Dessa forma verifica-se que a diferença entre o observado e o simulado é bem menor no inverno, quando o vento tende a soprar mais de sudeste. 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. De acordo com Lemes e Moura (2004), a diferença de frequência entre direções do vento medida e simulada, comparada em alturas distintas, obviamente possuirá um desvio inserido devido a espiral de Ekman.

Na análise estatística representada na figura 16 previsões de 24h, 48h e 72h predomina a direção do vento para Sudeste para todo o período estudado, a que obteve o menor percentual de aproximação foi a umidade do solo chegando a 80% para previsão de 24h, já as variáveis de topografia e topografia + NDVI foram as que obtiveram o maior percentual de acertos na predominância do vento para Sudeste com 90% e 89,1% respectivamente na previsão de 24h, já para 48h topografia + NDVI registrou 80,4% e apenas a topografia registrou 79,9% e na previsão das 72h a topografia marcou 77,91% e topografia + NDVI 72,5%. A simulação do estudo mostra que de modo geral

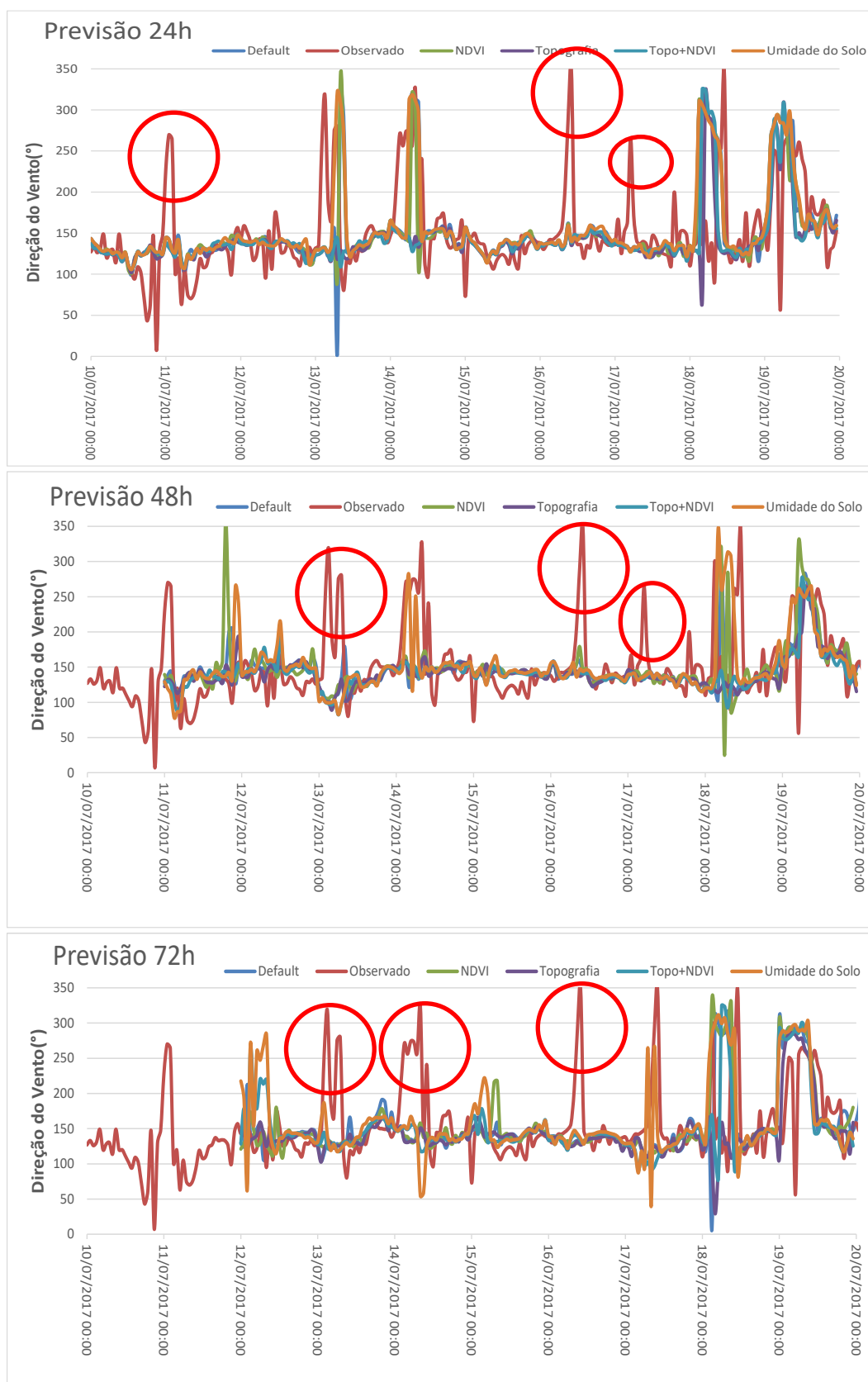
a umidade do solo obteve um melhor resultado para todos os dias analisados, mas a topografia e topografia + NDVI tiveram uma tendência maior no período que o vento sopra mais para Sudeste.

Tabela 08. Tabela de análise estatística de Direção do Vento para previsões de 24h/48h/72h.

		Previsão 24h			
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef.Correlação
Direção do Vento	Padrão(Default)	0,85	28,38	36,69	0,33
	Topografia	-9,45	16,88	36,69	0,25
	Topografia+NDVI	-7,13	18,11	36,69	0,21
	Umidade do Solo	3,09	29,22	36,69	0,42
		Previsão 48h			
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef.Correlação
Direção do Vento	Padrão(Default)	-9,45	16,33	38,11	0,19
	Topografia	-13,60	13,85	38,11	0,21
	Topografia+NDVI	-13,72	13,93	38,11	0,23
	Umidade do Solo	-3,46	24,43	38,11	0,17
		Previsão 72h			
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef.Correlação
Direção do Vento	Padrão(Default)	-7,39	28,16	39,58	0,08
	Topografia	-16,25	18,16	39,38	0,18
	Topografia+NDVI	-7,78	27,07	37,96	0,10
	Umidade do Solo	-0,74	37,69	39,38	0,14

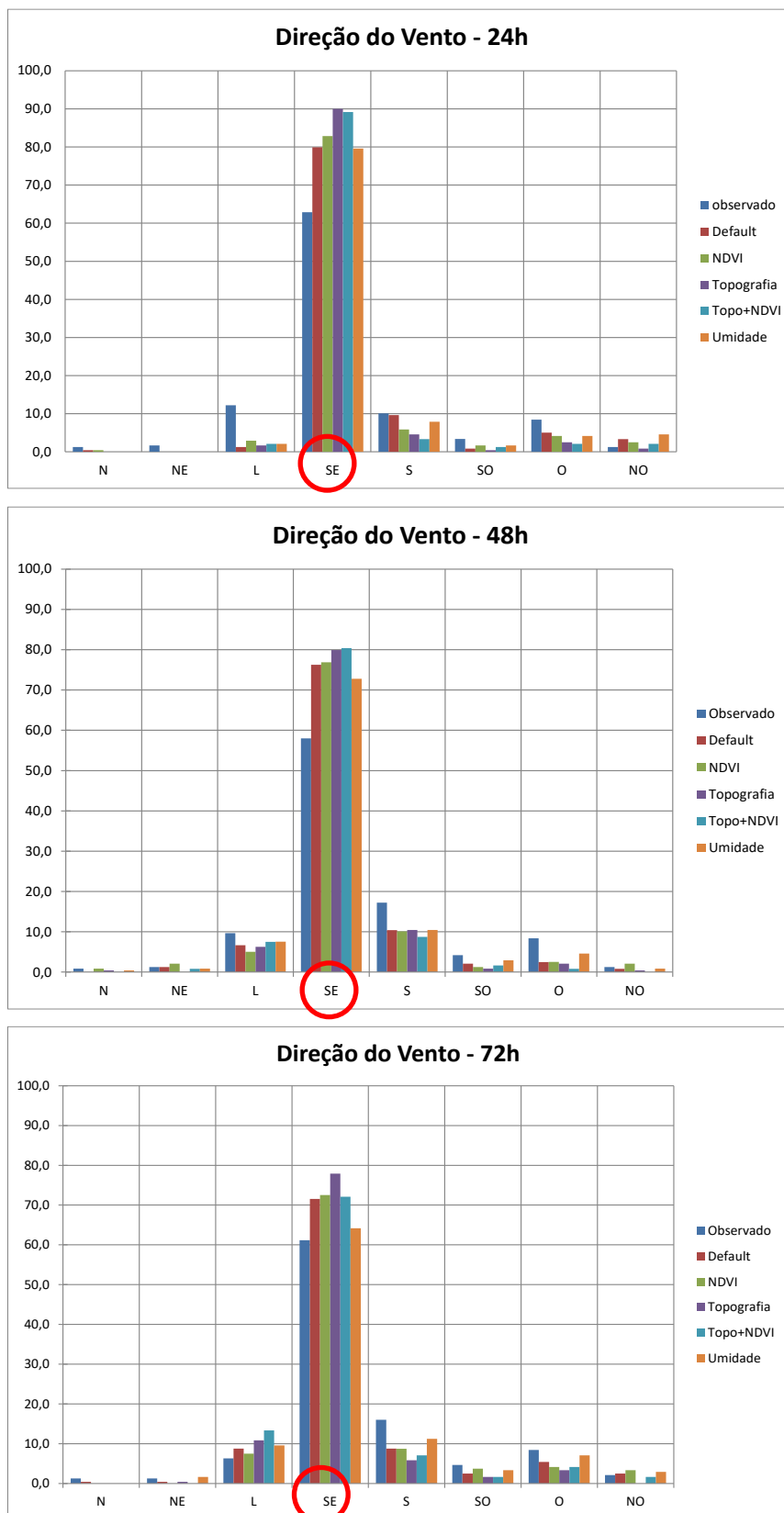
Fonte: Autor(2018).

Figura 15 - Gráficos comparativos da Direção do Vento para previsões de 24h/48h/72h.



Fonte: Autor(2018).

Figura 16 - Gráficos das simulações da Direção do Vento com dados observados e simulados para previsões de 24h/48h/72h.



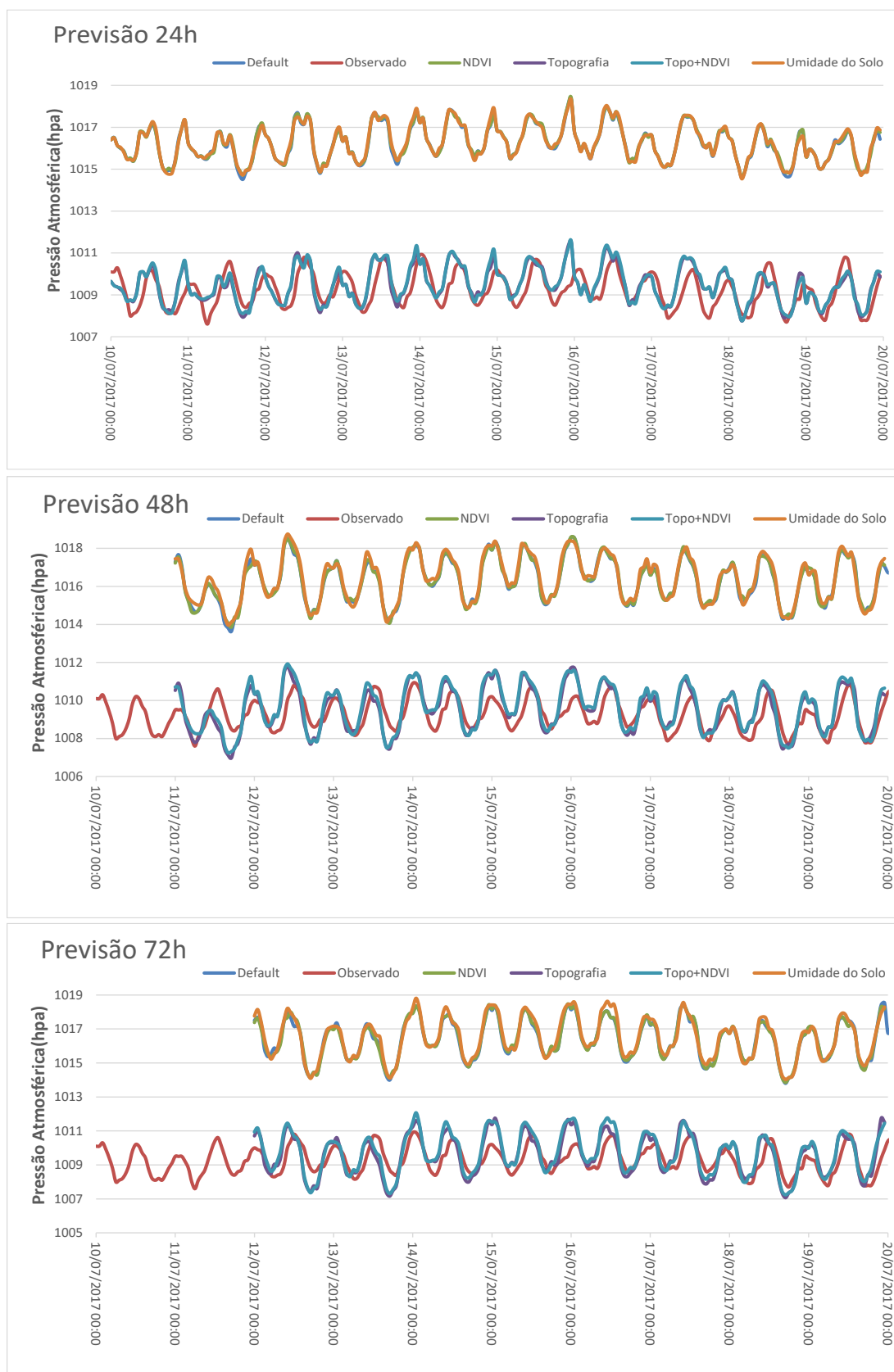
Fonte: Autor(2018).

4.8 – Validação da Pressão Atmosférica.

Na validação da variável Pressão Atmosférica conforme pode ser visto na figura 17, apenas os dados simulados de topografia e topografia + NDVI conseguiram simular a previsão com os dados observados para 24h, 48h e 72h. Os demais dados simulados como Default, NDVI e Umidade do solo superestimaram os resultados previstos chegando a variar dependendo do dia da previsão em até 06 (hpa). Os resultados estatísticos confirmam que a melhor de todas as previsões foram a topografia e topografia + NDVI variando numa correlação de 0,68 até 0,74, pode-se considerar forte e os gráficos da figura 17 confirmam as estatísticas.

A provável explicação 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 foram possíveis prever o observado mesmo estando atualizado, a topografia tem maior influencia para o modelo ao prever a pressão atmosférica do observado. Ainda em observância da figura 17, percebe-se que os dados default não consegue prever o observado, pois os dados default do modelo possuem uma topografia desatualizada relacionada ao observado. Foi constatado que a altura do relevo atual do local estudado é de 84 metros, no WRF_old era de 20,88 metros, atualizado o WRF_new foi para 79 metros, o tipo do solo continuou Urbano, isso também pode ser uma confirmação do que foi constatado sobre a atualização da topografia.

Figura 17 - Gráficos comparativos da Pressão Atmosférica para previsões de 24h/48h/72h.



Fonte: Autor(2018).

Tabela 09. Tabela de análise estatística de 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

Fonte: Autor(2018).

5 - CONCLUSÃO

Ao analisar as parametrizações testadas no modelo, as atualizações de topografia e uso do solo indicam uma melhor previsibilidade sobre a região de Maceió. Com base nos resultados, concluímos que o modelo de mesoescala WRF conseguiu prever satisfatoriamente todas as variáveis analisadas como precipitação, temperatura do ar, direção do vento, velocidade do vento e pressão atmosférica, apresentaram uma tendência em realizar a previsão em curto prazo. Porém, a maioria das simulações previstas apresentaram boas correlações com intensidades não muito distantes do observado.

Em destaque, os indicadores para ter obtido bons resultados deve-se às atualizações da topografia e uso do solo que por sua vez, melhorou o resultado de todas as variáveis analisadas, na previsão da pressão atmosférica ao ser atualizada a topografia houve uma correção que chega muito próximo da igualdade do observado. Além disso, as análises estatísticas e os gráficos gerados comprovam que o modelo previu melhor para 24h do que para 48h que consequentemente previu melhor que 72h. Sendo assim, é possível verificar se a resolução de 5 km do modelo apresentou uma boa previsão para o domínio do Nordeste Brasileiro mais especificamente em Maceió no período estudado, e em qual experimento a previsão apresentou melhores resultados.

A topografia, a cobertura vegetal e o uso do solo confirmam ter influência na previsão de curto prazo. As análises estatísticas feitas para validar as previsões realizadas com o modelo WRF para 24h, 48h e 72h, mostraram que o modelo conseguiu representar bem, o modelo mostrou-se mais eficiente com coeficiente de correlação para 24h, essa atualização teve destaque a correção da pressão atmosférica devido as atualizações realizadas no modelo. O que mostra que o modelo foi ajustado para prever fenômenos em mesoescala, logo é possível indicar o modelo como uma ferramenta a ser utilizada para realizar previsão de numérica de curto prazo. O estudo realizado mostrou que os resultados obtidos pelo modelo foram satisfatórios, conseguindo prever a precipitação de forma pontual e detectar bons resultados para precipitações horárias e diárias, conseguiu prever a temperatura do ar média, a velocidade do vento foi prevista corretamente, destacando apenas em alguns horários onde

houveram picos máximos e mínimos que o modelo não conseguiu acompanhar totalmente e previu a direção do vento que predominou na posição sudeste e por fim, a pressão atmosférica com a correção da topografia teve a altitude da região atualizada sendo o fator principal no resultado.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALAGOAS EM MAPAS, 2012. www.dados.al.gov.br, acessado em 01/08/2017.
- AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. 5. ed. Rio de Janeiro: BCD União de Editoras S. A., v. 1, 1998.
- BUCKERIDGE, M. S. (Org.) Biologia E Mudanças Climáticas No Brasil, São Carlos, Editora Rima, P. 5-28, 2008.
- BROWNING, K.A, COLLIER, C.G. An integrated radar-satellite nowcasting system in the UK. In: Nowcasting. London, Academic Pressp. 46-61, 1982.
- CARVALHO, P. R. B.; Inclusão da perturbação de momentum no esquema de parametrização de cumulus Kain Fritsch e impactos sobre um caso de chuva convectiva. (INPE-15145-TDI/1277). Dissertação (Mestrado em Meteorologia – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos), 2008.
- CAVALCANTE, J. C. Mortalidade em menores de um ano: utilização de novos indicadores para avaliação. Dissertação de mestrado em Saúde da criança, Centro de Ciências da Saúde. Departamento de Tocoginecologia. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2003.
- CHOU, S. C.; Análise de distúrbios ondulatórios de leste sobre o oceano Atlântico Equatorial Sul. Dissertação de mestrado, INPE – 5222 – TDL / 437,1990.
- CORTE-REAL J., SANTOS, J.A. "Los regimenenes de precipitation en Portugal", Cap 11, p 195-230, em Avances en Climatologia Y Ciencias de la Atmosfera, Vol I- La Oscilacion del Atlântico Norte y su influência sobre la Península Ibérica e Canárias, 2004.
- CURTO, L. et al. Calibración de datos observados de contenido de agua en el suelo con sensores capacitivos. Meteorológica, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2016. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-468X2016000200003. Acessado em 28/11/2017.
- DICKINSON, R. E.; R. M. ERRICO et al. A regional climate model for the western U.S. Climate Change, v. 15, p. 383422. 1989.
- DIRMEYER, P. A.; DOLMAN, A. J.; SATO, N.. The pilot phase of the global soil wetness project. Bull Amer Meteor Soc. v. 80, p. 851–878, 1999.

ENFIELD, D. B. e D. A. Mayer, 1997: Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to El Niño-Southern Oscillation. *J. Geophys. Res.*, 102, 929-945.

ESPINOZA, E. S. Distúrbios nos Ventos de Leste no Atlântico Tropical. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 149 pg., 1996.

GANDU, A. W.; GEISLER, J. E. A Primitive Equations Model Study on the Effect of Topography on the Summer Circulation over Tropical South America. *Journal of the Atmospheric Science*, v. 48, n. 16, p. 1822-1836, 1991.

GANDÜ, A.W.; SILVA DIAS, M.A.F.. Tipos e dimensões de ecos de radar associados a sistemas de precipitação na região leste do estado de São Paulo. 111º Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belo Horizonte, MG, 3-7 Dezembro, 1984. *Anais, SBMET*, 1984, v. 1, p. 449-456.

GARCIA, G. J.; MARCHETTI, D. A B; ESPINDOLA, C. R.. Mapeamento de solos através de imagens de radar e de satélite.. *Geociencias (Sao Paulo)*, v. 4, p. 151-157. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/63740>> Acesso em: 21/01/2018.

GIORGI, F.; MEARNS, L. Introduction to special section: regional climate modeling revisited. *J. Geophys. Res.* v. 104, p.6335-6352, 1999.

HACKEROTT, J. A.; 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), 2013.

IBGE, 2015. www.ibge.gov.br, acessado em 22/01/2018.

INMET. (1961-2015). Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas do Brasil. Dados disponibilizados no Site.

IPCC, 2007: Climate change 2007: The physical Science basis. In: Contribution of working group I to the assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., et al. (Eds.)]. Cambridge, UK, e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 996 pp.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, v. 36, n. 6, p. 538-551, 1981.

LEMES, M. A. M.; MOURA, A. D. Fundamentos da dinâmica aplicados à meteorologia e oceanografia. 2ª. ed. Ribeirão Preto, SP: Holos Editora Ltda, 2004. 296 p.

- MARIANO, G.L.; MOURA, M.A.L. Comportamento da temperatura do lixo em duas épocas distintas (seca e chuvosa) no lixão da cidade de Maceió, AL.
- MOLION, L. C. B. e BERNARDO S. O. Revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro, Revista Brasileira de Meteorologia (no prelo), 2002.
- NIETO FERREIRA, R.; SCHUBERT, W. H. Barotropic Aspects of ITCZ Breakdown. Journal of the Atmospheric Sciences, v. 54, p. 261-285, 1997.
- NOGUEIRA, J. H. A. Sensibilidade da precipitação simulada na região do Centro de Lançamento de Alcântara a esquemas de convecção explícita: estudo de caso. 2010. 154f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <http://www.redemet.aer.mil.br/Artigos/dissertacao_de_mestrado5.pdf>. Acesso em: 05/04/2018.
- PEREIRA FILHO, A. J. Radar measurements of tropical summer convection: urban feedback on flash floods. In: 29th International Conference on Radar Meteorology, Montreal, Quebec. Boston, Massachusetts: American Meteorological Society. 1999. p. 939-940.
- REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R.P. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.2, 185 – 204, 2010.
- RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. Boletim Geografia Teorética, Rio Claro, v. 23, p. 288-294, 1993. RIBEIRO, K.T.; NASCIMENTO, J.S.; MADEIRA, J.A. & RIBEIRO, L.C. Aferição dos limites da Mata Atlântica na Serra do Cipó, MG, Brasil, visando maior compreensão e proteção de um mosaico vegetal fortemente ameaçado. Natureza & Conservação, 7(1): p. 30-48. 2009.
- SILVA, A B.P, Estudos de Dois Casos Extremos de precipitação sobre a Costa Leste do Nordeste do Brasil, Dissertação de mestrado, 112p, Departamento de Meteorologia, UFAL, Maceió, AL., 2002.
- SILVA, A. F. G. et al. Uso de modelos de mesoescala na reavaliação do potencial eólico da região do Campos de Vertentes, MG. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMET). Belém (PA).
- SILVA JÚNIOR, R. S. et al. Mapeamento do potencial eólico do Estado de Alagoas utilizando o modelo WRF. Anais do I Seminário Nacional de Engenharia do Vento (SENEV). Belo Horizonte: UFMG. 2010b. p.6.

SILVA JÚNIOR, R.S.; Lyra, R.F.F.; Ramos, D.N.S.; Moura, M.A.L.; Gomes, H.B.; Holanda, S.C. Prognostico do vento para o estado de Alagoas utilizando o modelo WRF em alta resolução: Avaliação da melhoria da topografia, uso do solo e velocidade de fricção. Revista Ciência e Natura, v.28, Ed.Especial, 137-144, 2016.

SILVA JUNIOR, R. S.; Silva, M. C.; Nascimento, G. C.; Gomes, H. B.; Holanda, S. C. Sistema de alerta para áreas de risco, utilizando o modelo de mesoescala WRF para o município de Maceió-Alagoas em julho de 2013. Revista Brasileira de Geofísica. 9, 2016.

SILVA, W. L. Tendências Observadas e Projeções Futuras de Extremos Climáticos na Cidade do Rio de Janeiro. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Meteorologia. XVIII, 85 p. Rio de Janeiro, 2012.

SKAMAROCK, W. C.; KLEMP, J. B.; DUDHIA, J.; GILL, D. O.; BARKER, D. M.; WANG, W.; POWERS, J. G. A Description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR/Tech. Notes, 2005.

SKAMAROCK, W. C, et al. A description of the Advanced Research WRF Version 3. National Center for Atmospheric Research (NCAR). Boulder, Colorado (EUA), p. 125. 2008.

SOUZA FILHO, F. A. Variabilidade e mudança climática nos semi-áridos brasileiros. In: TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (Org.). Clima e Recursos Hídricos no Brasil. Coleção ABRH, 2003.

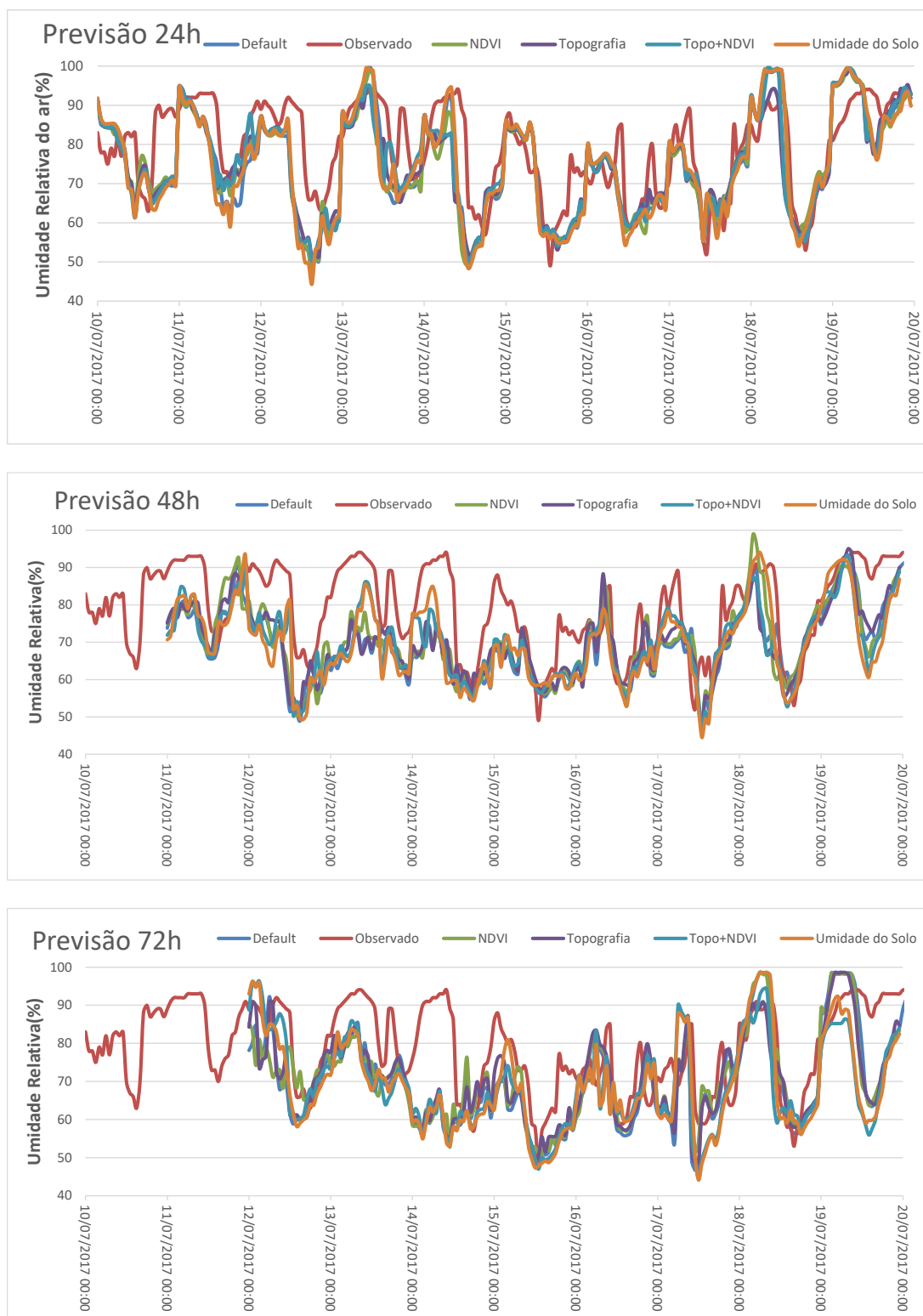
TANAJURA C. A. S. Modeling and analysis of the South American summer climate. Tese Doutorado University of Maryland, College Park Maryland. 1996.

YAMAZAKI, Y; RAO, V. B. Tropical cloudiness over South Atlantic Ocean. Journal of the Meteorological Society of Japan, v. 55, n.2, p. 205-207, 1977.

ANEXOS

ANEXO 01 - Gráficos – Previsão para 24h / 48h /72h (Umidade Relativa do Ar)

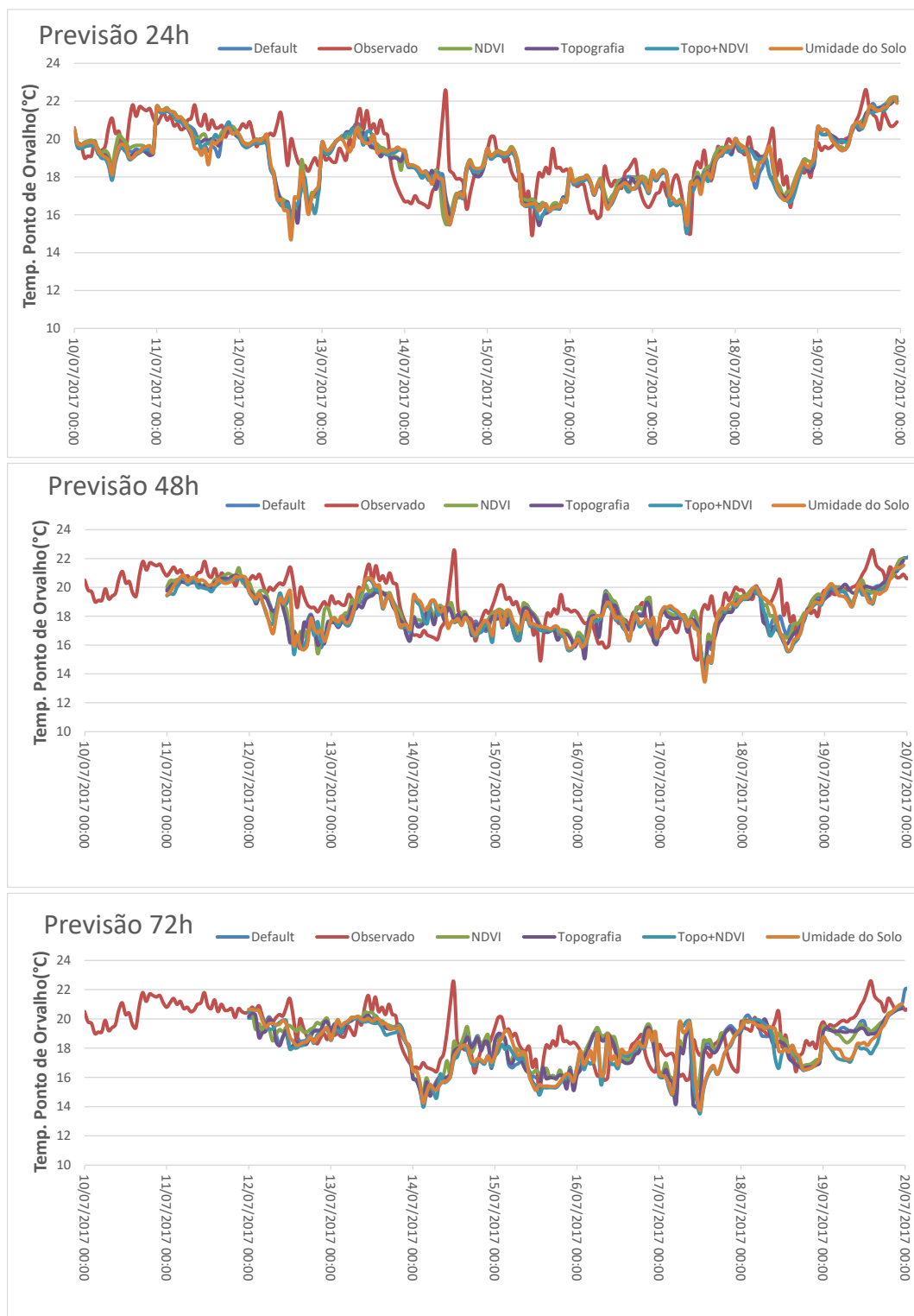
Figura 18- Gráficos comparativos da Umidade Relativa para previsões de 24h/48h/72h.



Fonte: Autor(2018).

ANEXO 02 - Gráficos – Previsão para 24h / 48h /72h (Temperatura do Ponto de Orvalho)

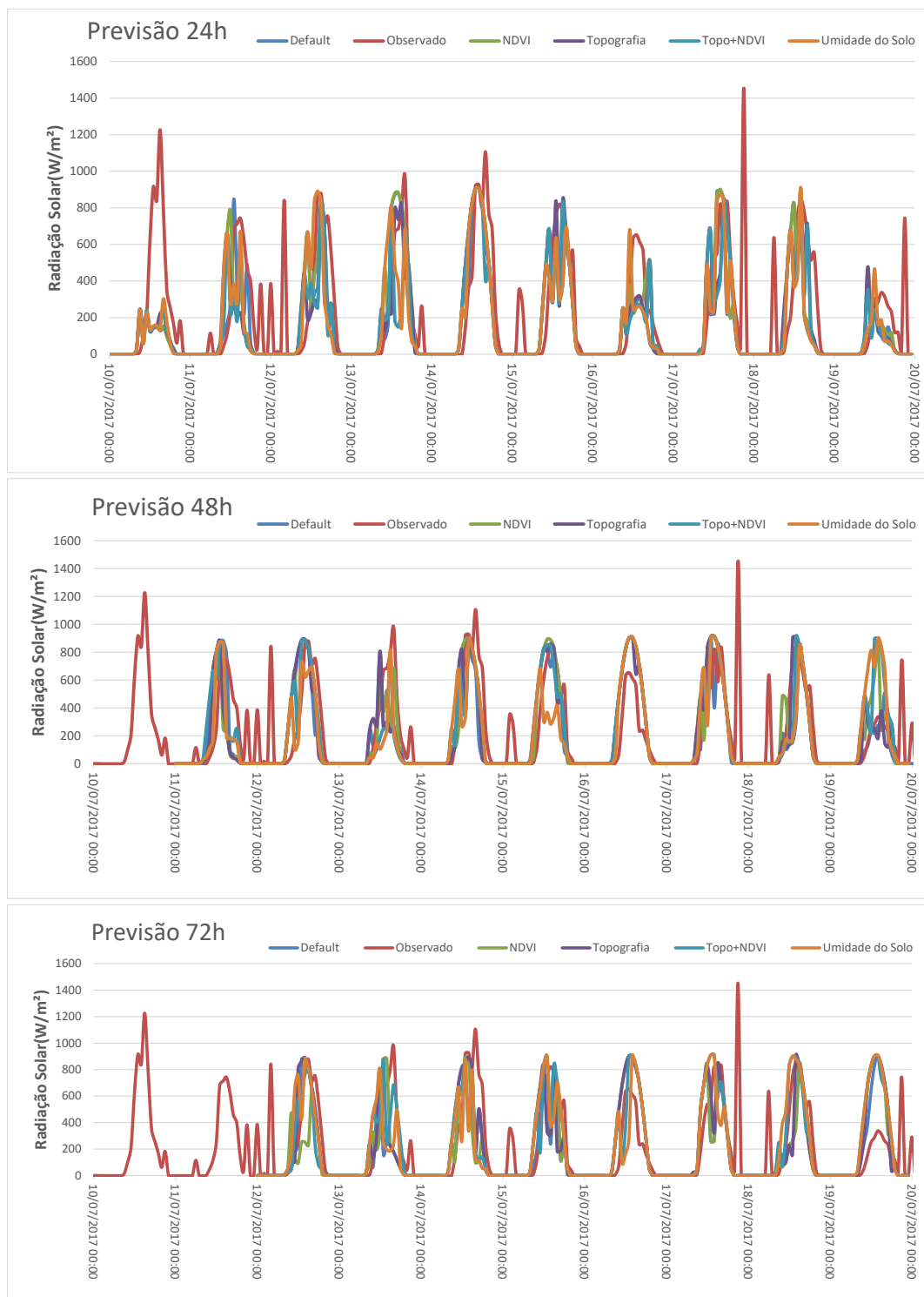
Figura 19 - Gráficos comparativos da Temperatura do Ponto de Orvalho para previsões de 24h/48h/72h.



Fonte: Autor(2018).

ANEXO 03 - Gráficos – Previsão para 24h / 48h /72h (Radiação Solar)

Figura 20 - Gráficos comparativos da Radiação Solar para previsões de 24h/48h/72h. Fonte: Autor.



Fonte: Autor(2018).

ANEXO 04 - Comparações Estatísticas entre os dados de previsão das 24hs das simulações.

Tabela 10. Tabela de estatista de viés, desvio padrão e coeficiente de correlação de PEARSON comparando os dados no período do estudo de 10/07/17 a 19/07/17 para previsão de 24h.

Previsão 24h					
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef.Correlação
Precipitação	Padrão(Default)	-0,13	0,23	0,48	0,20
	Topografia	-0,12	0,25	0,48	0,34
	Topografia+NDVI	-0,11	0,27	0,48	0,30
	Umidade do Solo	-0,14	0,22	0,48	0,19
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
Umidade Relativa do Ar	Padrão(Default)	-4,35	11,19	9,94	0,71
	Topografia	-4,22	10,18	9,94	0,71
	Topografia+NDVI	-3,99	10,64	9,94	0,71
	Umidade do Solo	-4,48	11,49	9,94	0,70
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
Direção do Vento	Padrão(Default)	0,85	28,38	36,69	0,33
	Topografia	-9,45	16,88	36,69	0,25
	Topografia+NDVI	-7,13	18,11	36,69	0,21
	Umidade do Solo	3,09	29,22	36,69	0,42
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
Ponto de Orvalho	Padrão(Default)	-0,29	1,24	1,31	0,65
	Topografia	-0,39	1,26	1,31	0,65
	Topografia+NDVI	-0,42	1,30	1,31	0,64
	Umidade do Solo	-0,35	1,25	1,31	0,62
Radiação Solar	Padrão(Default)	-70,34	185,32	254,29	0,65
	Topografia	-66,62	187,98	254,29	0,65
	Topografia+NDVI	-76,14	176,56	254,29	0,62
	Umidade do Solo	-71,14	186,96	254,29	0,62

Fonte: Autor(2018).

ANEXO 05 - Comparações Estatísticas entre os dados de previsão das 48hs das simulações.

Tabela 11. Tabela de estatista de viés, desvio padrão e coeficiente de correlação de PEARSON comparando os dados no período do estudo de 10/07/17 a 19/07/17 para previsão de 48h.

Previsão 48h					
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef. Correlação
Precipitação	Padrão(Default)	-0,17	0,23	0,50	0,13
	Topografia	-0,17	0,23	0,50	0,16
	Topografia+NDVI	-0,19	1,19	0,50	0,11
	Umidade do Solo	-0,13	0,27	0,50	0,16
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
Umidade Relativa do Ar	Padrão(Default)	-9,91	7,28	10,33	0,65
	Topografia	-8,78	7,40	10,33	0,65
	Topografia+NDVI	-8,94	7,80	10,33	0,70
	Umidade do Solo	-9,30	8,70	10,33	0,70
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
Direção do Vento	Padrão(Default)	-9,45	16,33	38,11	0,19
	Topografia	-13,60	13,85	38,11	0,21
	Topografia+NDVI	-13,72	13,93	38,11	0,23
	Umidade do Solo	-3,46	24,43	38,11	0,17
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
Ponto de Orvalho	Padrão(Default)	-0,55	1,14	1,31	0,59
	Topografia	-0,69	1,18	1,31	0,59
	Topografia+NDVI	-0,77	1,21	1,31	0,56
	Umidade do Solo	-0,62	1,20	1,31	0,54
Radiação Solar	Padrão(Default)	-31,00	234,75	251,91	0,66
	Topografia	-20,72	246,07	251,91	0,68
	Topografia+NDVI	-11,31	251,63	251,91	0,68
	Umidade do Solo	-34,39	226,96	251,91	0,63

Fonte: Autor(2018).

ANEXO 06 - Comparações Estatísticas entre os dados de previsão das 72hs das simulações.

Tabela 12. Tabela de estatista de viés, desvio padrão e coeficiente de correlação de PEARSON comparando os dados no período do estudo de 10/07/17 a 19/07/17 para previsão de 72h.

Previsão 72h					
		Viés_Médio	Desvio WRF	Desvio Observado	Coef.Correlação
Precipitação	Padrão(Default)	-0,08	0,51	0,47	0,11
	Topografia	-0,01	0,35	0,47	0,11
	Topografia+NDVI	0,04	0,47	0,47	0,12
	Umidade do Solo	0,03	0,45	0,47	0,17
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
Umidade Relativa do Ar	Padrão(Default)	-7,75	9,76	10,50	0,57
	Topografia	-6,99	9,26	10,50	0,57
	Topografia+NDVI	-8,90	9,50	10,50	0,58
	Umidade do Solo	-8,60	10,04	10,50	0,60
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
Direção do Vento	Padrão(Default)	-7,39	28,16	39,58	0,08
	Topografia	-16,25	18,16	39,38	0,18
	Topografia+NDVI	-7,78	27,07	37,96	0,10
	Umidade do Solo	-0,74	37,69	39,38	0,14
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
Ponto de Orvalho	Padrão(Default)	-0,50	1,27	1,24	0,51
	Topografia	-0,59	1,28	1,25	0,52
	Topografia+NDVI	-0,94	1,31	1,23	0,54
	Umidade do Solo	-0,70	1,29	1,24	0,52
Radiação Solar	Padrão(Default)	-27,82	238,56	255,27	0,65
	Topografia	-5,67	251,28	245,19	0,68
	Topografia+NDVI	-2,28	262,78	255,27	0,66
	Umidade do Solo	0,75	254,46	245,19	0,66

Fonte: Autor(2018).