

APLICAÇÕES DO MODELO WRF PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR REGIONAL

Taciana T. de A. Albuquerque¹, Rita Y. Ynoue², Maria de Fátima Andrade³, Erick G. S. Nascimento⁴.

1- Meteorologista, Profª. Dra. Visitante do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Vitória – ES, Fone (27) 3335-2177. albuquerque.taciana@gmail.com

2 – Meteorologista, Profª. Dra do Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Universidade de São Paulo – USP, São Paulo – SP.

3 – Física, Profª. Dra do Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), Universidade de São Paulo – USP, São Paulo - SP.

4 - Cientista da Computação, mestrando do Departamento de Ciências da Computação da Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Vitória - ES.

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011
– SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

RESUMO: No inverno de 2008 foi realizada uma campanha experimental durante 10 dias na RMSP para obtenção de dados ambientais a fim de validar modelos numéricos. Nesta pesquisa campos meteorológicos foram obtidos através de simulações realizadas com o modelo WRF v3.0.1, durante o mesmo período, usando três grades aninhadas com resolução de 27-km (34 x 34 células), 9-km (52 x 52 células), e com 3-km de resolução (109 x 76 células). As condições iniciais e de fronteiras foram originadas através dos dados do *NCEP FNL* com resolução de 1°x1°, com saídas a cada 6 horas. Foram utilizados dados meteorológicos monitorados nas estações de Pinheiros (CETESB) e IAG/Água Funda. Apesar das limitações, o modelo se mostrou uma ferramenta eficaz, reproduzindo as diferentes condições atmosféricas ocorridas durante o período. Algumas divergências foram observadas principalmente na velocidade do vento, a qual foi superestimada pelo modelo. Com relação aos demais parâmetros o WRF reproduziu satisfatoriamente a evolução horária das variáveis meteorológicas medidas na região, mostrando-se uma ferramenta capaz de representar os fatores locais que afetam as condições atmosféricas, e, portanto, a qualidade do ar.

Palavras Chaves: Modelagem Regional, validação do WRF, RMSP.

APPLICATIONS OF THE WRF MODEL TO REGIONAL AIR QUALITY EVALUATION

ABSTRACT: An environmental sampling campaign was performed during 10 days of the winter 2008 in MASP to provide local data to compare with modeling results. Meteorological fields were modeled using the WRFv3.0.1 model, for the same period, using three nested domains with 27km grid resolution (34 × 34 cells), 9km (52 × 52 cells), and a high resolution domain of 3km (109 × 76 cells). Initial and boundary conditions were derived from the NCEP Final Analysis Data (FNL) on 1°×1° global grids every six hours (hereafter FNL data). In this paper, it was used meteorological data from Pinheiros and Água Funda Meteorological Stations from CETESB and IAG, respectively. The analysis shows a good performance of WRF model calculating surface parameters, however differences are still observed mainly in wind speed, which is over predicted by the model most of the time. WRF results followed diurnal behavior of the main meteorological parameters observed, showing to be an efficient tool to represent the local factors which affect the atmospheric conditions and thus, the air pollution.

KeyWords: Regional Modeling, WRF validation, MASP.

INTRODUÇÃO: A qualidade do ar na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é determinada por um complexo sistema de fontes móveis (veículos automotores) e fixas (indústrias), pela topografia e pelas condições meteorológicas da região. Com um total de 39 municípios e uma população estimada no ano de 2005, em 18,3 milhões de pessoas segundo a Secretaria Municipal de Planejamento da Cidade de São Paulo (SEMPPLA), a RMSP é o quarto maior aglomerado urbano do mundo, ultrapassado apenas pelas regiões metropolitanas de Tóquio, Cidade do México e Nova York (ONU, 2005). O clima na RMSP pode ser resumido como seco no inverno e úmido no verão. De setembro a abril, a área é dominada por vento úmido do Sul e ocorrência de sistemas frontais, resultando em precipitações e nuvens de baixa altitude. Durante o inverno, formações de alta pressão no Oceano Atlântico ao leste, dirigem-se para o norte, produzindo ventos fracos provenientes da costa (normalmente inferiores a $1,5\text{m.s}^{-1}$), e muitas horas de calmaria, fortes inversões térmicas de subsidência (abaixo de 200m) e céu claro. Diante deste complexo conjunto de adversidades encontradas na RMSP, o presente trabalho apresenta uma avaliação do desempenho do modelo meteorológico WRF na representação das condições atmosféricas da região durante o inverno de 2008. Estes resultados fazem parte do escopo de um projeto de doutoramento o qual visou à utilização dos resultados numéricos obtidos pelo modelo WRF para o uso em modelos de qualidade do ar.

METODOLOGIA: No inverno de 2008 foi realizada uma campanha para amostragem do aerossol atmosférico na RMSP (Figura 1). Esta campanha foi organizada pelo Laboratório de Análise dos Processos Atmosféricos (LAPAt – IAG/USP), sendo o experimento realizado no Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo (ICB-USP) durante o período de 12 a 22 de agosto de 2008, na região oeste da cidade de São Paulo.

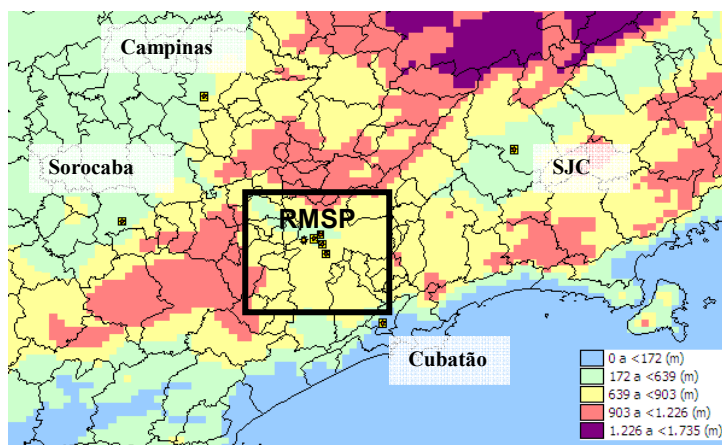


Figura 1: Localização da Área de Estudo: RMSP – Região Metropolitana de São Paulo. O Colorido representa a topografia (m) e os símbolos as estações utilizadas para a avaliação das simulações: O símbolo sol (a esquerda) representa a estação IPEN; em sentido horário segue as estações de Pinheiros, Cerqueira César; Ibirapuera e Congonhas (mais ao sul); Cubatão; São José dos Campos; Campinas; Sorocaba.

Para a caracterização das condições meteorológicas locais na região foram utilizados os dados da estação meteorológica do IAG/Água Funda ($-23^{\circ}39'$; $-46^{\circ}37'$) e da estação meteorológica de Pinheiros ($-23,56$; $-46,70$) operada pela CETESB por ser localizada mais próxima da região de coleta. Foram medidos dados de Temperatura do Ar ($^{\circ}\text{C}$), Velocidade (m/s) e Direção (graus) do vento e precipitação. As simulações numéricas dos campos meteorológicos foram realizadas com o WRF (Weather Research and Forecasting), na versão 3.0.1 que é um modelo numérico atmosférico orientado para simulações em mesoescala. Neste trabalho foram utilizados dados de análise GFS (Global Forecast Systems Model) para

a inicialização da modelagem numérica com o WRF. Os parâmetros temporais e espaciais utilizados na simulação meteorológica estão listados na tabela 1.

Tabela 1: Configurações utilizadas na simulação numérica com o WRF.

Opções Físicas e Dinâmicas - WRFv 3.0.1 - Utilizadas para os três domínios		Parâmetros Temporais e Espaciais			
Microfísica	Thompson	Data Inicial	11/0/2008 as 00 UTC		
Radiação de Onda Longa	Rrtm	Data Final	23/08/2008 as 18 UTC		
Radiação de Onda Curta	Dudhia	Resolução das grades	27 km	9 km	3 km
Camada – Superfície	Pleim – Xu	Nº de Colunas	34	52	109
Superfície – Terra	Pleim – Xu	Nº de Linhas	34	52	76
Camada Limite	ACM2 (Pleim)	Centro da grade	-23,55°S; -46,49°W		
Cúmulos	Kain –Fritsh (novo ETA)				
Camadas do Solo	Modelo de Superfície de Pleim –Xu				

RESULTADOS: Para caracterização atmosférica da RMSP e verificação da acurácia do modelo foram utilizados os dados medidos na estação meteorológica de Pinheiros pertencente à CETESB por estar localizada mais próxima do local do experimento. As variáveis meteorológicas utilizadas para esta análise são a temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), precipitação (mm), velocidade e direção predominante diária do vento (m/s). A figura 2 apresenta a temperatura do ar modelada frente aos dados monitorados na estação Pinheiros - CETESB. Observa-se uma boa aderência dos resultados modelados pelo WRF com os valores medidos, o que denota uma resposta satisfatória do modelo. No período de 13 a 15 de agosto ocorreu a passagem de um sistema frontal desintensificado, fazendo com que ocorresse o aumento da umidade relativa do ar (%) e, conseqüentemente, um decréscimo na temperatura do ar. Esta situação não foi bem reproduzida pelo modelo, provavelmente devido à pequena intensidade desta perturbação na região. Nos demais dias o modelo representou bem a amplitude térmica, inclusive para os dias 22 e 23 de agosto, que ocorreu outra atuação de um sistema frontal fazendo com que as temperaturas decrescessem para aproximadamente 20°C. A tabela 2 apresenta as avaliações estatísticas para a qualidade das simulações numéricas de temperatura e umidade relativa do ar. Para esta validação foram utilizados dados das estações Pinheiros (CETESB) e IAG (Água Funda). Verifica-se um bom coeficiente de correlação para as duas estações utilizadas, a razão média calculada foi bem próxima a 1, o que seria um valor ideal, significando que o previsto obteve igual valor que o medido. Contudo, observa-se que na maioria das propriedades estatísticas aplicadas as duas estações apresentaram valores semelhantes com relação à modelagem de cada uma das células avaliadas. A figura 3 apresenta a variação da umidade relativa do ar (%) medida na estação e simulada pelo WRF durante o período do experimento. O modelo se mostrou uma ferramenta eficaz para reproduzir as condições atmosféricas locais, captando as variações de umidade durante o período modelado. Verifica-se que de 12 a 15 de agosto a umidade se manteve alta, próximo dos 100%. Após a passagem do sistema frontal a umidade relativa voltou a decrescer, seguida por dias mais secos, com mínima de até 20%. Durante o experimento ocorreu um longo período de calmaria, fazendo com que a velocidade média do vento medida fosse muito baixa, e muitas vezes próxima de zero (Figura 4). Portanto, como já seria esperado, o modelo WRF não conseguiu reproduzir bem a evolução horária da velocidade do vento. Sabe-se através da literatura que os modelos numéricos de uma forma geral não possuem sensibilidade suficiente para simular velocidade do vento muito baixa. Nos dias em que as velocidades foram acima de 4 m/s o modelo mostrou-se uma ferramenta satisfatória nesta região.

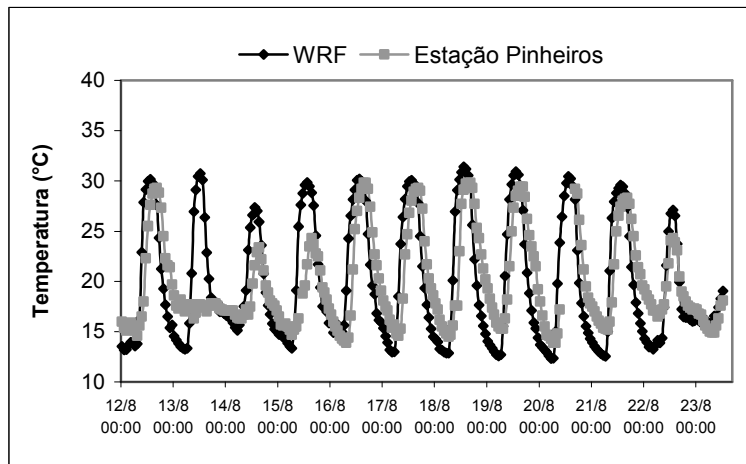


Figura 2: Evolução temporal da Temperatura do Ar (°C) Medida na estação de Pinheiros operada pela CETESB e Modelada pelo WRF.

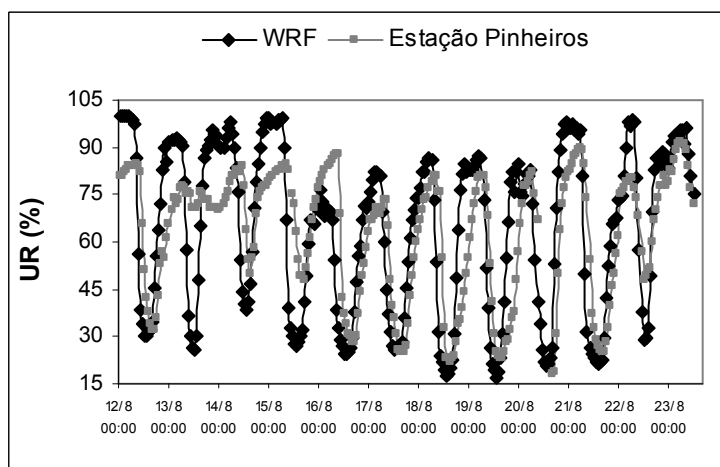


Figura 3: Evolução temporal da Umidade Relativa do Ar (%) Medida na estação de Pinheiros operada pela CETESB e Modelada pelo WRF.

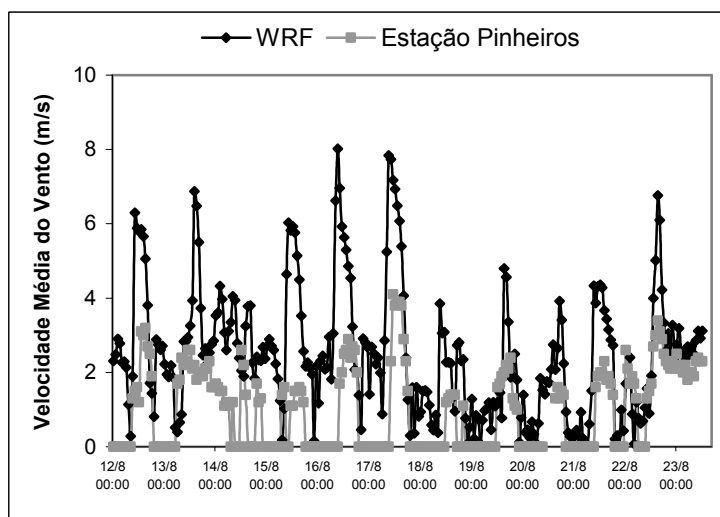


Figura 4: Evolução temporal da Velocidade do Vento (m/s) Medida na estação de Pinheiros operada pela CETESB e Modelada pelo WRF.

A figura 5 apresenta a evolução temporal da precipitação acumulada diária, numa escala logarítmica devido ao pequeno volume ocorrido durante este período na RMSP. Verifica-se que em todos os dias que existiram ocorrência de chuva o modelo subestimou as medidas. Como o volume de água medido foi muito pequeno e provavelmente localizado, o modelo com resolução de 3 km não conseguiu reproduzir muito bem essa ocorrência de chuva.

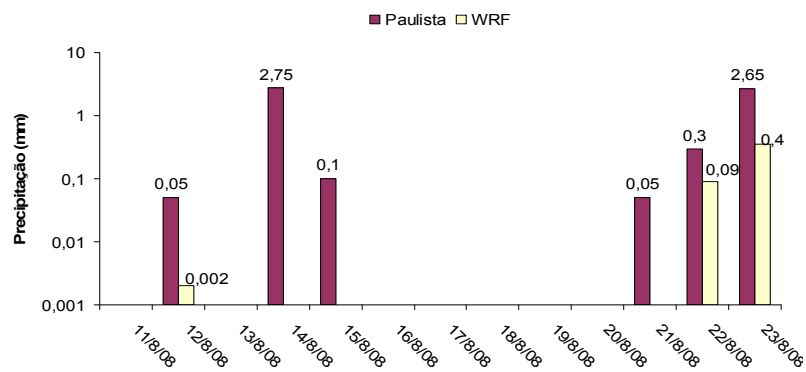


Figura 5: Evolução temporal da Precipitação Acumulada Diária Medida na estação Paulista e Modelada pelo WRF.

Tabela 3: Avaliações estatísticas da qualidade das simulações meteorológicas.

Índices Estatísticos	T [°C] - Pinheiros	T [°C] - IAG	UR [%] - Pinheiros	UR [%] - IAG
Nº de Observações	301	224	301	224
Média WRF [°C] e [%]	20,18	21,60	65,10	59,47
Média Observada [°C] e [%]	19,77	20,33	63,07	67,90
Razão Media (Prev/Obs)	1,01	1,06	1,07	0,88
BIAS [°C] e [%]	0,86	1,27	3,49	-8,43
Bias Fracional (%)	3,92	5,22	5,57	-16,59
Bias Médio Normalizado	4,47	6,23	5,67	-12,42
Erro [°C] e [%]	3,85	2,45	16,45	13,82
Erro Fracional (%)	20,35	11,37	32,15	25,36
Erro Médio Normalizado (%)	19,91	12,05	26,70	20,35
Coefficiente de Correlação	0,71	0,83	0,67	0,76
MSE	37,11	10,38	403,07	351,38
RMSE	6,09	3,22	20,08	18,75
Desvio Padrão Prev	6,06	5,29	26,67	25,48
Desvio Padrão Obs	4,65	4,32	19,97	22,95

CONCLUSÕES: Atualmente modelos numéricos de mesoescala são executados com alta resolução e seus resultados estão sendo amplamente utilizados como dados de entrada em modelos de qualidade do ar, transporte e dispersão em áreas urbanas. Torna-se uma tarefa difícil para os modelos meteorológicos reproduzirem as influências das forçantes urbanas sobre o vento, temperatura, umidade relativa e dentre outras variáveis. Por esta razão é de grande importância calibrar os modelos atmosféricos ajustando-os as características locais. No presente trabalho foi feito uso do sistema de modelagem numérica WRF para posterior aplicação em modelos de qualidade. Através dos resultados obtidos foi comprovado que, apesar de algumas deficiências, o modelo WRF é capaz de captar as variações das condições atmosféricas que ocorre devido o ciclo diário, assim como reproduzir mudanças abruptas que ocorrem na atmosfera. Logo, pode-se concluir que os resultados numéricos apresentados neste trabalho são válidos para servirem de entradas em modelos de qualidade do ar para a Região Metropolitana de São Paulo.

AGRADECIMENTOS: Agencia de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo patrocínio deste projeto de doutorado (05/58750-9); A EcoSoft Consultoria Ambiental pela liberação do SIA para elaboração das figuras da tese.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ONU (2005): UN World Urbanization Prospects (2005 revision).