

Cachoeira Paulista, 5 março de 2018

1. Introdução

O CPTEC usa atualmente três modelos regionais operacionais, Eta e BRAMS, a uma resolução de 5 km sobre América do Sul e WRF em 3 km sobre o Sudeste. Este último, alimenta o modelo de previsão de ondas e correntes costeiras, e o modelo regional a 1 km de resolução utilizado no projeto SOS Chuva da DSA. Como os recursos humanos (divididos em vários modelos) e computacionais do CPTEC são bastante limitados, não é mais possível manter e utilizar vários modelos regionais operacionais no CPTEC para previsão de tempo. Assim, por solicitação do Coordenador-Geral do CPTEC, foi estabelecido um grupo de trabalho a cargo da DMD e DOP, com o propósito de avaliar objetivamente a destreza dos modelos regionais acima citados. O grupo foi composto por: Manoel Alonso Gan (Presidente), Gustavo Escobar, Clovis Sansigolo, José Roberto Garcia (DMD) e Daniel Vila (DSA) responsáveis pelas avaliações, e Alex Fernandes e José Roberto Rozante (DOP), responsáveis pelas rodadas de modelos. O grupo de Apoio dos Modelos Regionais, responsáveis pelos modelos regionais e por auxiliar na implementação dos modelos, foi formado por Chou Sin Chan (Eta), Ariane Frassoni (BRAMS) e Eder Vendrasco (WRF). O Dr. Gan e os Grupos responsáveis pelas avaliações, pelas rodadas dos modelos e os responsáveis pelos modelos regionais se reuniram várias vezes durante o mês de junho/julho 2017, para que fosse estabelecido um protocolo de rodadas, bem como para que fosse entregue a versão de cada modelo que seria utilizada para as rodadas. Durante a primeira quinzena de julho 2017, os responsáveis pelos modelos entregaram para os responsáveis pelas rodadas dos modelos as versões dos modelos (incluindo scripts, namelist, etc.) a serem utilizadas. Para evitar parcialidade nas avaliações, os responsáveis pelas rodadas dos modelos nomearam aleatoriamente os modelos usados no CPTEC de modelo M1, M2 e M3. Assim, os demais membros da equipe de trabalho de avaliação desconheciam a qual modelo pertenciam os resultados. As variáveis avaliadas foram as mais usadas pelos usuários, a saber: precipitação, vento a 10 m e temperatura mínima e máxima a 2 m, para as previsões de até 72 horas. Adicionalmente, foram avaliados eventos de chuva intensa sobre diferentes regiões sobre o Brasil e eventos ciclogênicos ocorridos sobre o continente e oceanos adjacentes.

Após quase oito meses de trabalho, os resultados das avaliações foram apresentados pelo presidente do grupo de trabalho, Dr. Manoel A. Gan, durante reunião do Comitê Assessor do CPTEC ocorrida em 30/01/2018, com a presença dos responsáveis pelos modelos regionais. A avaliação da precipitação mostrou que cada um dos modelos tem diferente desempenho, dependendo da região e da estação do ano. Em geral, os modelos M1 e M2 se destacaram em comparação ao M3. Também foi mostrado que estes dois modelos M1 e M2 se destacam com maior clareza com relação ao M3 na avaliação de vento a 10 m e temperatura máxima e mínima a 2 m, e no estudo de 11 casos de eventos de chuva intensa. Após o relato do Dr. Gan foram apresentados os resultados de desempenho computacional dos modelos pelo Dr. Rozante. Foi mostrado que o modelo M3 é muito mais oneroso computacionalmente, quando

comparado aos modelos M1 e M2. Em seguida, foi revelada a identidade dos modelos M1, M2 e M3, como sendo os modelos Eta, WRF e BRAMS, respectivamente.

Do sumário executivo apresentado pelo Grupo de Trabalho da intercomparação do desempenho dos modelos regionais, e enviado aos membros do Comitê Assessor e aos representantes dos modelos, nota-se o seguinte: Na precipitação de 48 e 72 h e nos eventos de chuva intensa os modelos M1 e M2 destacam-se com relação ao M3. Na velocidade do vento e temperatura máxima e mínima os modelos M1 e M2 são claramente superiores ao M3. E finalmente na parte computacional, M1 e M2 foram muito mais eficientes que o M3. Os modelos M1 e M2 apresentaram resultados muito parecidos na eficiência computacional. De posse desses resultados o Coordenador-Geral do CPTEC solicitou para as chefias das divisões do CPTEC maiores informações técnicas relativas aos modelos M1 e M2 para a tomada de decisão. A principal pergunta foi, com qual destes modelos, ETA ou WRF, existiria a maior possibilidade de melhorar a previsão numérica de tempo no Brasil e modernizar a previsão de tempo regional com o objetivo de atender a missão do CPTEC. As perguntas específicas para serem respondidas foram: i) funcionários/bolsistas no CPTEC envolvidos em ambos os modelos, ii) modernidade dos modelos, iii) eficiência computacional e paralelização, iv) comunidades nacional e internacional envolvidas no desenvolvimento do modelo, v) assimilação de dados e vi) outros relevantes.

2. Comparações entre os Modelos Eta e WRF.

i) Funcionários/bolsistas envolvidos com ambos modelos no CPTEC. Existem dois funcionários que trabalham diretamente com o modelo Eta (Dra. Chou e Dr. Jorge). Existe um funcionário que trabalha desde seu doutorado com o modelo WRF (Dr. Eder), e outro funcionário e professor de Previsão Numérica de Tempo na PGMET que trabalhou por um ano (2015) para a operacionalização do WRF para as Olimpíadas do Rio de Janeiro 2016 (Dr. Julio Pablo). Ambos os modelos tem alunos e bolsistas envolvidos.

ii) Modernidade dos modelos. O WRF é o modelo regional em estado da arte mundial. É um modelo modular com muitas opções de parametrizações. A vantagem do modelo Eta é sua coordenada vertical “eta” (Mesinger et.al. 2012), que permite representar bem o contorno topográfico, em especial da Cordilheira dos Andes. Porém, para a previsão de tempo de curto prazo (3 dias) as condições iniciais são dominantes, e isso não afeta substancialmente os resultados das previsões. Sobre as diferentes opções físicas dos modelos, assim como o código destes modelos podem ser encontrados em:

WRF: <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>

Eta: <http://etamodel.cptec.inpe.br/>

iii) Eficiência computacional e paralelização. Ambos os modelos têm eficiência similares aproximadamente até 2 mil processadores (ver Fig.1). Entretanto, o WRF é altamente paralelizável em comparação ao modelo Eta, como se pode ver nessa figura. Pode-se notar que o modelo Eta satura em 2500 processadores aproximadamente. Após este valor não tem mais ganho. Por outro lado, o WRF escala muito bem até 4 mil processadores. Após este valor o ganho é cada vez menor.

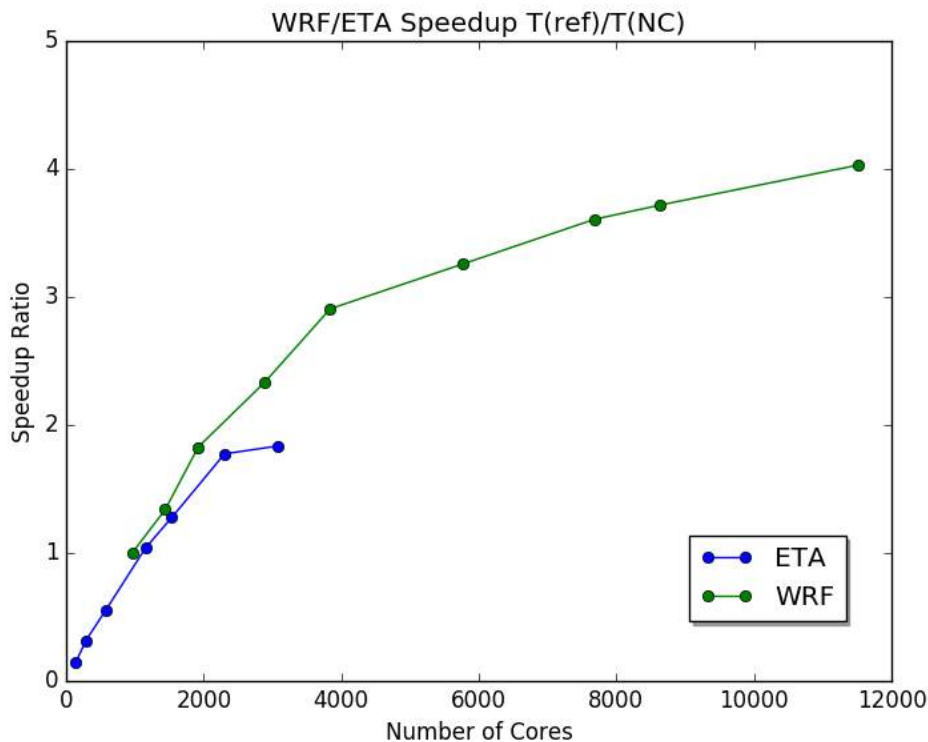


Fig.1 Speedup dos modelos Eta E WRF. O modelo Eta satura em 2500 processadores aproximadamente. Enquanto o modelo WRF escala muito bem até 4 mil processadores.

Fonte: Dados do Eta providos pelo Dr. Jorge Gomes e do WRF pelo Dr. Eder Vendrasco.

iv) **Comunidade nacional e internacional envolvida com os modelos.** O número de usuários do WRF é impressionante ver Fig. 2) e no artigo de Powers et al. 2017 (sua Fig.1). Neste artigo também se pode ver o número de publicações científicas desde que foi lançado este modelo (mais de 3 mil publicações). A nível nacional tem usuários de ambos os modelos. Entretanto, o número de usuários do WRF cresce a cada ano, como se pode verificar no número de publicações com este modelo no último Congresso Brasileiro de Meteorologia. Abaixo alguns exemplos de centros operacionais e pesquisa no Brasil que usam WRF:

http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/modelos_numericos

http://www.funceme.br/produtos/script/tempo/Previsao_numerica/rams/modnum/index.php

<http://pesquisa.icea.gov.br/climatologia/wrf.php>

http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=85&Itemid=428

(Centro de Informações de Recursos ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina-CIRAM)

<http://meteorologia.florianopolis.ifsc.edu.br/meteotec/index.html>

http://www.icat.ufal.br/laboratorio/modelagem_atmosferica/index.html



Fig. 2. Os países que usam WRF, como usuários em amarelo e operacional em vermelho.

v) **Assimilação de Dados.** A operacionalização do sistema de assimilação no WRF no CPTEC iniciou-se durante as Olimpíadas do Rio de Janeiro de 2016. Atualmente este sistema de assimilação de dados está em fase de testes. O WRF não somente tem sistema de assimilação de dados, mas também sistema de modelagem da química e hidrologia.

WRF Data Assimilation System (WRFDA): <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/wrfda/index.html>

WRF-Chem (WRF atmospheric chemistry model): <https://ruc.noaa.gov/wrf/wrf-chem/>

WRF-Hydro (WRF hydrological modeling system): https://ral.ucar.edu/projects/wrf_hydro/overview

Como se pode verificar em <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>

vi) Outros relevantes.

a) **Olimpíadas.** Durante as olimpíadas do Rio de Janeiro de 2016, houve um pedido ao CPTEC do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, para realizar as previsões de Ondas e Correntes sobre a Baía de Guanabara durante os jogos, em especial para o esporte Vela. Naquela época o Dr. Valdir tinha um projeto da operacionalização de um modelo de ondas/correntes forçado pelos ventos gerados pelo modelo WRF no Espírito Santo. Para cumprir o pedido do MCTI e devido à urgência, foi utilizado este sistema sobre a Baía de Guanabara. Embora o modelo WRF não estivesse contemplado para fazer as previsões de vento, porém, devido ao seu desempenho superior em comparação aos outros modelos (incluído Modelo Eta), ficou operacional durante todo o evento. A Fig. 3 mostra o desempenho do modelo em comparação com as observações (detalhes em Ferreira, S.H.S et al. 2016).

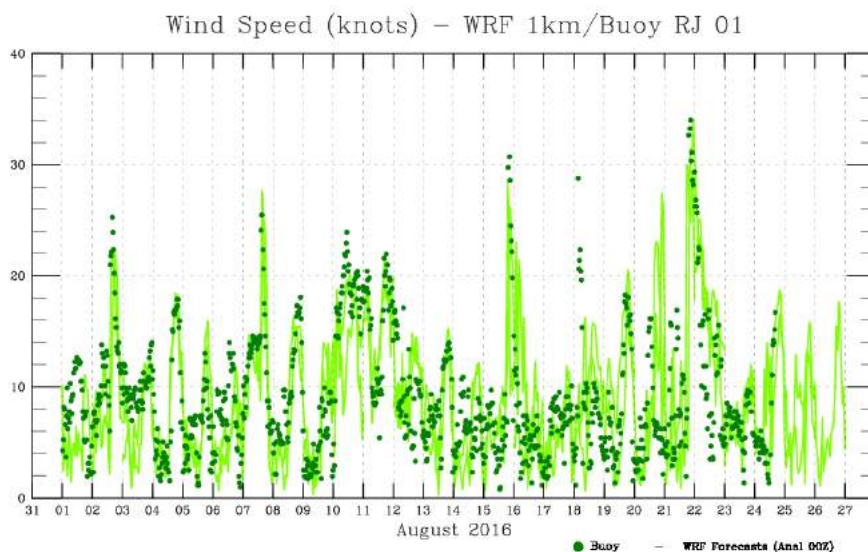


Fig. 3 Previsão da velocidade de vento sobre a Baía de Guanabara com 48 h de antecedência usando as condições iniciais das 00 UTC (linhas contínuas) comparado com as observações de Boia a cada 1h, durante as Olimpíadas de Rio de Janeiro de 2016. Apresentado no Congresso de Meteorologia, 2016. (Ferreira, S.H.S, et al. 2016).

b) **WRF-Chem.** Para ter um único modelo regional operacional para tempo e qualidade do Ar(QA), o WRF tem um módulo de química (WRF-Chem). O modelo Eta não tem este módulo de química. Abaixo alguns exemplos de centros operacionais/pre-operacionais e de pesquisa no Brasil e no mundo que usam WRF-Chem:

<http://www.lapat.iag.usp.br/modelagem.html>

<http://www.lapat.iag.usp.br/aerossol/wrf9/index.php>

<http://d24am.com/amazonas/qualidade-do-ar-local-precisa-ser-monitorada-diz-pesquisa/>

https://ruc.noaa.gov/wrf/wrf-chem/Real_time_forecasts.htm (China, Perú, Polônia, USA, Chile, Índia, Japão, etc.)

3. Resumo das vantagens e as desvantagens dos modelos Eta e WRF.

Na Tabela 1 apresenta-se um resumo comparativo das diferenças mais importantes de ambos os modelos, baseado nas discussões no item anterior. Esta tabela nos permite identificar as vantagens e desvantagens dos modelos, ou o que se pode ganhar ou perder com a escolha de um ou de outro modelo como modelo operacional para previsão de tempo no CPTEC. Os pontos fortes estão identificados com bolinhas de **cor verde** e os pontos fracos na **cor vermelha**. Para superação destes pontos fracos, requer-se um esforço muito grande (tempo, recursos humanos e financiamentos). Os pontos fracos (mostrados na **cor amarela**) porém poderiam ser mais facilmente superados com algum esforço.

Itens considerados	ETA	WRF	Comentários
1-Modelo Operacional no CPTEC (resolução espacial)			O modelo Eta (operacional- 5 km América do Sul). WRF(operacional-3 km Sudeste).
2-Coordenada vertical Eta: Mais adequado para os Andes representando melhor o jato de baixos níveis.			O modelo Eta tem esta coordenada, o WRF não.
3-Dinâmica e física modular: O desenvolvimento, melhorias e ajustes é facilitado com código modular.			O código do WRF é modular. O código do Eta ainda não é modular.
4-Domínios aninhados: Para usar vários domínios interagindo (two way), por exemplo, sobre a América do Sul 3 km, e 1 km sobre o Sudeste.			WRF permite aninhamento de domínios com interação. Eta não tem esta opção.
5-Eficiência computacional: Pelas limitações computacionais do CPTEC			Ambos os modelos são eficientes
6-Código altamente paralelizável: Para usar a maior quantidade de processadores			O WRF é mais paralelizável que Eta.
7-Funcionários e Bolsistas do CPTEC envolvidos: Para pesquisa e desenvolvimento (ajustes, melhorias, etc.)			O modelo Eta tem vários bolsistas, em virtude de vários projetos aprovados. E tem mais funcionários envolvidos com este modelo.
8-Alunos e ex-alunos de PGMET: Para pesquisa e desenvolvimento (ajuste, melhoras, etc.)			Eta e WRF tem alunos e ex-alunos que estão ou estiveram envolvidos com ambos modelos
9-Modelo comunitário: apoio de universidades e centros de pesquisas de diferentes lugares - importante para a permanente evolução do modelo.			WRF é um modelo comunitário, tem apoio internacional para o desenvolvimento do modelo.
10-Modelo operacional e de pesquisa no Brasil: Universidades, centros regionais e empresas privadas			WRF é muito mais usado que o modelo Eta no Brasil.
11-Assimilação de dados: Para melhorar a PNT é essencial ter assimilação de dados			O WRF está preparado para usar assimilação de dados, inclusive de Radar.
12-Componente química: Para usar como modelo operacional de qualidade do ar é indispensável ter a componente química.			O WRF tem a componente química. O modelo Eta não tem esta componente.

Tabela 1. Diferenças relativas entre os modelos Eta e WRF. Em **verde** os pontos fortes, em **vermelho** os pontos fracos (para serem superados requererem um grande esforço), e em **amarelo** pontos fracos, mas que poderiam ser superados com algum esforço.

4. Conclusão

As chefias das divisões do CPTEC fizeram uma comparação objetiva dos modelos Eta e WRF para auxiliar o Coordenador Geral do CPTEC na decisão de escolher o modelo que pode ajudar na modernização da previsão numérica de tempo no Brasil. Logo, o coordenador Geral do CPTEC, junto com as chefias das divisões tomaram a decisão de escolher o modelo WRF, principalmente por três vantagens mais importantes com relação a Eta.

- i) Maior escalabilidade computacional, que pode facilitar a operacionalização do modelo em alta resolução espacial (menor que 5 km) sobre América do Sul,
- ii) tem sistema de assimilação de dados, muito importante para ter uma condição inicial adequada e conseqüentemente melhorar a acurácia da PNT e
- iii) tem o módulo de química (WRF-Chem), como o qual existe a possibilidade de usar como modelo operacional de Qualidade do Ar.

5. Referencias Bibliográficas.

Ferreira, S.H.S, et al. 2016: Avaliação do modelo WRF na modelagem dos ventos na Baía de Guanabara durante os jogos olímpicos Rio 2016. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 19. (CBMET)*, João Pessoa, PB. 2016.

https://www.researchgate.net/publication/320245580_AVALIACAO_DO_MODELO_WRF_NA_MODELAGEM_DOS_VENTOS_NA_BAIA_DE_GUANABARA_DURANTE_OS_JOGOS_OLIMPICOS_RIO_2016

Mesinger, F., et al, 2012: An upgraded version of the Eta model. *Meteorol Atmos Phys*, **116**, 63-79.

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00703-012-0182-z.pdf>

Powers, J.G., et al. 2017. The weather research and forecasting model: Overview, system efforts, and future directions. *BAMS*, 2017. <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-D-15-00308.1>

Silvio Nilo Figueroa

Chefe da Divisão de Modelagem e Desenvolvimento

Gilvan Sampaio

Chefe da Divisão de Operações

Luiz Augusto Machado

Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais

Ciente:

Antonio Divino Moura

Coordenador Geral do CPTEC

