

WRF MODEL ASSESSMENT TO THE WIND PROFILE AND THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS DURING THE CHUVA PROJECT – ALCANTARA STATION 2010

Adaiana F. G. da Silva¹; Gilberto F. Fisch^{1,2}

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), São José dos Campos, SP, Brasil

² Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), São José dos Campos, SP, Brasil

O Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) é considerado o “portal brasileiro para o espaço”. De lá podem ser lançados satélites de telecomunicação, coleta de dados ambientais, sensoriamento remoto, entre outras aplicações, através do Veículo Lançador de Satélites (VLS), bem como são realizados experimentos científicos (por exemplo, de microgravidade) por meio de foguetes de sondagem fabricados no Brasil (VSB30, VS40, etc.), como parte integrante do Programa Espacial Brasileiro (AEB, 2012).

As características do vento podem impactar direta e profundamente a trajetória de um foguete, podendo desviá-lo, causar imprevistos e até mesmo acidentes. Por este motivo é muito importante conhecer o regime de vento local em termos das características do perfil vertical. Não apenas seus padrões climatológicos, mas também suas condições exatas no momento do lançamento são cruciais para a segurança da operação. Podem-se verificar as condições meteorológicas através de medidas observacionais instantâneas imediatamente antes do lançamento, mas neste momento todo o equipamento já deve estar montado, checado e preparado. Um complemento para o prognóstico da determinação do vento é a previsão feita a partir de modelagem numérica. Observações realizadas com antecedência geram as condições iniciais necessárias para simular a dinâmica da atmosfera e representar o estado futuro a partir do tempo presente. Os modelos regionais refinam a grade dos modelos globais (10^5 m) para meso (10^4 m e 10^5 s) ou micro-escala (10^3 m e 10^3 s). Desta forma, através das condições iniciais e de contorno fornecidas pelos modelos globais, é possível captar as interações locais e ter uma melhor representação regional ou até mesmo pontual. Neste trabalho, o modelo atmosférico WRF (*Weather Research and Forecasting*), núcleo ARW (*Advanced Research WRF*), foi escolhido por se tratar do estado-da-arte em modelos numéricos

(CARVALHO *et al.*, 2012), além de ser um software moderno, livre, de código aberto, fácil manipulação e pela liberdade na configuração das simulações em termos de parâmetros numéricos, físicos e dinâmicos, o que permite grande adequação ao estudo específico. A importância da utilização deste modelo está também no desenvolvimento de uma autonomia operacional do Setor de Meteorologia do CLA para a realização de previsões locais às vésperas de uma operação de lançamento.

Na região equatorial, onde o CLA está localizado, o regime de ventos é dominado pelos ventos alísios, que são fortes, persistentes e predominantemente de leste, com uma rotação sazonal de nordeste (época chuvosa) para sudeste (época seca), em função do posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Além disto, por se localizar próximo ao oceano, o CLA também sofre influências do efeito de brisa marítima, a qual é intensificada no período de seca da região. (FISCH, 1999)

Em específico, este trabalho teve como objetivo principal avaliar a *performance* do modelo WRF na previsão do vento no CLA através da comparação dos resultados gerados pelo modelo com dados de radiossondagens para o período de 19 a 25 de março de 2010, representativo do período chuvoso da região, caracterizado por ventos mais fracos. O período seco da região, com ventos fortes, também foi abordado no trabalho completo de dissertação de Mestrado que deu origem a esse resumo. Entretanto, como dados do Projeto Chuva foram utilizados somente para a avaliação do período chuvoso, somente este será tratado aqui.

As radiossondagens foram obtidas da campanha realizada durante o Projeto Chuva GPM 2010, INPE – estação Alcântara). As medidas foram realizadas nos 4 horários sinóticos diários (00:00, 06:00, 12:00 e 18:00 UTC), com o aparelho da marca Vaisala, modelo RS92-SVG.

O modelo WRF foi inicializado com dados gerados pela previsão do modelo global GFS, do *National Center of Atmospheric Research* (NCEP), com resolução espacial de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (aproximadamente 55×55 km para a latitude local) e temporal de 6 horas, disponíveis em <http://nomads.ncep.noaa.gov/pub/data/nccf/com/gfs/prod/>. Os dados do terreno foram fornecidos pelo *United States Geological Survey* (USGS) (disponíveis em: http://www.mmm.ucar.edu/wrf/src/wps_files/geog.tar.gz), com resolução espacial de $30''$ de arco. Todas as simulações foram realizadas com 42 níveis na vertical, três domínios quadrados e centralizados no CLA com dimensões de $900, 264$ e 76 km^2 (Figura 1), sendo um domínio mãe e dois aninhados, com comunicação bidirecional de dados entre eles. O espaçamento da grade do domínio maior foi de 9×9 km, reduzindo

na proporção de 3 até a grade de 1x1 km no domínio menor, com passos de tempo de 45, 15 e 5 s para os domínios 1, 2 e 3, respectivamente. Simulações foram iniciadas a cada 12 horas (às 00 e às 12 UTC), com tempo de integração de 72 horas, incluso o tempo inicial de *spin-up* de 6 horas.

A camada de interesse deste estudo é até os primeiros 5000 m, pois esta é a altura em que pode ocorrer influência do vento na determinação da trajetória de veículos em lançamento (FISCH, 1999).

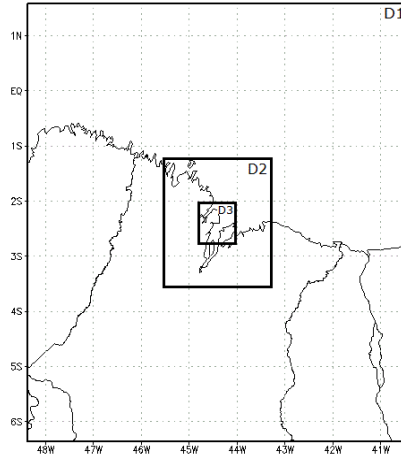


Figura 1 – Configuração de tamanhos dos domínios aninhados.

Em geral, para avaliar quantitativamente a acurácia de modelos numéricos, utilizam-se métricas estatísticas para comparar e quantificar dados observados e simulados. Para a comparação dos dados observados com as saídas do modelo WRF foram utilizadas três métricas estatísticas diferentes: *bias* (absoluto), RMSE e índice de Willmott (**d**) (WILLMOTT, 1981) para as variáveis velocidade (Vel) e as componentes U e V, calculados da seguinte forma:

$$bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(P - O)| \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P - O)^2 \right]} \quad (2)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P - O)^2}{\sum_{i=1}^n \left[|P - \bar{O}| + |O - \bar{O}| \right]^2} \quad (3)$$

onde: n = número de níveis verticais; P = previsão, O = observação, \bar{O} = média das observações, no caso, valor médio da camada.

Os três índices de avaliação foram aplicados a cada intervalo de 6 horas de previsão, iniciando a partir da sexta hora simulada (primeiras seis são descartadas pelo tempo de *spin-up*).

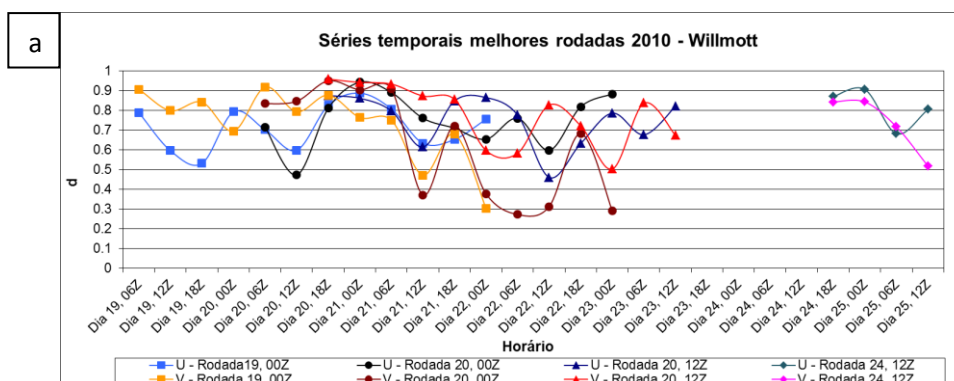
A Figura 2 mostra as séries temporais dos índices e de algumas variáveis médias na camada até 5000 m (direção e componentes U e V) para as quatro melhores rodadas, definidas a partir dos valores representativos das simulações (média e DP dos índices).

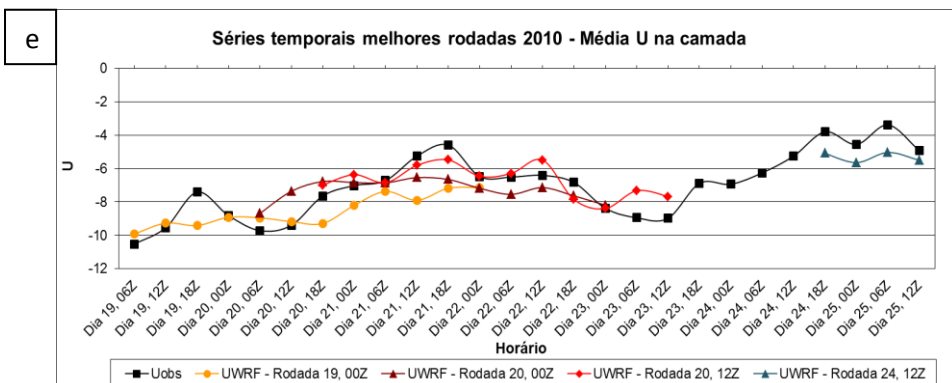
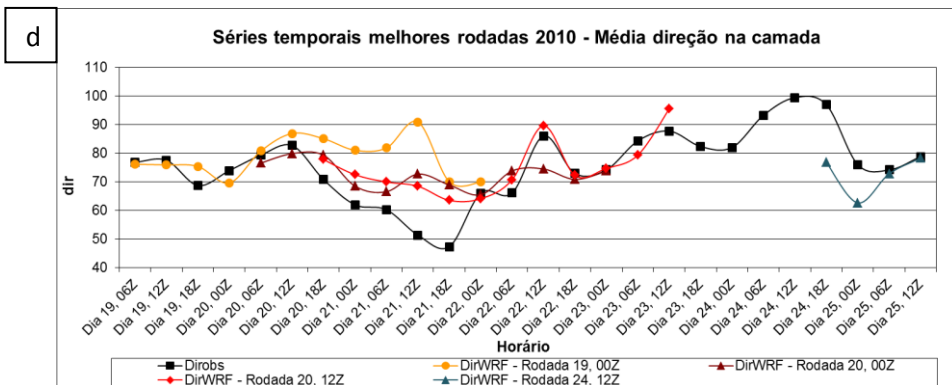
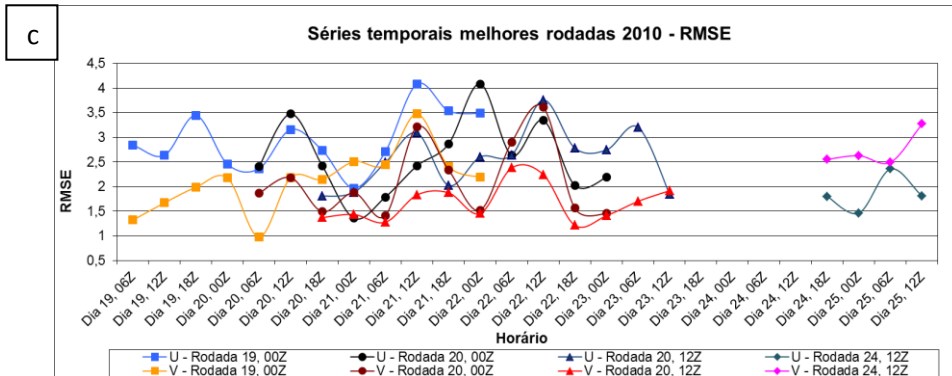
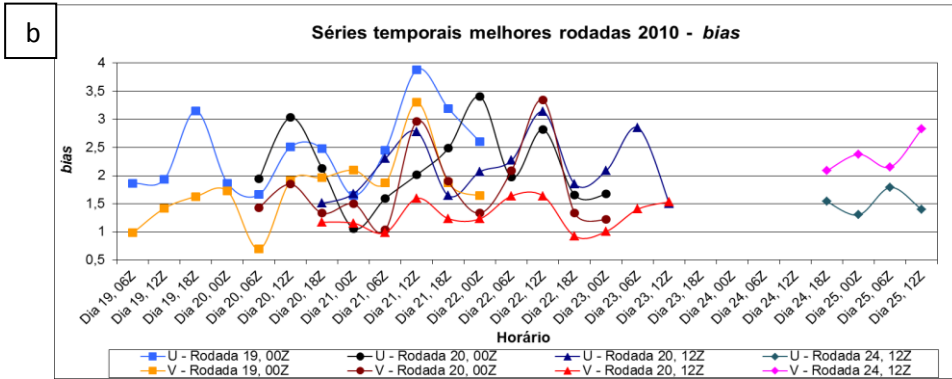
Não houve superioridade entre U ou V para Willmott. Para os erros, U apresenta valores geralmente maiores, exceto na rodada iniciada às 12 UTC do dia 24. Os valores de Willmott para U oscilam de 0,45 a 0,95 e, para V, de 0,30 a 0,95. Para a velocidade (não mostrado), os valores também estão nesta faixa (0,40 a 0,90). Os extremos de *bias* variam de 1,20 a 3,80 m/s para U. Para V e velocidade são mais baixos, sendo de 0,70 a 3,30 para V e máximo de 2,80 m/s para Vel. O RMSE de U variou entre 1,50 a 4 m/s e os valores de V, menores, entre 1 a 3,50 m/s. A velocidade ficou nestas mesmas ordens (1,50 a 3,40 m/s, não mostrado).

Na direção média da camada (2d), algumas simulações divergiram razoavelmente da observação. A componente U (2e) apresentou valores superestimados pelo WRF em até 3,0 m/s, sendo a média de 0,7 m/s, a mesma obtida para Vel. As curvas de V (2f) foram satisfatórias, acompanhando bem a observação.

Em todas as séries de índices onde U e V foram plotados em sobreposição foi possível notar algumas defasagens entre estas duas variáveis, tanto para o período seco quanto para o período chuvoso.

Seria esperado, de imediato, observar o decréscimo da capacidade de previsão com o tempo, através da redução do índice de concordância de Willmott e crescimento dos erros. Entretanto, o comportamento observado em comum de todos os casos foi o padrão oscilatório, não havendo uma piora linear dos resultados com o tempo.





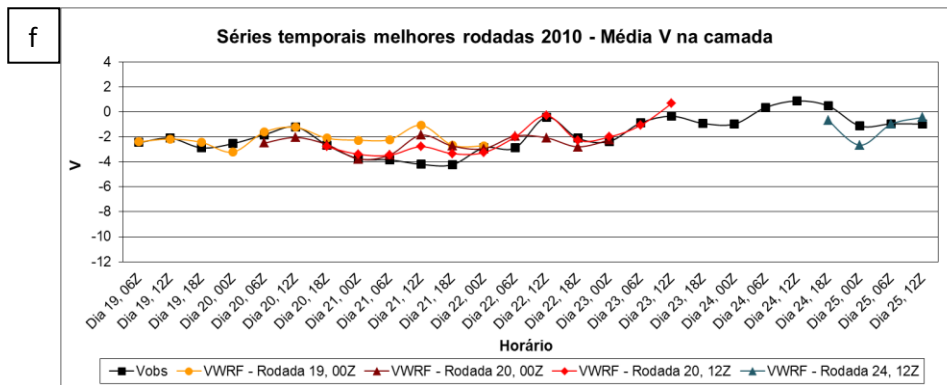


Figura 2 – Séries temporais dos índices das rodadas selecionadas (a, b e c) e da direção e componentes U e V médios na camada até 5000 m, observado (linha preta) e simulados (d, e e f).

O outro objetivo deste trabalho foi avaliar o padrão de coerência termodinâmica representado pelo modelo WRF em comparação com imagens de radar banda-X em modo PPI. A motivação para isto é a influência que se espera ter no regime de ventos em função do regime de chuvas e vice-versa. Segundo Gisler (2009), “a ocorrência de precipitação pode alterar o escoamento do vento devido a processos associados à convecção e das correntes descendentes associadas aos *downdrafts*.” Assim, particularmente para o período chuvoso, foi realizada adicionalmente uma análise de padrão de coerência termodinâmica, a fim de verificar o ciclo diário e a coincidência espaço-temporal das chuvas.

Foram utilizadas figuras geradas pelo Radar Banda X que esteve em operação no experimento Chuva Alcântara GPM 2010, com raios de alcance de 30 e 120 km. As figuras são geradas a cada intervalo de 6 minutos e encontram-se disponíveis em <http://chuvaproject.cptec.inpe.br/portal/pedido.lista.logic>. Estas foram comparadas com campos de precipitação acumulada de 1 hora (unidade em mm/h) e fração de nuvens baixas, geradas a partir de saídas horárias das simulações do WRF para o domínio interno de maior resolução. Para compensar a diferença entre os valores acumulados pelo modelo ao longo de 1 hora e os valores instantâneos do radar, todas as figuras do radar no intervalo entre determinada hora e sua antecedente foram utilizadas para a análise. Isto permitiu, de acréscimo, rastrear a trajetória de sistemas convectivos de escala maior, que se deslocavam sobre a área do domínio de simulação.

No geral, o modelo WRF não conseguiu posicionar corretamente os núcleos de chuva tanto no espaço quanto no tempo, assim como também não foi eficiente em representar as intensidades de precipitação. Foram verificadas diversas defasagens de tempo,

geralmente na forma de atrasos do modelo em relação à observação, de 1 a 2 horas ou mais. Quando ocorreu o posicionamento correto de núcleos de chuva, sua intensidade foi sempre muito subestimada pelo modelo. Devido à metodologia utilizada, não foi possível quantificar com precisão a quantidade de chuva subestimada.

Um exemplo que merece destaque foi a forte precipitação observada pelo radar sobre o CLA durante 15 horas praticamente ininterruptas, das 16 UTC do dia 21 às 07 UTC do dia 22 de março de 2010, com núcleos de até 60 dBz, equivalente a aproximadamente 100 mm/h. Nenhuma das rodadas que incluíram este intervalo temporal foi capaz de representar tal evento extremo. Somente após o cessar das chuvas observadas o modelo começou a representar fortes núcleos aos arredores do CLA, mas representando no máximo 30 mm/h e deslocados, já que o núcleo principal foi observado sobre o CLA (Figura 3). Nestes horários já não há mais nenhuma precipitação significativa observada pelo radar. É possível que o modelo global (GFS) tenha carregado este atraso em seus arquivos de previsão, utilizados como dados de entrada.

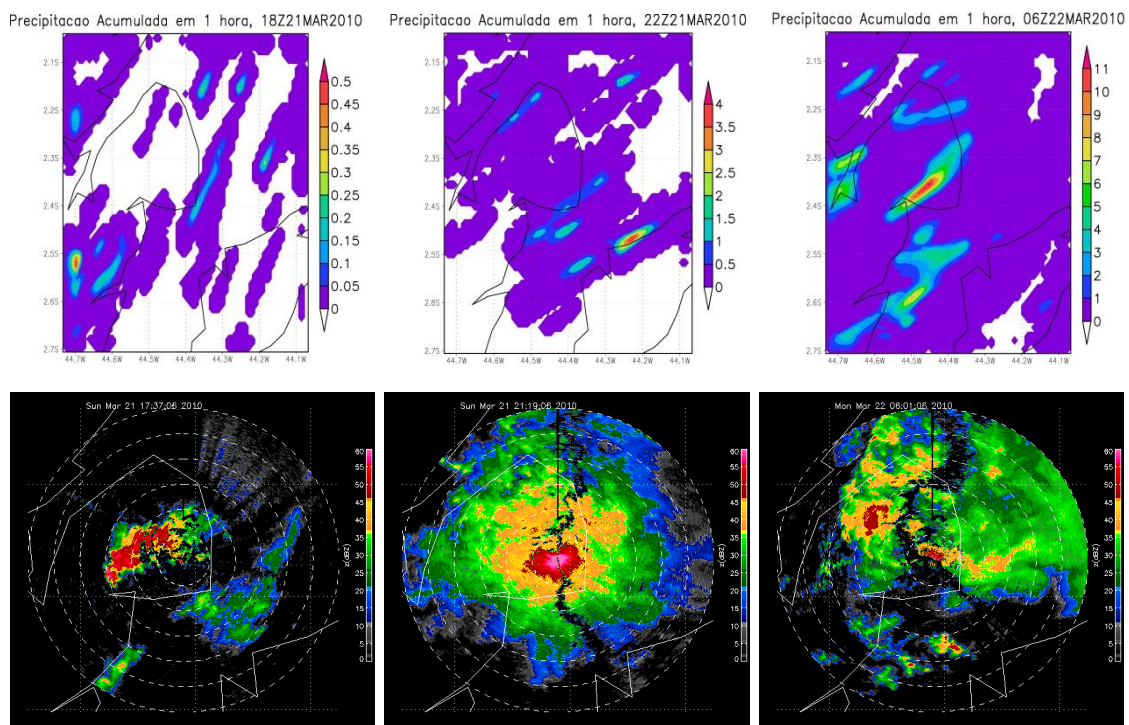


Figura 3 – Campos de precipitação acumulada (WRF) e imagens de radar em raio 30 km. Forte núcleo de precipitação sobre o CLA. Modelo não representou.

A Figura 4a mostra o campo das 13 UTC do dia 22 de março. Analisando as imagens de radar em horários próximos, tanto anteriores quanto posteriores, percebeu-se que os núcleos se assemelhavam com as observações do sistema que passou pela região de

Alcântara entre 10 e 12 UTC. Ou seja, o modelo WRF representou a chuva com atraso de aproximadamente 2 horas. Isto pode ser um indicativo de que as nuvens estavam se deslocando mais rapidamente do que calculado pelo modelo WRF, mostrando uma defasagem temporal.

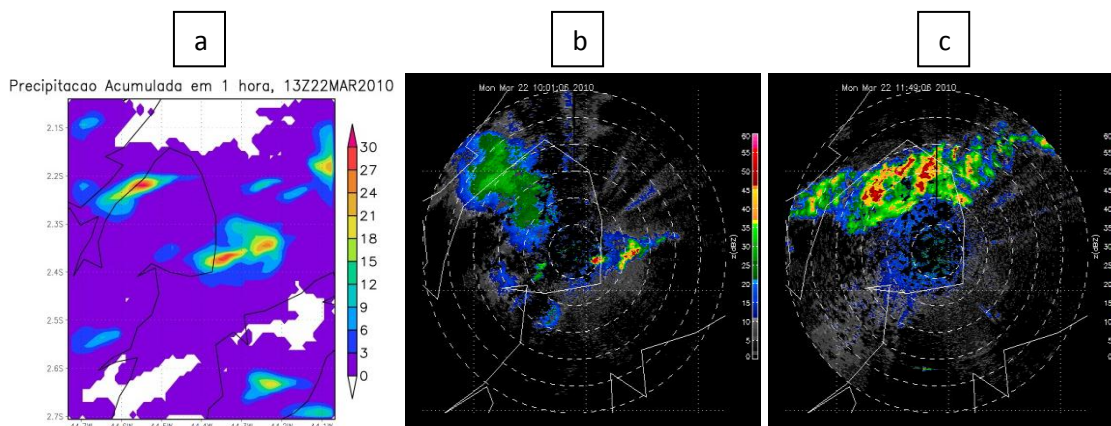


Figura 4 – Atraso temporal na rodada das 00 UTC do dia 22 de março. Evolução do sistema no WRF (esquerda) e observada pelo radar.

Como conclusões, obteve-se que o modelo WRF consegue representar o perfil do vento no CLA de forma razoável, dentro de suas limitações. Os valores alcançados pelo índice de Willmott foram considerados satisfatórios de acordo com limites encontrados em outros estudos. Porém, não foi possível concluir que, depois de passado certo tempo de integração numérica (em intervalo de horas), as simulações tivessem apresentado um mesmo tipo de comportamento padrão em termos de melhora ou piora da qualidade de previsão.

Em geral, o modelo superestimou a velocidade do vento médio observado na camada em até 2,0 m/s, com média de 0,70 m/s. Mesmo assim, acredita-se que, dentre as opções de parametrizações da CLP disponíveis, a escolhida para a realização deste trabalho (MYNN2,5) se mostrou eficiente para os objetivos a que foi definida, ou seja, representar a distribuição de *momentum* local de acordo com as características da estação.

O modelo WRF, com a configuração *default* de microfísica de nuvens, não consegue capturar a presença de chuva em termos de posicionamento e intensidade. Este tema deve ser ainda melhor estudado em trabalhos futuros.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB). Plano Brasil: defesa geopolítica tecnologia inovação. Disponível em: <<http://planobrasil.com/2011/12/19/perto-de-completar-18-anos-agencia-espacial-brasileira-tenta-novo-recomeco/>>. Acesso em: 03 abr. 2012.

CARVALHO, D.; ROCHA, A.; GÓMEZ-GESTEIRA, M.; SANTOS, C. A sensitivity study of the WRF model in wind simulation for an area of high wind energy. **Environmental Modelling & Software**, v. 33, p. 23-34, 2012.

FISCH, G. Características do perfil vertical do vento no Centro de Lançamento de foguetes de Alcântara (CLA). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 14, n. 1, p. 11-21, 1999.

GISLER, C. A. F. **Análise do perfil de vento na camada limite superficial e sistemas meteorológicos atuantes no Centro de Lançamento de Alcântara**. 2009. 143 p. (INPE-16079-TDI/1536). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/04.24.12.33>>. Acesso em: 31 out. 2011.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. [S.l.: s.n.], 1981.