



Avaliação das Previsões do Modelo Eta na Região da Serra do Mar (Estado de São Paulo), Brasil

Evaluation of Eta Model Forecasts at Serra do Mar Region (São Paulo State), Brazil

Claudine Pereira Dereczynski¹; Marcos Vinicius de Jesus Pristo²; Sin Chan Chou³;
Iracema F. A. Cavalcanti⁴ & José Roberto Rozante⁵

^{1 e 2} Instituto de Geociências, Departamento de Meteorologia - Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Bloco G - Cidade Universitária - 21941-916 Rio de Janeiro - RJ, Brasil

^{3, 4 e 5} Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Rodovia Presidente Dutra, km 39 - 12630-000 - Cachoeira Paulista - SP, Brasil

Emails: claudine@acd.ufrj.br; pristo@gmail.com; chou@cptec.inpe.br; iracema@cptec.inpe.br; rozante@cptec.inpe.br

Recebido em: 15/04/2010

Aprovado em: 05/10/2010

Resumo

Comparações entre as previsões do modelo Eta-5km e observações nas Plataformas de Coleta de Dados meteorológicas em Cunha, Curucutu, Itanhaém, Paraibuna, Picinguaba, Santa Virgínia e São José dos Campos, localizadas na região da Serra do Mar (SP), são realizadas para o ano de 2008. A temperatura a 2 m, pressão atmosférica ao nível da estação, ventos a 10 m e precipitação são avaliados para as previsões de 24, 48 e 72 horas. Os resultados mostraram que a pressão atmosférica ao nível da estação foi subestimada (superestimada) em Paraibuna e Picinguaba (Cunha e Curucutu), devido a diferenças entre a altitude do modelo e a altitude real da estação, porém os ciclos diurnos foram bem previstos, apresentando dois máximos (0 e 12 Z) e dois mínimos (6 e 18 Z), como observados. Para a pressão atmosférica a performance do modelo é superior na previsão de 48-h. O ciclo diurno da temperatura do ar foi muito bem previsto em todas as localidades. Os valores de correlação temporal entre as previsões e observações foram bem elevados, oscilando entre 73 e 91%. Para algumas localidades verificou-se que ocorre superestimativa da temperatura do ar (cerca de 3°C em Curucutu e Santa Virgínia e 2°C em Itanhaém), e que tal erro é sistemático. A previsão de temperatura do ar com 24-h de antecedência foi superior às demais. De forma geral o modelo apresentou uma tendência de subestimar (superestimar) a frequência de ocorrência de ventos calmos cuja velocidade é inferior a 1 m.s⁻¹ (fortes – superior a 7 m.s⁻¹). A direção dos ventos é a variável mais difícil de prever devido provavelmente às diferenças entre a topografia do modelo e a topografia real, contudo nota-se que o modelo produz o giro característico na direção ao longo do dia, provocado pelo aquecimento diurno. Os totais pluviométricos mensais são bem previstos para a maior parte das localidades, contudo em Itanhaém, Paraibuna e principalmente em Picinguaba os totais mensais foram superestimados. Da análise da precipitação diária conclui-se que em geral o modelo superestima a frequência de ocorrência de eventos de chuva (valores diários maiores ou iguais a 0,3 mm). Por outro lado, o modelo apresenta a melhor performance também para prever tais eventos, com maiores valores de ETS, BIAS e índice de acerto (cerca de 90%). As análises mostram que uma das fontes de erro do modelo está relacionada à sua topografia.

Palavras-chave: Previsão do tempo; avaliação; Modelo Eta

Abstract

Comparisons of Eta 5 km mesoscale model forecasts against observations in Cunha, Curucutu, Itanhaém, Paraibuna, Picinguaba, Santa Virgínia e São José dos Campos, located in Serra do Mar (SP) region, is carried out for 2008. The 2 m temperature, station level pressure, winds at 10 m and precipitation are evaluated for the 24 h, 48 h and 72 h forecasts. The results show that the atmospheric pressure was systematically underestimated (overestimated) in Paraibuna and Picinguaba (Cunha and Curucutu), due to differences between the model's altitude and the real station altitude, although its diurnal cycle is well predicted, with two maximum (0 and 12 Z) and two minimum (6 and 18 Z), as observed. For atmospheric pressure, model's performance is better at the 48 h forecast. The temperature's diurnal cycle is very well predicted. The temporal correlation between forecasts and observations are very high, varying from 73 to 91%. In some locations it was observed that temperature was overestimated (near 3°C in Curucutu and Santa Virgínia and 2°C in Itanhaém), and that it was a systematic error. The temperature forecasted 24 h in advance is superior than the other forecasts. In general the model shows a tendency of underestimate (overestimate) the frequency of occurrence of calm (strong) winds. The wind direction is the most difficult variable to forecast due probably to the differences between model's topography and the real topography. Although the model shows the characteristic turning of the wind during the day caused by the daily warming. The total monthly precipitation is well predicted, although in Itanhaém, Paraibuna and mainly in Picinguaba the values are overestimated. The frequency of occurrence of rainy events (total daily precipitation $\leq 0,3$ mm) is overestimated by the model, although it is the best predicted category, with higher ETS, BIAS and Hit. The analyses shows that one of the model's source of error is related to its topography.

Keywords: weather forecasting; evaluation; Eta Model

1 Introdução

Os modelos numéricos regionais representam uma importante ferramenta para ampliar nosso conhecimento a respeito dos fenômenos atmosféricos em escala regional e para aumentar o detalhamento das características atmosféricas locais, como tem sido demonstrado em vários estudos para a América do Sul, tais como em Rozante & Cavalcanti (2008). Os modelos regionais também têm sido usados para auxiliar no desenvolvimento da parametrização dos processos de meso-escala (Zhong & Fast, 2003). Além disso, tais modelos são extremamente úteis na elaboração da previsão de tempo, principalmente em regiões montanhosas onde, devido aos efeitos da topografia, as condições meteorológicas exibem grande variabilidade espacial. Na região da Serra do Mar, localizada no Sudeste do Brasil, a precipitação, temperatura do ar, velocidade e direção dos ventos variam fortemente. Além disso, a ocorrência de chuvas intensas somadas à ação antropogênica e à forte declividade da serra promovem recorrentes deslizamentos de terra em suas encostas, inundações e outros desastres.

Em virtude da atmosfera e seus processos serem bastante complexos, os modelos ainda não conseguem representar fielmente suas características e variações, apesar do significativo desenvolvimento da modelagem numérica regional, tornando contínuo o trabalho de aperfeiçoamento de seus códigos numéricos. A avaliação contínua das previsões geradas para regiões como a Serra do Mar também é imprescindível, pois o conhecimento dos erros dos modelos proporciona sua melhor utilização e a identificação das possíveis melhorias numéricas que podem ser introduzidas. Desta forma, medidas observacionais têm sido utilizadas como importantes aliados para validação e posterior calibração dos modelos. Infelizmente na América do Sul, a resolução de tais modelos é mais alta do que a rede observacional disponível, tornando crítico o problema da avaliação (Saulo *et al.*, 2001).

Este trabalho foi desenvolvido para apoiar o projeto temático FAPESP intitulado “Estudo da previsibilidade de eventos meteorológicos extremos na Serra do Mar”. No projeto, além do desenvolvimento de um sistema de monitoramento e previsão de riscos para a região em estudo, estão sendo efetuadas medições diretas e remotas para

identificação das condições atmosféricas que determinam os eventos extremos de risco. Os valiosos dados observacionais, coletados em Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) meteorológicas na região da Serra do Mar, foram utilizados neste trabalho para avaliar as previsões do modelo Eta com 24, 48 e 72h de antecedência. O objetivo é identificar as possíveis fontes de erro do modelo a fim de aprimorar as previsões de eventos meteorológicos.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 são mencionados os dados utilizados, a metodologia empregada para avaliação e uma breve descrição da versão do modelo regional Eta-5km. Na seção 3 são apresentados os resultados da avaliação das previsões do modelo nas localidades onde se encontram as PCDs e na seção 4 estão as conclusões do trabalho.

2 Dados e Metodologia

Os dados observacionais utilizados para avaliação das previsões do modelo Eta-5km foram obtidos PCDs meteorológicas instaladas pelo Projeto Serra do Mar do INPE (Figura 1) durante o ano de 2008. Neste trabalho foram utilizadas sete PCDs, cujas localizações (latitude, longitude e altitude) e períodos de avaliação são apresentados na Tabela 1, assim como as localizações das caixas de grade do modelo contendo o ponto da observação. Nota-se que em algumas localidades como em Itanhaém, Santa Virgínia e São José dos Campos a altitude do modelo é próxima à altitude da estação, com menos de dez metros de diferença. Contudo, nas demais localidades a diferença entre as duas altitudes é muito grande, chegando a 218,5 m de diferença em Picinguaba (4 m).

As avaliações da pressão atmosférica ao nível da estação e da temperatura do ar a 2 m foram realizadas analisando-se o ciclo diurno dessas variáveis e também suas séries temporais, calculando-se o erro médio (EM), a raiz do erro quadrático médio (REQM) e a correlação (CORR) entre as séries previstas em 24, 48 e 72-h e as séries observadas, utilizando-se as seguintes equações:

Localidade	Observação			Modelo			Período (2008)
	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Altitude (m)	
Cunha	-23,07°	-44,97°	1002	- 23,05°	-44,95°	961,9	01/07 a 31/12
PESM Curucutu	-23,92°	-46,64°	797	-23,9°	-46,65°	631,2	01/01 a 31/05 01/07 a 31/12
Itanhaém	-24,17°	-46,79°	2	-23,15°	-46,8°	11,1	01/02 a 31/05 01/12 a 31/12
Paraibuna	-24,41°	-45,6°	643	-23,4°	-45,6°	841,6	01/01 a 31/05
PESM Picinguaba	-23,36°	-44,85°	4	-23,35°	-44,85°	222,5	01/01 a 31/05 01/07 a 31/07 01/09 a 31/12
PESM Santa Virgínia	-23,35°	-45,13°	992	-23,35°	-45,15°	995,8	01/07 a 22/11
São José dos Campos	-23,20°	-45,87°	621	-23,2°	-45,85°	629,9	16/04 a 31/05 01/07 a 31/12

Tabela 1 Localização das PCDs do INPE e da caixa de grade do modelo ETA contendo o ponto de observação e o período no ano de 2008 em que o modelo foi avaliado em cada localidade.

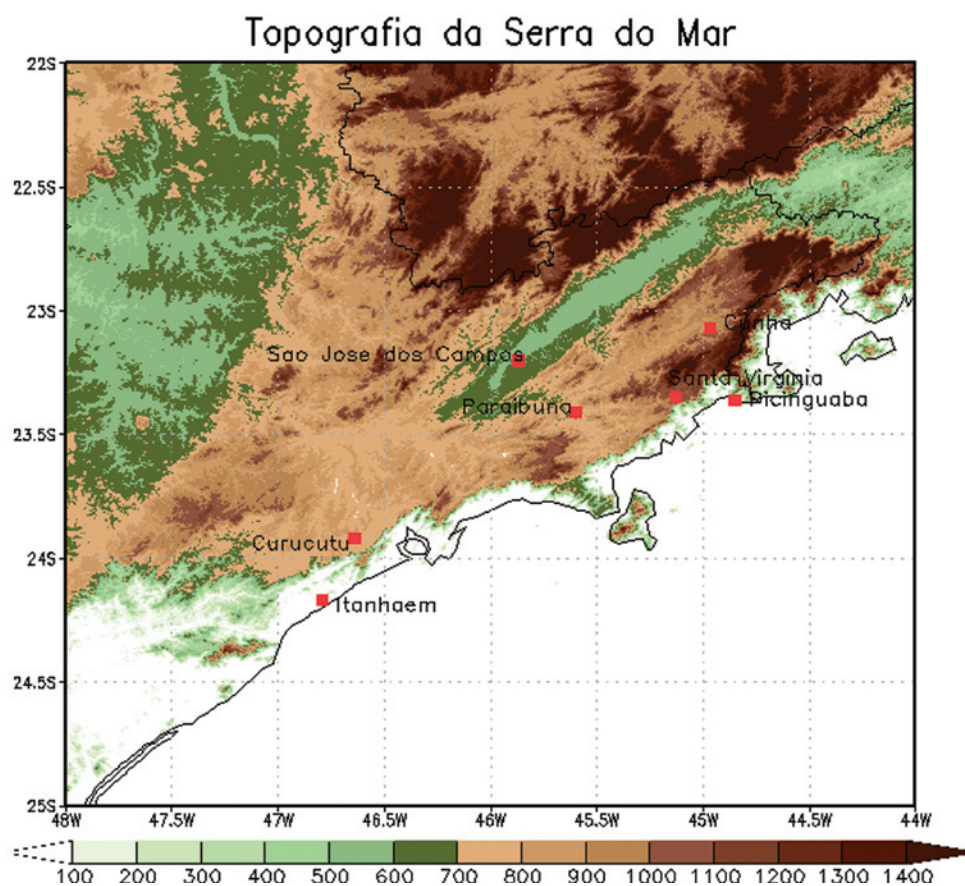


Figura 1 Localização das PCDs meteorológicas do Projeto Serra do Mar utilizadas neste trabalho para avaliação do Modelo Eta e a topografia da região (em metros) (Fonte: http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version1/South_America/).

$$EM: \frac{\sum_{i=1}^n (V_{prev_i} - V_{obs_i})}{n}$$

$$REQM: \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{prev_i} - V_{obs_i})^2}{n}}$$

$$CORR: \frac{\sum_{i=1}^n (V_{prev_i} - \overline{V_{prev}}) \cdot (V_{obs_i} - \overline{V_{obs}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{prev_i} - \overline{V_{prev}})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{obs_i} - \overline{V_{obs}})^2}}$$

Onde V_{prev} representa a variável prevista, V_{obs} a variável observada e n o número de pontos na série. Oito valores diários (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21 Z) de cada variável foram utilizados durante os períodos listados na Tabela 1, com máximo de 336 dias em Curucutu (1 de janeiro a 31 de maio de 2008 e de 01 de julho a 31 de dezembro de 2008), resultando no máximo em 2688 dados para análise (para as variáveis que não apresentam falhas).

Para avaliação dos ventos foram construídos histogramas com as intensidades e rosas de vento com as direções e intensidades dos ventos, confrontando-se as previsões de 24, 48 e 72 h do modelo com as observações. Foram construídas também rosas de vento por período: madrugada (6 Z e 9 Z), manhã (9 Z e 12 Z), tarde (15 Z e 18 Z) e noite (21 Z e 0 Z) com os dados previstos e observados. As previsões dos ventos (intensidade e direção) nos prazos de 24, 48 e 72 h foram similares, desta forma são apresentados apenas os resultados para as previsões de 24-h.

A precipitação foi avaliada inicialmente de forma subjetiva comparando-se os totais pluviométricos mensais previstos com 24, 48 e 72 h de antecedência com os totais pluviométricos mensais observados nas PCDs.

A seguir a precipitação diária, acumulada as 12 Z, foi avaliada aplicando-se a mesma metodologia utilizada em Chou & Justi da Silva (1999), calculando-se o BIAS, o Equitable Threat Score (ETS) e o Hit (H), como descritos a seguir.

O BIAS é definido como o número de eventos previstos (F) dividido pelo número de eventos observados (O) acima de um certo limiar:

$$BIAS = \frac{F}{O}$$

Foram definidos oito limiares de precipitação, apresentados na Tabela 2. O BIAS é sempre maior ou igual a zero, sendo 1 o valor do BIAS ideal. Contudo, é importante ressaltar que o BIAS igual a 1 não garante que os eventos isolados tenham sido previstos corretamente, ou seja, o BIAS pode ser 1, contudo o número de acertos (Hits) pode ser nulo. Quando o BIAS é maior (menor) do que 1 significa apenas que o modelo superestima (subestima) a quantidade de eventos acima de um certo limiar.

Limiares de chuva		Classificação da chuva
polegadas	milímetros	
$\geq 0,01$	$\geq 0,3$	Chuva/não chuva
$\geq 0,1$	$\geq 2,5$	Chuva leve
$\geq 0,25$	$\geq 6,3$	
$\geq 0,5$	$\geq 12,7$	Chuva moderada
$\geq 0,75$	$\geq 19,0$	
$\geq 1,0$	$\geq 25,4$	Chuva forte
$\geq 1,5$	$\geq 38,1$	
$\geq 2,0$	$\geq 50,8$	

Tabela 2 Limiares e classificação da precipitação

De acordo com Anthes *et al.* (1989) o Threat Score (TS) é definido como:

$$TS = \frac{H}{F + O - H}$$

Onde H (Hits) é o número de acertos, ou seja, as situações em que a precipitação é prevista e ao mesmo tempo observada, acima de um certo limiar. O TS varia entre 0 e 1, sendo ideal quando igual a 1. Contudo podem ocorrer situações em que o modelo prevê persistentemente valores acima de um determinado limiar, e, quando estes valores ocorrem,

eles são corretamente previstos pelo modelo, devido a seu erro sistemático. Em tais situações o TS estará próximo da unidade. Para solucionar tal problema Mesinger & Black (1992) aplicaram ao índice TS o fator de correção (CH), que representa o número de pontos de acertos aleatórios, definido por:

$$CH = \frac{F \times O}{N}$$

Eles chegaram ao valor do Equitable Threat Score (ETS), diminuindo o numerador e o denominador do termo TS pelo fator CH:

$$ETS = \frac{H - CH}{F + O - H - CH}$$

Assim, numa situação exemplo em que a maior parte dos valores estão sendo previstos pelo modelo acima de um certo limiar devido ao modelo prever sistematicamente valores acima do limiar, o TS seria próximo de 1, enquanto o ETS seria próximo de zero. Uma previsão ideal teria ETS igual a 1.

O Modelo Eta

O Modelo Eta (Mesinger et al., 1988) é um modelo de área limitada usado operacionalmente no CPTEC. O modelo usa a coordenada vertical Eta (Mesinger, 1984). As variáveis prognosticadas são temperatura, vento horizontal, umidade específica, pressão à superfície, energia cinética turbulenta e hidrometeoros de nuvens. A precipitação convectiva é produzida pelo esquema Betts-Miller-Janjic (Betts & Miller, 1986; Janjic, 1994). Os processos de superfície são resolvidos pelo esquema Chen *et al.* (1997) e possui quatro níveis de solo. O pacote de radiação foi desenvolvido pelo Geophysical Fluid Dynamics Laboratory. O esquema Lacis & Hansen (1974) trata a radiação de onda curta, enquanto a radiação de onda longa é tratada pelo esquema de Fels & Schwarzkopf (1975). A versão do modelo configurada para a região da Serra do Mar (<http://www.cptec.inpe.br/serradomar/>) é não-hidrostatica e possui resolução horizontal de 5 km e 50 camadas na vertical. As condições iniciais (sempre às 12 Z) são obtidas a partir da análise do NCEP na versão T126L28. As condições de contorno laterais são

atualizadas a cada 6 horas a partir das previsões do modelo Eta de 40 km x 40 km de resolução. O modelo utiliza um albedo climatológico sazonal e temperatura da superfície do mar atualizada diariamente. A umidade do solo é tomada da previsão de 12 horas do modelo global do CPTEC.

Para gerar as previsões de 24, 48 e 72 h do Modelo Eta, este foi integrado diariamente às 12 Z, considerando-se a previsão de 24 h como as primeiras 24 h de previsão e assim por diante, como exemplificada para o dia 01/01/2008 (Figura 2). No caso da precipitação diária, esta foi acumulada entre 15 Z do primeiro dia e 12 Z do segundo dia para formar a previsão de 24 h; entre 15 Z do segundo dia e 12 Z do terceiro dia para formar a previsão de 48 h e finalmente entre 15 Z do segundo dia e 12 Z do terceiro dia para formar a previsão de 72 h. A precipitação mensal prevista de 24, 48 e 72 h refere-se aos acumulados diários descritos anteriormente, somados a cada mês.



Figura 2 Exemplo das previsões de 24 h (em vermelho), 48 h (em verde) e 72 h (em laranja) geradas a partir da condição inicial de 01/01/2008 – 12 Z (em preto) proveniente da análise do NCEP na versão T126L28.

3 Comparação Entre Previsões do Modelo Eta-5km e Observações das PCDs Meteorológicas na Região da Serra do Mar

Nesta seção são avaliadas as previsões de 24, 48 e 72 h da pressão atmosférica ao nível da estação, a temperatura do ar a 2 m, os ventos a 10 m (direção e intensidade) e a precipitação do Modelo Eta-5km, confrontando com observações das PCDs meteorológicas do Projeto Serra do Mar.

3.1 Pressão Atmosférica

A Figura 3 apresenta o ciclo diurno das previsões de 24, 48 e 72 h do modelo Eta e observações da pressão atmosférica ao nível da

estação nas localidades estudadas. A fim de melhorar a visualização do ciclo diurno a Figura 3 foi construída somando-se ou subtraindo-se (dependendo do valor do EM), dos valores médios do ciclo diurno, os valores da REQM de cada previsão e para cada localidade. Tais valores são apresentados na Tabela 3. Assim, por exemplo, para construir a Figura 3 A, como o EM é positivo, os valores médios previstos de pressão ao nível da estação em Cunha foram subtraídos de 5,3 hPa na previsão de 24 h, 5,6 hPa na previsão de 48 h e de 5,7 hPa na previsão de 72 h. Como esperado, o modelo superestimou (subestimou) esta variável nas localidades de Cunha e Curucutu (Paraibuna e Picinguaba), onde as altitudes das caixas de grade do modelo contendo as respectivas observações são muito inferiores (superiores) às altitudes das PCDs. Considerando-se os valores de Desvio Padrão (DP)

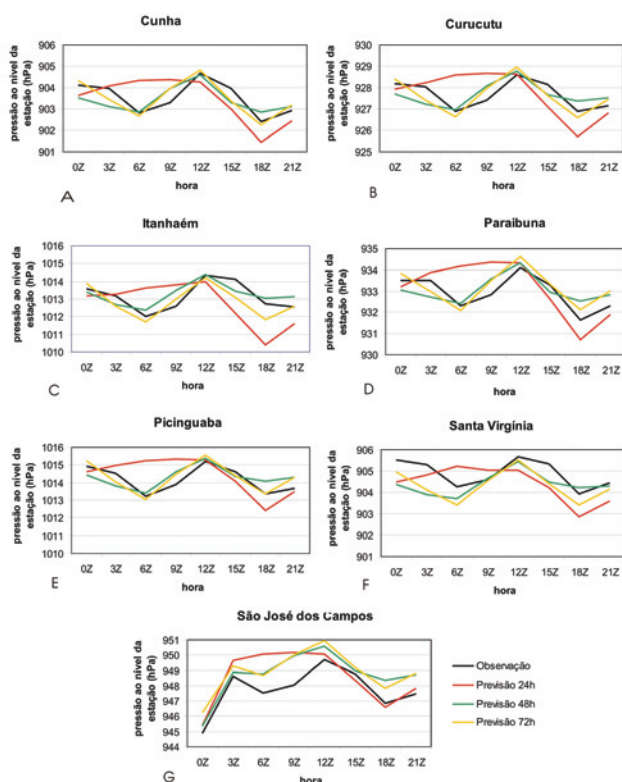


Figura 3 Ciclo diurno médio da pressão atmosférica ao nível da estação (hPa) observada (linha preta) e prevista pelo modelo Eta, adicionando-se ou subtraindo-se seus respectivos valores de REQM (respeitando-se o sinal do EM apresentados na Tabela 3) com antecedência de 24 h (linha vermelha), 48 h (linha verde) e 72 h (linha laranja) para A) Cunha; B) Curucutu; C) Itanhaém; D) Paraibuna; E) Picinguaba; F) Santa Virgínia e G) São José dos Campos. Em Itanhaém não foi necessário somar ou subtrair o ciclo diurno médio da REQM, uma vez que os EMs são aproximadamente nulos.

das observações apresentados na Tabela, nota-se que os valores de REQM são muito elevados, chegando a seis vezes o valor do DP em Curucutu e Picinguaba, enquanto os valores de REQM são pequenos comparativamente ao DP nas localidades em que o modelo está aproximadamente na mesma altitude da PCD, como é o caso de Itanhaém, Santa Virgínia e São José dos Campos. Os ciclos diurnos da pressão atmosférica apresentam dois máximos (0 e 12 Z) e dois mínimos (6 e 18 Z), coincidentes com a observação e aproximadamente com mesma amplitude. Na previsão de 24 h, o modelo, que é iniciado com as condições iniciais de 12 Z, prevê o mínimo de 18 Z com valores inferiores às demais previsões e não consegue prever o próximo mínimo (de 6 Z). De forma geral, a previsão com 48 h de antecedência apresenta melhor desempenho do que as demais previsões, com maior correlação, menor REQM e melhor representação do ciclo diurno.

PCDs	Prev-24h	Prev-48	Prev-72h
Cunha DP: 2,5 hPa	EM: 5,2 hPa REQM: 5,3 hPa CORR: 95%	EM: 5,5 hPa REQM: 5,6 hPa CORR: 94%	EM: 5,5 hPa REQM: 5,7 hPa CORR: 97%
Curucutu DP: 3,1 hPa	EM: 18,5 hPa REQM: 18,7 hPa CORR: 85%	EM: 18,9 hPa REQM: 19,0 hPa CORR: 85%	EM: 18,8 hPa REQM: 19,0 hPa CORR: 84%
Itanhaém DP: 4,4 hPa	EM: -0,5 hPa REQM: 1,6 hPa CORR: 90%	EM: 0 hPa REQM: 1,3 hPa CORR: 94%	EM: -0,3 hPa REQM: 1,6 hPa CORR: 90%
Paraibuna DP: 3,7 hPa	EM: -6,0 hPa REQM: 6,2 hPa CORR: 91%	EM: -5,5 hPa REQM: 5,6 hPa CORR: 92%	EM: -5,7 hPa REQM: 5,9 hPa CORR: 91%
Picinguaba DP: 4,6 hPa	EM: -23,6 hPa REQM: 23,7 hPa CORR: 89%	EM: -23,1 hPa REQM: 23,2 hPa CORR: 88%	EM: -23,2 hPa REQM: 23,3 hPa CORR: 87%
Santa Virgínia DP: 3,3 hPa	EM: 1,0 hPa REQM: 1,5 hPa CORR: 95%	EM: 1,2 hPa REQM: 1,7 hPa CORR: 93%	EM: 1,2 hPa REQM: 1,8 hPa CORR: 91%
São José dos Campos DP: 4,9 hPa	EM: -4,5 hPa REQM: 4,7 hPa CORR: 91%	EM: -4,2 hPa REQM: 4,4 hPa CORR: 88%	EM: -4,3 hPa REQM: 4,6 hPa CORR: 87%

Tabela 3 EM (hPa), REQM (hPa) e CORR (%) das previsões de pressão atmosférica ao nível da estação de 24, 48 e 72-h do modelo Eta em Cunha, Curucutu, Itanhaém, Paraibuna, Picinguaba, Santa Virgínia e São José dos Campos e os respectivos valores de desvio padrão (DP) da observação (hPa).

3.2 Temperatura do Ar

A avaliação da temperatura do ar a 2 m mostrou que o modelo apresentou razoável desempenho para prever esta variável em todas as localidades (Figura 4 e Tabela 4), representando muito bem seu ciclo diurno. Em Curucutu, Itanhaém e Santa Virgínia ocorre superestimativa da temperatura do ar em todos os prazos de previsão, porém nota-se que tal erro, em torno de 3°C em Curucutu e Santa Virgínia e de 2°C em Itanhaém, é sistemático. Em Curucutu a superestimativa de temperatura do ar era esperada, uma vez que a caixa de grade do modelo contendo a observação situa-se cerca de 166 m abaixo da altitude real da estação. Por outro lado, em Paraibuna e Picinguaba onde as caixas de grade do modelo estão em torno de 200 m acima da altitude das PCDs esperava-se erros médios negativos (o

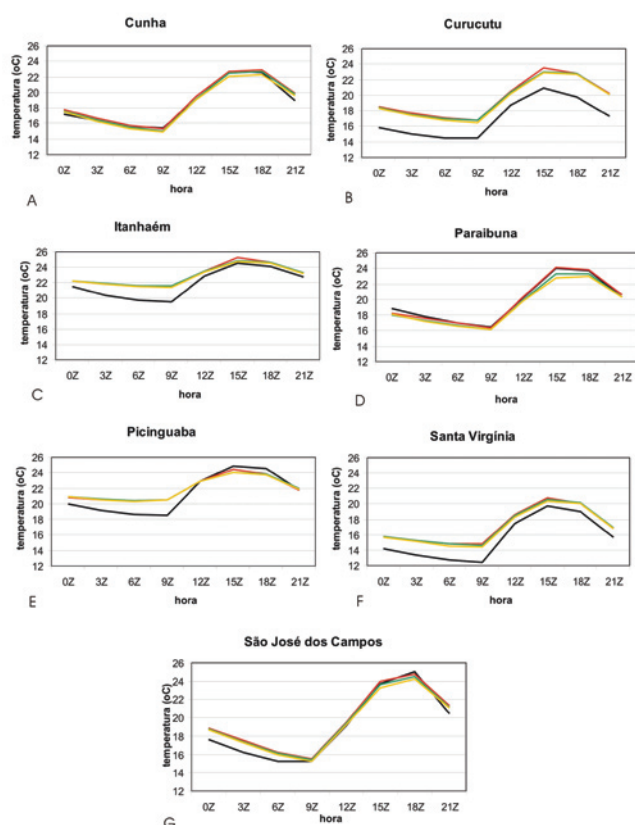


Figura 4 Ciclo diurno médio da temperatura do ar (°C) a 2 m observada (linha preta) e prevista pelo modelo Eta com antecedência de 24 h (linha vermelha), 48 h (linha verde) e 72 h (linha laranja) para A) Cunha; B) Curucutu; C) Itanhaém; D) Paraibuna; E) Picinguaba; F) Santa Virgínia e G) São José dos Campos.

PCDs	Prev-24h	Prev-48	Prev-72h
Cunha DP: 3,8 °C	EM: 0,4 °C REQM: 1,7 °C CORR: 91%	EM: 0,1°C REQM: 1,9 °C CORR: 88%	EM: -0,1°C REQM: 2,1 °C CORR: 85%
Curucutu DP: 3,7 °C	EM: 2,6 °C REQM: 3,4 °C CORR: 82%	EM: 2,4 °C REQM: 3,3 °C CORR: 81%	EM: 2,3 °C REQM: 3,4 °C CORR: 78%
Itanhaém DP: 2,5 °C	EM: 1,0 °C REQM: 2,0 °C CORR: 83%	EM: 0,8 °C REQM: 2,0 °C CORR: 86%	EM: 0,6 °C REQM: 2,3 °C CORR: 83%
Paraibuna DP: 4,0 °C	EM: 0,0 °C REQM: 1,9 °C CORR: 89%	EM: -0,4 °C REQM: 2,1 °C CORR: 86%	EM: -0,5 °C REQM: 2,4 °C CORR: 82%
Picinguaba DP: 3,8 °C	EM: 0,6 °C REQM: 2,2 °C CORR: 81%	EM: 0,5 °C REQM: 2,4 °C CORR: 77%	EM: 0,4 °C REQM: 2,6 °C CORR: 73%
Santa Virgínia DP: 4,5 °C	EM: 1,6 °C REQM: 2,6 °C CORR: 88%	EM: 1,5 °C REQM: 2,7 °C CORR: 87%	EM: 1,3 °C REQM: 2,8 °C CORR: 84%
São José dos Campos DP: 3,7 °C	EM: 0,6 °C REQM: 2,3 °C CORR: 89%	EM: 0,4 °C REQM: 2,4 °C CORR: 88%	EM: 0,2 °C REQM: 2,5 °C CORR: 86%

Tabela 4 EM (°C), REQM (°C) e CORR (%) das previsões de temperatura do ar a 2 m de 24, 48 e 72-h do modelo Eta em Cunha, Curucutu, Itanhaém, Paraibuna, Picinguaba, Santa Virgínia e São José dos Campos e os respectivos valores de desvio padrão (DP) da observação (°C).

que só ocorreu em Paraibuna) e valores superiores de REQM. A CORR é em geral elevada para todas as localidades e para as 3 previsões (24, 48 e 72 h), variando entre 73% e 91%. Comparando-se os três prazos de previsão nota-se que a previsão com 24-h de antecedência apresenta a melhor performance em todas as localidades, com maior CORR e menor REQM, com exceção de Itanhaém, onde a previsão de 48-h é superior às demais.

3.3 Ventos

A frequência de ocorrência da intensidade dos ventos previstos pelo modelo e observados nas localidades estudadas é apresentada na Figura 5. Nota-se a partir da figura que o modelo subestima a frequência de ocorrência de ventos calmos ($< 1 \text{ m.s}^{-1}$) em todas as localidades e em geral superestima a frequência de ocorrência de ventos fortes (superiores a 7 m.s^{-1}), com exceção de Cunha e Paraibuna. Apenas para estas duas localidades (Cunha e Paraibuna) nota-se que o modelo superestima (subestima) a frequência

de ocorrência de ventos entre 1 e 4 m.s⁻¹ (4 e 7 m.s⁻¹) ocorrendo o contrário para as demais localidades.

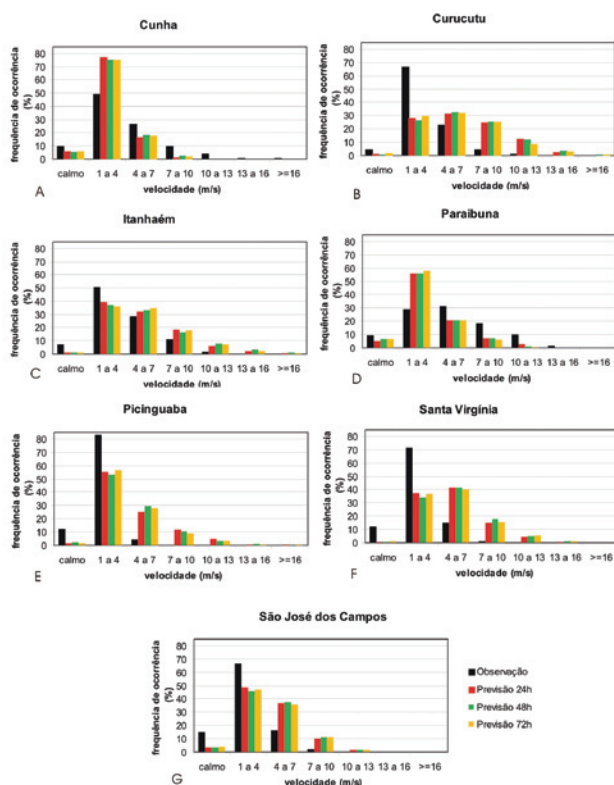


Figura 5 Frequência de ocorrência da velocidade (%) do vento (m.s⁻¹) observada (preto) e prevista pelo modelo Eta com antecedência de 24 h (vermelho), 48 h (verde) e 72 h (laranja) para A) Cunha; B) Curucutu; C) Itanhaém; D) Paraibuna; E) Picinguaba; F) Santa Virgínia e G) São José dos Campos.

Com relação à análise da direção dos ventos, as Figuras 6, 7 e 8 apresentam as rosas dos ventos observadas (coluna da esquerda) e previstas com 24 h de antecedência pelo modelo Eta (coluna da direita) para as localidades analisadas. Por economia de espaço as figuras relativas às previsões de 48 e 72 h não foram incluídas, no entanto nota-se grande similaridade entre as previsões nos três prazos (24, 48 e 72 h). Da mesma forma, a análise da direção dos ventos ao longo do dia considerando-se madrugada (3 Z e 6 Z), manhã (9 Z e 12 Z), tarde (15 Z e 18 Z) e noite (21 Z e 0 Z) foi elaborada, contudo tais figuras não são apresentadas. De forma geral o modelo não apresenta bom desempenho para prever esta variável com ventos sendo previstos em direções bastante distintas das observadas, como é o caso por

exemplo de Paraibuna (Figura 7 A), onde os ventos são observados predominantemente de oeste e são previstos de leste.

Em Cunha (Figura 6 A) os ventos são observados predominantemente de S, SSE e SE (aproximadamente 29%) que ocorrem na noite e madrugada, passando a soprar de E na manhã e de N à tarde, ambas as direções com aproximadamente 8% das frequências de ocorrência. O modelo para esta localidade prevê baixa frequência de ventos no quadrante sul, mas consegue reproduzir o giro antihorário do vento, variando de E (em torno de 13%) na noite e madrugada, rondando para ventos de NE e ENE na manhã e de N à tarde.

Em Curucutu (Figura 6 B) os ventos são observados com maior frequência de S (em torno de 22%) que ocorrem na noite, madrugada e manhã, e à tarde sopram de N (aproximadamente 9%). Na previsão, os ventos são predominantemente de SE e SSE (aproximadamente 44%) ocorrendo na noite e na madrugada e passam a soprar de NNW (em torno de 15%) na manhã e tarde.

Para Itanhaém (Figura 6 C) observam-se ventos predominantemente de N, NW e NNW (em torno de 31%) que ocorrem na madrugada e manhã, de E (12%) à noite e de S e SSW (em torno de 13%) ocorrendo à tarde. O modelo prevê a maior frequência de ocorrência de ventos de E (16%) que ocorrem em geral à noite e de ESE (12%) à tarde.

Os ventos observados em Paraibuna (Figura 7 A) sopram predominantemente de W (em torno de 15%) que em geral ocorrem na madrugada e manhã e de SW (aproximadamente 17%) à tarde e à noite. Na previsão nota-se predomínio de ventos de E (em torno de 40%) que em geral ocorrem na noite, madrugada e manhã e de ESE (cerca de 20%) à tarde.

Em Picinguaba (Figura 7 B) os ventos sopram predominantemente de N, NNW e NW (29%) ocorrendo em geral na madrugada e manhã, e na direção oposta (W, WSW, SW e SSW), totalizando cerca de 24% dos dados na tarde e noite. O modelo prevê ventos predominantemente de E, ESE, SE e SSE (em torno de 43%).

Os ventos em Santa Virgínia (Figura 7 C) são observados predominantemente de S, SSE e SSW (em torno de 25%) que ocorrem em geral à tarde e à

noite e de N e NNW (em torno de 21%) na madrugada e manhã. A previsão coloca a maior frequência de ventos de ESE, E e SE (aproximadamente 45%) ocorrendo em geral durante a tarde e noite.

Na Figura 8 os ventos observados em São José dos Campos são predominantemente de S, SW, SSW, SE, SSE (cerca de 35%) que em geral ocorrem à tarde e noite e ventos de E (10%) na madrugada e manhã. Na previsão o modelo coloca a maior frequência de ocorrência de ventos de NE e ENE (30%) previstos na madrugada e manhã e de SW e SSW (23%) à tarde e à noite.

Nota-se da avaliação dos ventos que o modelo não é capaz de detectar as direções predominantes nas diversas localidades estudadas, o que está associado com as diferenças nas topografias reais e do modelo. Contudo ocorre giro do vento na previsão, com variações ao longo do dia. Com relação à intensidade do vento esta é razoavelmente bem prevista.

3.4 Precipitação

A avaliação da precipitação (Figura 9) é elaborada inicialmente, considerando-se os totais pluviométricos mensais previstos com 24, 48 e 72 h de antecedência (ver metodologia). Nota-se que o modelo reproduz bem a variabilidade intra-anual da precipitação, com totais mais (menos) elevados no verão (inverno). Em Itanhaém, Paraibuna e principalmente em Picinguaba a precipitação é superestimada, onde nota-se, por exemplo, totais pluviométricos mensais previstos (com 48 e 72 h de antecedência) no mês de novembro de 2008 de quase 700 mm, que é mais do que o dobro da chuva observada naquele mês (275 mm). É importante ressaltar que a altitude real da PCD de Picinguaba é de 4 m, enquanto no modelo a localidade situa-se a 222,5 m, o que pode estar contribuindo para a intensificação da precipitação prevista.

A seguir a avaliação da precipitação é elaborada para os totais pluviométricos diários, a partir da análise do ETS, BIAS e H para diferentes limiares de precipitação: chuva/não chuva, chuva leve, chuva moderada e chuva forte, definidos na metodologia.

As Figuras 10, 11 e 12 apresentam os va-

lores dos índices ETS e BIAS para todas as localidades estudadas. Nota-se que para a maior parte das localidades e em quase todas as faixas de precipitação, excetuando-se Curucutu (Figura 10 B) e Santa Virgínia (Figura 11 C), o BIAS é superior a 1. Tomando-se como exemplo a localidade de São José dos Campos (Figura 12), verifica-se que para as três previsões (24, 48 e 72 h) o modelo superestima a frequência de ocorrência de eventos de chuvas diárias maior ou igual a 0,3 mm. Como o total de eventos é o mesmo na observação e previsões isso significa que o modelo subestima o número de eventos com total pluviométrico diário inferior a 0,3 mm. Neste exemplo foram observados 68 dias chuvosos (total pluviométrico diário superior a 0,3 mm) e previstos com 24 h de antecedência quase o dobro (124 eventos), resultando num BIAS de 1,8. Por outro lado, foram observados 162 dias sem chuva (total pluviométrico diário inferior a 0,3 mm) e previstos com 24 h de antecedência, 106 dias sem chuvas.

Para Curucutu (Figura 10 B) e Santa Virgínia (Figura 11 C), nota-se subestimativa de eventos de chuva moderada (totais diários superiores a 12,7 mm), ou seja, o modelo prevê menos eventos nestas classes do que de fato ocorre. Nestas duas localidades o modelo apresenta sua melhor performance com relação ao BIAS, com valores próximos da unidade.

A análise do ETS indica que os maiores valores (valor ideal de ETS igual a 1) são verificados na previsão de 24 h para totais pluviométricos diários superiores a 0,3 mm, principalmente em Curucutu (próximo a 0,4) e Santa Virgínia (próximo a 0,5). As previsões com 24-h de antecedência são em geral superiores às demais, apresentando ETS mais elevado.

Os gráficos de H (figuras não apresentadas) indicam que de forma geral o modelo apresenta ótimo desempenho para prever eventos chuva/não chuva (precipitação diária maior ou igual a 0,3 mm), com cerca de 90% de acerto. Para as demais faixas de precipitação nota-se um decaimento quase linear atingindo em torno de 30% de acerto nos eventos de chuvas fortes.

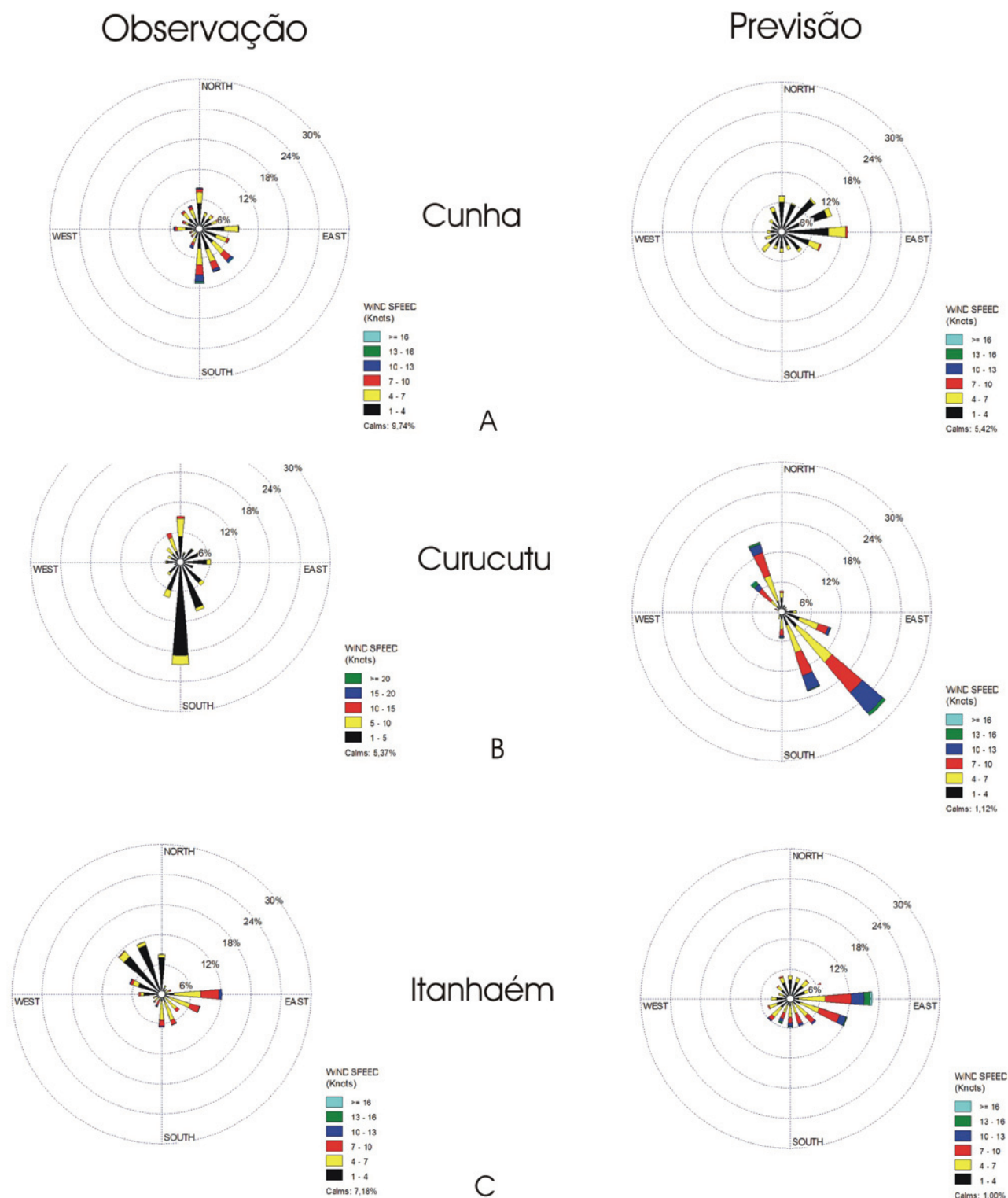


Figura 6 Rosas dos ventos para observações (coluna da esquerda) e previsões de 24 h do modelo Eta (coluna da direita) para A) Cunha; B) Curucutu e C) Itanhaém

Observação

Previsão

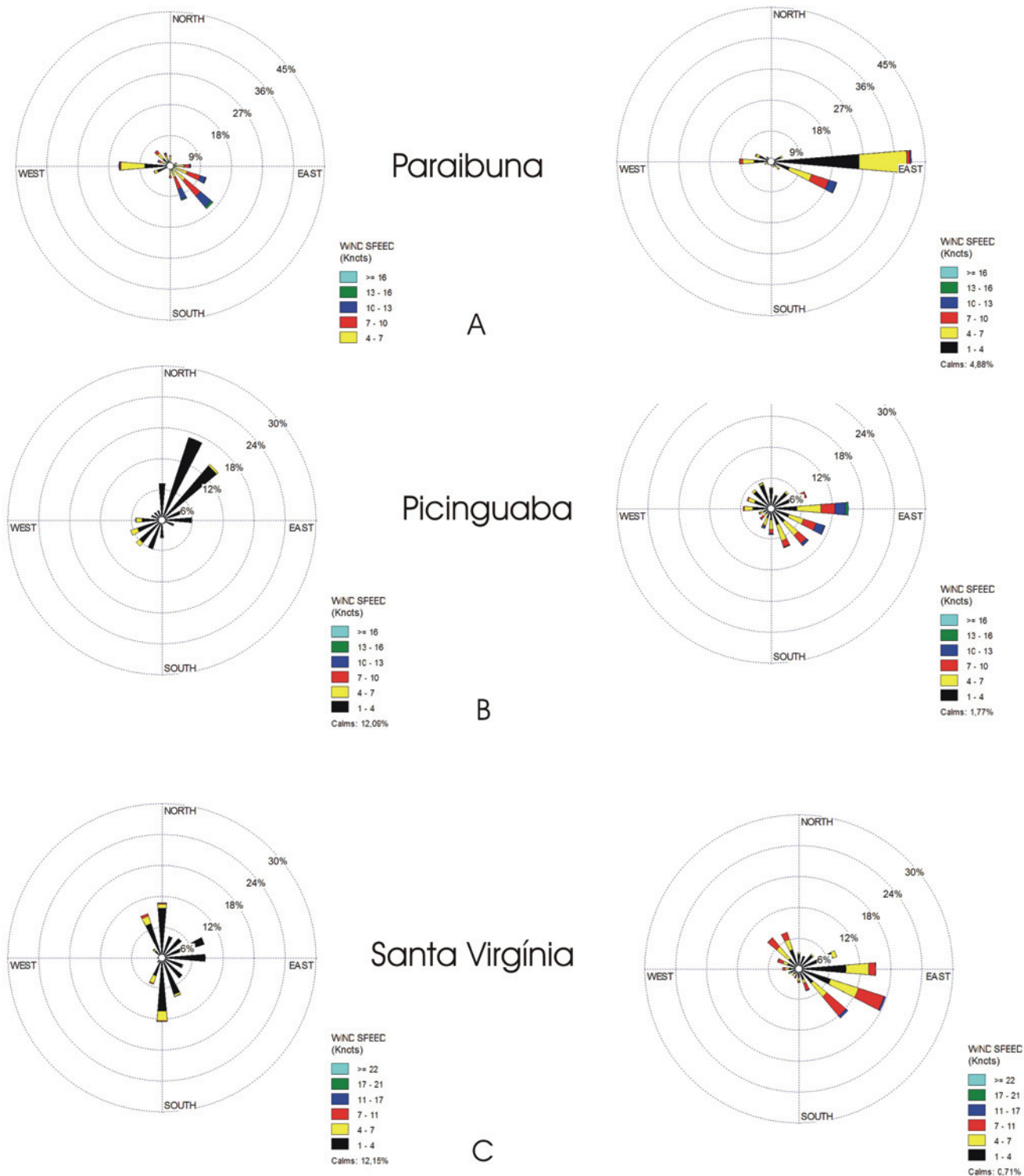


Figura 7 Rosas dos ventos para observações (coluna da esquerda) e previsões de 24 h do modelo Eta (coluna da direita) para A) Paraibuna; B) Picinguaba e F) Santa Virgínia.

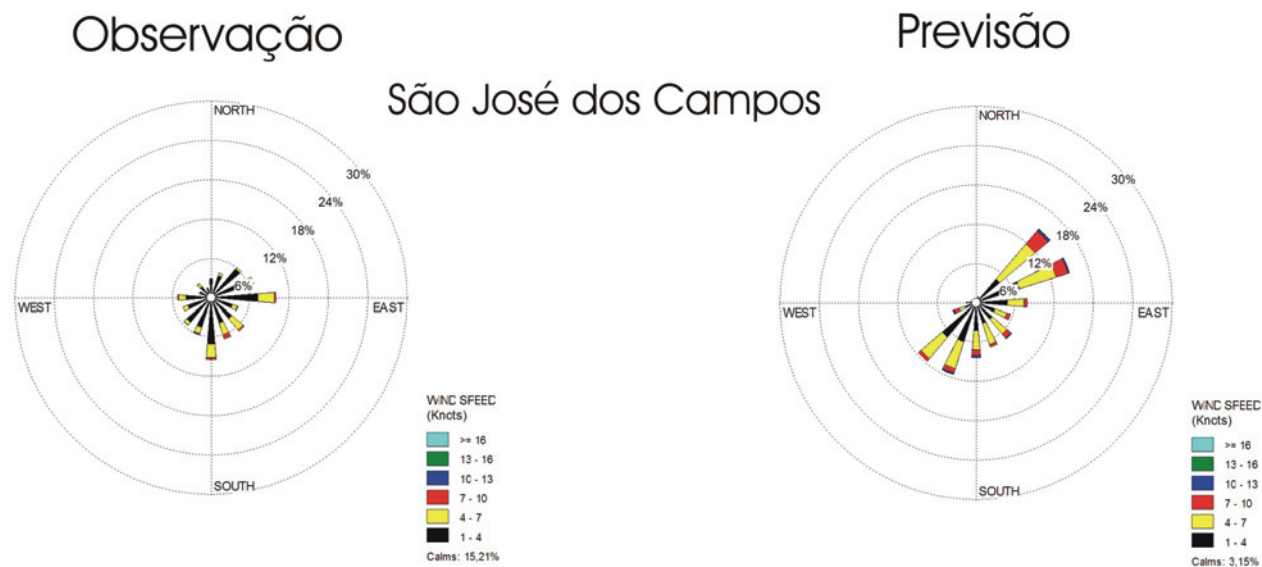


Figura 8 Rosas dos ventos para observações (coluna da esquerda) e previsões de 24 h do modelo Eta (coluna da direita) para São José dos Campos.

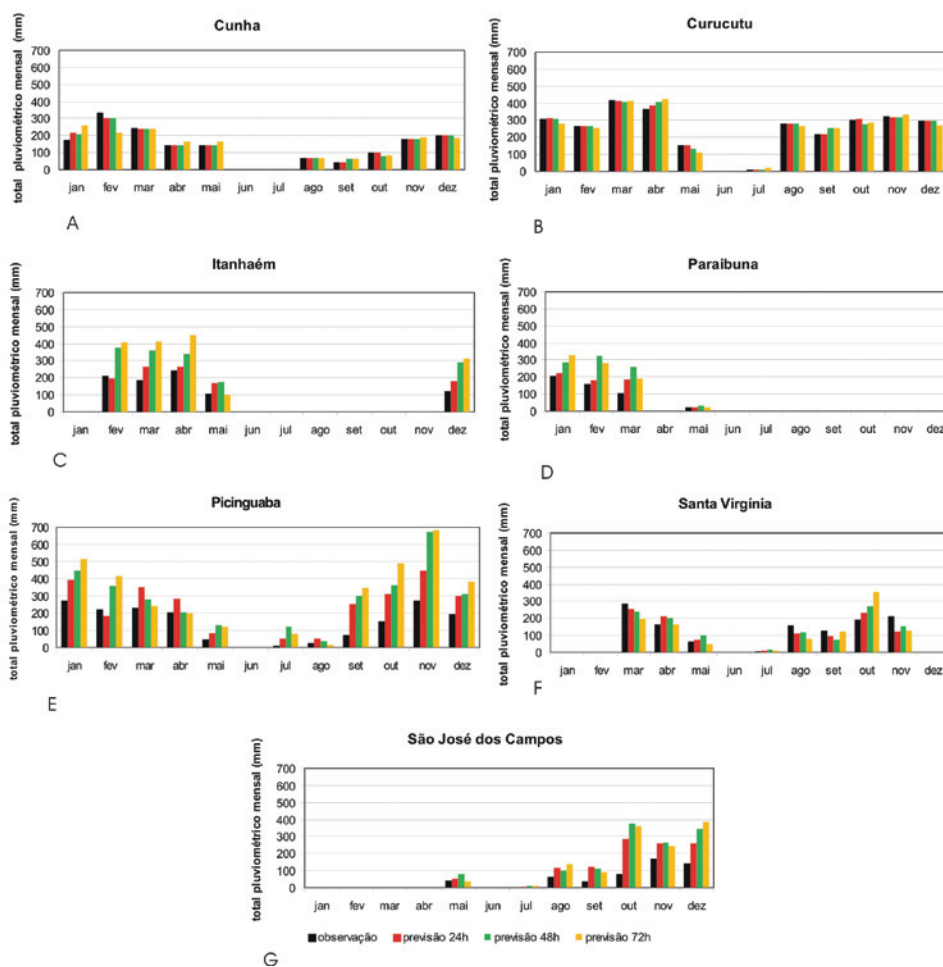


Figura 9 Totais pluviométricos mensais (mm) observados (preto) e previstos pelo modelo Eta com antecedência de 24 h (vermelho), 48 h (verde) e 72 h (laranja) para A) Cunha; B) Curucutu; C) Itanhaém; D) Paraibuna; E) Picinguaba; F) Santa Virginia e G) São José dos Campos ao longo do ano de 2008. Totais pluviométricos nulos referem-se a meses onde não houve observação ou com muitos dados faltantes.

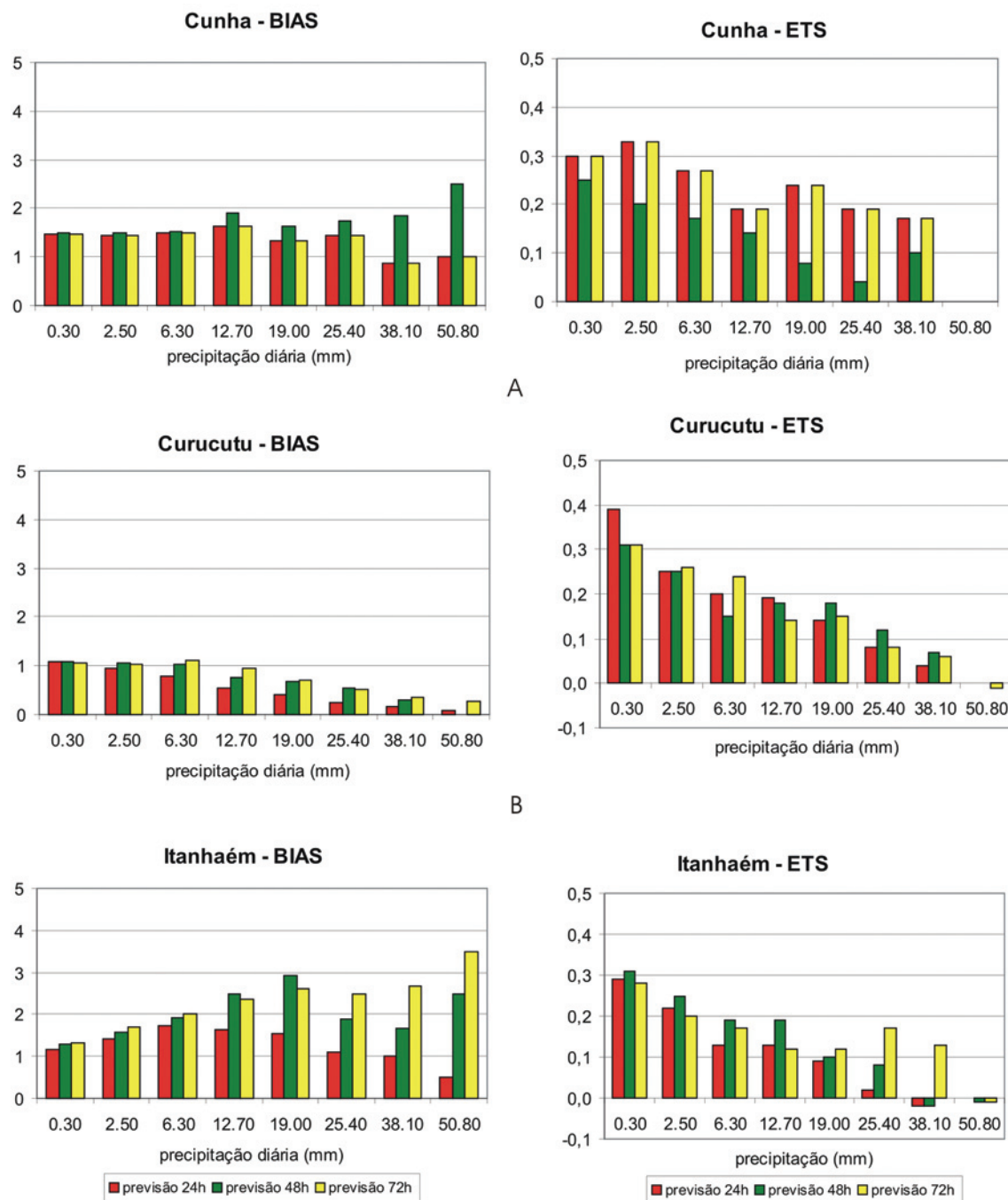


Figura 10 BIAS (coluna da esquerda) e ETS (coluna da direita) relativos à previsão do modelo Eta com antecedência de 24 h (vermelho), 48 h (verde) e 72 h (amarelo) para A) Cunha; B) Curucutu e C) Itanhaém.

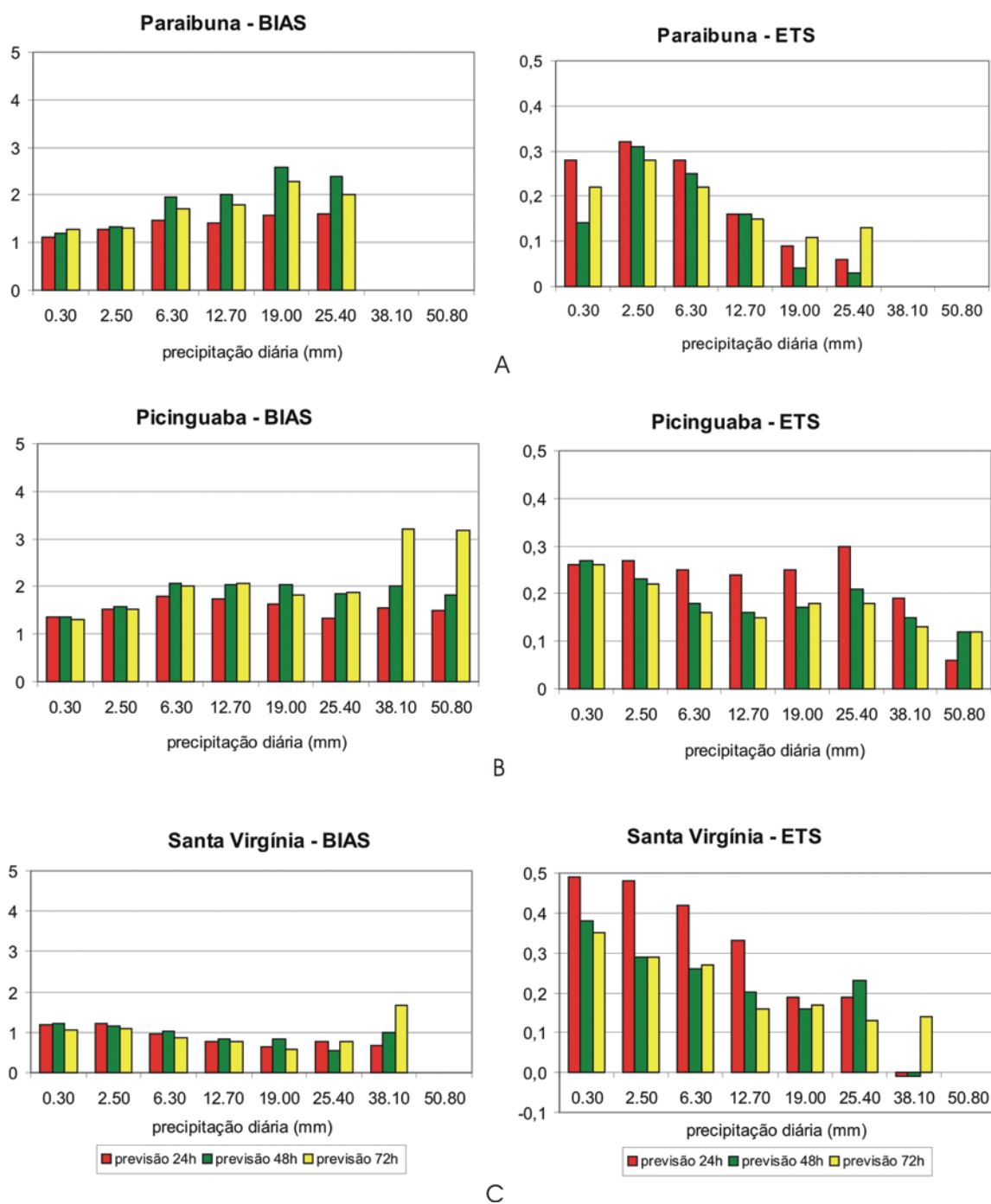


Figura 11 BIAS (coluna da esquerda) e ETS (coluna da direita) relativos à previsão do modelo Eta com antecedência de 24 h (vermelho), 48 h (verde) e 72 h (amarelo) para A) Paraibuna; B) Picinguaba e C) Santa Virgínia.

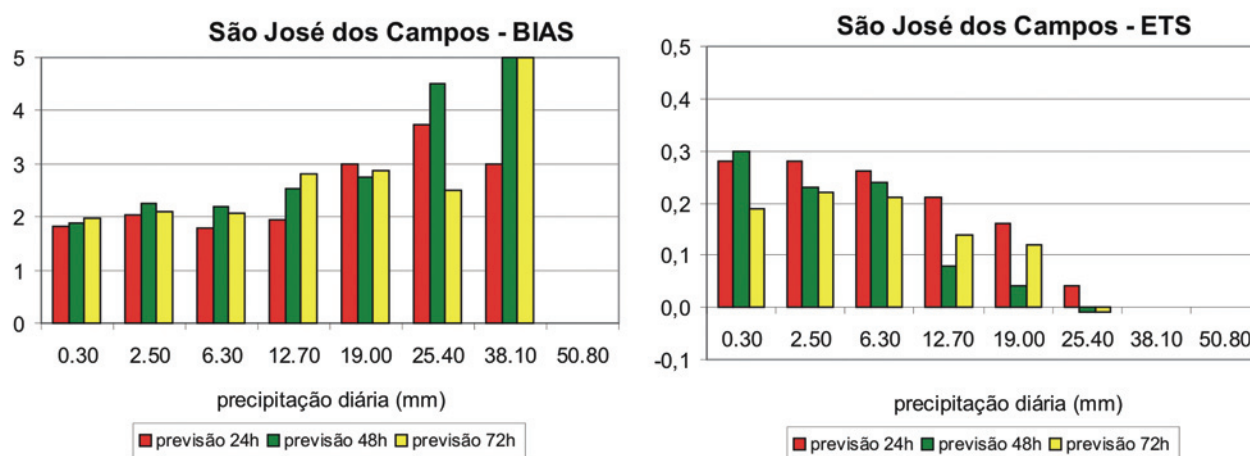


Figura 12 BIAS (coluna da esquerda) e ETS (coluna da direita) relativos à previsão do modelo Eta com antecedência de 24 h (vermelho), 48 h (verde) e 72 h (amarelo) para São José dos Campos.

4 Conclusões

Neste trabalho foi elaborada uma avaliação do modelo Eta-5km para prever com antecedência de 24, 48 e 72 h as variáveis pressão atmosférica ao nível da estação, temperatura do ar a 2 m, velocidade e direção dos ventos e precipitação. Tais previsões foram confrontadas com observações de PCDs meteorológicas em Cunha, Curucutu, Itanhaém, Paraibuna, Picinguaba, Santa Virgínia e São José dos Campos.

Os resultados indicaram que o ciclo diurno da pressão atmosférica ao nível da estação foi bem representado pelo modelo, mostrando dois máximos (0 e 12 Z) e dois mínimos (6 e 18 Z), coincidentes com a observação e aproximadamente com mesma amplitude. A CORR oscila entre 84 e 97%. Com 24 h de antecedência o modelo prevê o mínimo de 18 Z com valores inferiores às demais previsões e não consegue prever o próximo mínimo (de 6 Z). O modelo superestimou (subestimou) a pressão ao nível da estação nas localidades de Cunha e Curucutu (Paraibuna e Picinguaba), onde as altitudes das caixas de grade do modelo contendo às respectivas observações são muito inferiores (superiores) às altitudes das PCDs. A previsão com 48 h de antecedência é superior às demais previsões, com maior CORR, menor REQM e melhor representação do ciclo diurno.

A temperatura do ar a 2 m é a variável mais bem prevista, sendo seu ciclo diurno muito bem representado pelo modelo. A CORR é em geral

elevada variando entre 73% e 91%. Em Curucutu, Itanhaém e Santa Virgínia ocorre superestimativa da temperatura do ar em todos os prazos de previsão, porém nota-se que tal erro em torno de 3°C em Curucutu e Santa Virgínia e de 2°C em Itanhaém é sistemático. Em geral a previsão com 24-h de antecedência apresenta a melhor performance.

Com relação a velocidade dos ventos o modelo subestima a frequência de ocorrência de ventos calmos ($< 1 \text{ m.s}^{-1}$) em todas as localidades e em geral superestima a frequência de ocorrência de ventos fortes (superiores a 7 m.s^{-1}). A direção do vento foi mal prevista pelo modelo, provavelmente devido às dificuldades da representação da topografia real no modelo. Contudo, assim como observado nos dados observacionais ocorre também nas previsões a mudança na direção dos ventos associado com o aquecimento diurno.

Em geral os totais pluviométricos mensais foram bem representados pelo modelo, com redução (aumento) dos valores nos meses de inverno (verão). Nas localidades de Itanhaém, Paraibuna e principalmente em Picinguaba a precipitação foi superestimada.

Da análise da precipitação diária, através do BIAS, ETS e H conclui-se que em geral o modelo superestima a frequência de ocorrência de eventos de chuva (valores diários maiores ou iguais a 0,3 mm). Por outro lado, o modelo apresenta a melhor performance também para prever tais eventos,

com maiores valores de ETS e BIAS (próximo da unidade) e maiores índices de acerto (cerca de 90%). Para as demais faixas de precipitação nota-se um decaimento do desempenho do modelo.

As análises mostraram que um dos fatores de erro do modelo pode estar relacionado à sua topografia.

5 Agradecimentos

À FAPESP pelo amparo e apoio a pesquisa do Projeto Temático “Estudos da Previsibilidade de Eventos Meteorológicos na Serra do Mar” (04/09649-0).

Referências

- Anthes, R. A.; Kuo, Y.-H.; Hsie, E.-Y.; Low-Nam, S. & Bettge, T. W. 1989. Estimation of skill and uncertainty in regional numerical models. *The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 115: 763-806.
- Betts, A. K & Miller, M. J. 1986. A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX and arctic air-mass data sets. *The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 112: 693-709.
- Chen, F.; Janjic, Z.I. & Mitchell, K. 1997. Impact of atmospheric surface-layer parameterization in the new land-surface scheme of the NCEP mesoscale Eta model. *Boundary-Layer Meteorology*, 85: 391-421.
- Chou, S.C. & Justi da Silva, M. G. A. 1999. Objective Evaluation of Eta Model Precipitation Forecasts Over South America. *Climanálise*. Ano 1. Nº. 1: 1-17. Climanálise, 1999.
- Fels, S. B. & Schwarzkopf, M. D. 1975. The simplified exchange approximation. A new method for radiative transfer calculations. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 32: 1475-1488.
- Janjic, Z. I. 1994. The step-mountain eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes. *Monthly Weather Review*, 122: 927-945.
- Lacis, A. A. & Hansen, J. E. 1974. A parameterization for the absorption of solar radiation in the Earth's atmosphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 31: 118-133.
- Mesinger, F. 1984. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, 44: 195-202.
- Mesinger, F., & Black T. L. 1992: On the impact on forecast accuracy of the step-mountain (eta) vs. sigma coordinate. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 50: 47-60.
- Mesinger, F. Janjic, Z.I.; Nickovic, S.; Gavrilov, D. & Deaven, D.G. 1988. The step-mountain coordinate: Model description description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. *Monthly Weather Review*, 116: 1493-1518.
- Rozante J.R. & I.F.A.Cavalcanti, 2008. Regional Eta model experiments. SALLJEX and MCS developments. *Journal of Geophysical Research*, 113, D17106, doi:10.1029/2007JD009566, 2008
- Saulo, C.; Seluchi, M. E.; Campetella, C. & Ferreira, L. 2001. Error evaluation of NCEP and LAHM Regional Model Daily Forecasts over Southern South America. *Weather and Forecasting*, 16(6): 697-712.
- Zhong, S., & Fast, J. D. 2003. An evaluation of MM5, RAMS, and Meso Eta at sub-kilometer resolution using the VTMX field campaign data in the Salt Lake Valley. *Monthly Weather Review*, 131: 1301-1322.