

**Paulo Henrique Santiago de Maria**

*Modelagem numérica em alta resolução para  
previsão de geração de Energia Eólica no Ceará*

Fortaleza, Ceará

2007

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Paulo Henrique Santiago de Maria**

***Modelagem numérica em alta resolução para  
previsão de geração de Energia Eólica no Ceará***

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas da Universidade Estadual do Ceará como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Físicas Aplicadas. Área de concentração: Física Atmosférica e Fontes Alternativas de Energia.

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Araújo Costa

Fortaleza, Ceará

2007

Dissertação de Mestrado sob o título “*Modelagem numérica em alta resolução para previsão de geração de Energia Eólica no Ceará*”, defendida por Paulo Henrique Santiago de Maria e aprovada em 2007, em Fortaleza, estado do Ceará, em 22 de Junho de 2007, pela banca examinadora constituída pelos doutores:

---

Prof. Dr. Alexandre Araújo Costa  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)  
Orientador

---

Prof. Dra. Mariane Mendes Coutinho  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

---

Prof. Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
(INPE)

# *Dedicatória*

Aos meus Pais, José Gerardo e Socorro Costa, a quem devo a vida e minha formação moral.  
Meu reconhecimento e gratidão pela paciência, compreensão e apoio constante nesta jornada.

# *Agradecimentos*

Ao Prof. Dr. Alexandre Araújo Costa, meu orientador, por ter acreditado e apostado em mim, e pelas oportunidades que vem me oferecendo.

Aos meus valiosos amigos do Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas, em especial Otacílio Neto, Juliana Oliveira, Henrique Camelo, Elissandro Monteiro, Érick Castro, Djalma Gomes, Luis Sousa e Gerardo Majela, ao lado de quem tive experiências edificantes e motivadoras.

Aos colegas do Departamento de Meteorologia da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, principalmente Wagner Melcíades, Sérgio Sombra e A. C. Santana dos Santos, pela fundamental ajuda e contribuição em meus progressos.

Ao Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas (MCFA), e à instituição à qual pertence, Universidade Estadual do Ceará (UECE), incluindo seus professores e demais funcionários, que possibilitaram este acontecimento.

À Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), pelos recursos humanos e físicos disponibilizados, sem os quais este trabalho, na forma em que se encontra, teria encontrado viabilidade.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo apoio financeiro por meio de bolsa de estudos.

À minha família, familiares e amigos, por estarem sempre me apoiando e serem compreensíveis nos momentos em que precisei.

*"Nenhum homem realmente produtivo  
pensa como se estivesse escrevendo uma dissertação."*

Albert Einstein

# *Resumo*

Um modelo atmosférico de mesoescala (Regional Atmospheric Modeling System, RAMS 6.0) é utilizado para simular a circulação local sobre regiões litorâneas do estado do Ceará, no Nordeste brasileiro, ao longo de quatro dias do período de transição do regime de ventos (entre as estações seca e chuvosa), em Janeiro de 2005.

Testes de sensibilidade para três parâmetros – espaçamento da grade horizontal, parametrizações de turbulência e intensidade do relaxamento newtoniano – são efetuados para obter uma configuração do modelo que sirva de base para uma ferramenta de previsão de ventos para geração de Energia Eólica.

Para a verificação e avaliação do desempenho do modelo é desenvolvida uma metodologia baseada em comparações estatísticas entre os resultados do modelo e observações coletadas por meio da rede de estações meteorológicas automáticas de superfície (vento a 10m) e de um par de torres anemométricas (vento em três níveis: 20m, 40m e 60m).

É feita também uma minuciosa descrição do modelo, com ênfase nos parâmetros testados. O método estatístico de intercomparação é também apresentado em detalhes, incluindo informações referentes aos dados observados. Os resultados são apresentados na forma de gráficos das séries temporais de velocidade e direção do vento, tabelas com valores dos escores estatísticos que possibilitam uma escolha objetiva das opções mais adequadas do modelo, e mapas de contorno que permitem uma avaliação qualitativa do desempenho do modelo ao simular o escoamento local influenciado pelo sistema de brisa marítima e topografia.

Constatou-se que o uso de grades de alta resolução é de fato relevante para simulação dos ventos nas proximidades do litoral e que a melhor configuração do modelo no que diz respeito à parametrização de turbulência e calibração da escala de tempo do relaxamento newtoniano proporciona uma representação fisicamente realista da evolução da circulação local ao longo do período simulado, com ênfase no ciclo diurno (sistema de brisa).



# *Abstract*

A mesoscale atmospheric model (Regional Atmospheric Modeling System, RAMS 6.0) is used to simulate the local circulation over coastal regions in Ceará, Northeast Brazil, for a 4-day period during the transitional wind regime period (between the dry and the wet season), on January 2005.

Sensitivity tests for three parameters – horizontal grid spacing, turbulence parameterizations and Newtonian relaxation strength – are performed in order to attain a model configuration which may serve as basis towards a wind forecast tool aiming at wind energy production.

In order to verify and evaluate the model performance a methodology is developed based on statistical comparisons between model results and observations collected via a network of automatic meteorological stations (10m wind) and a couple of anemometric towers (wind at three levels: 20m, 40m and 60m).

A detailed description of the model is also shown, with emphasis on the parameters that were tested. The statistical method for model intercomparison is also presented in detail, including information regarding the observed data. The results are presented in the form of time series plots for wind direction and speed, tables with statistical scores that allow an objective choice of the better model options, and contour maps which permit a qualitative evaluation of the model performance while simulation the local flow influenced by sea-breeze and topography.

One concludes that the use of high resolution grids is indeed important to simulate the winds at the coast and that the best model configuration regarding the choice of the turbulence closure scheme and the calibration of the Newtonian relaxation timescale provides a physically realistic representation of the evolution of the local circulation along the simulated period, especially the diurnal cycle (sea-land breeze system).

# *Sumário*

## **Lista de Figuras**

## **Lista de Tabelas**

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	p. 20
<b>2</b>	<b>O modelo numérico</b>	p. 24
2.1	Grades horizontais . . . . .	p. 25
2.2	Parametrizações de turbulência . . . . .	p. 26
2.3	Relaxamento newtoniano . . . . .	p. 32
<b>3</b>	<b>Dados observacionais e análise estatística</b>	p. 34
3.1	Dados observados . . . . .	p. 34
3.2	Estatística da intercomparação de modelos . . . . .	p. 36
<b>4</b>	<b>Sensibilidade do modelo à resolução da grade horizontal</b>	p. 41
4.1	Plataformas de Coleta de Dados . . . . .	p. 42
4.2	Torres anemométricas . . . . .	p. 52
4.3	Discussões complementares . . . . .	p. 59
<b>5</b>	<b>Sensibilidade do modelo às parametrizações de turbulência</b>	p. 62
5.1	Plataformas de Coleta de Dados . . . . .	p. 62
5.2	Torres Anemométricas . . . . .	p. 71
5.3	Discussões complementares . . . . .	p. 77

<b>6</b>	<b>Sensibilidade do modelo ao relaxamento newtoniano</b>	p. 79
6.1	Plataformas de Coleta de Dados . . . . .	p. 79
6.2	Torres Anemométricas . . . . .	p. 90
6.3	Discussões complementares . . . . .	p. 95
<b>7</b>	<b>Conclusões</b>	p. 96
	<b>Referências Bibliográficas</b>	p. 106
	<b>Apêndice A – Lista de configurações usada no modelo</b>	p. 110

# *Lista de Figuras*

- 1.1 Seqüência de testes de sensibilidade do modelo. . . . . p. 22
- 2.1 Representação das grades usadas nas simulações, onde (a) é a Grade 1, (b) é a Grade 2 aninhada à primeira, (c) é a Grade 3 aninhada à segunda e (d) é a Grade 4 também aninhada à segunda. Nos mapas, linhas em azul-claro traçadas a cada 10 pontos de grade. . . . . p. 27
- 3.1 Localização das grades mais finas em relação ao estado do Ceará (a), com posicionamento das Torres Anemométricas (TAs), das Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) nas grades 3 (b) e 4 (c) e, em azul claro, mapa de contorno do relevo. . . . . p. 36
- 4.1 Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Beberibe. . . . . p. 42
- 4.2 Séries temporais de (a) velocidade do vento observado (em preto) e modelado com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Aquiraz. . . . . p. 43
- 4.3 Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Maranguape. . . . . p. 44
- 4.4 Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Fortaleza. . . . . p. 45
- 4.5 Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Caucaia. . . . . p. 46

4.6	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de São Gonçalo do Amarante. . . . .	p. 47
4.7	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Pacajus. . . . .	p. 48
4.8	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Acaraú. . . . .	p. 49
4.9	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Granja. . . . .	p. 50
4.10	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Barroquinha. . . . .	p. 51
4.11	Séries temporais de velocidade do vento a (a) 60m, (c) 40m e (e) 20m, e direção a (b) 60m e (d) 40m acima do nível do solo para a localidade de <b>Paracuru</b> , onde a curva em preto representa as observações, em vermelho os resultados do modelo com grade espaçada em 20Km, em verde o modelo com grade espaçada em 5Km e, em azul, o modelo com grade em 1Km de espaçamento. . . . .	p. 53
4.12	Séries temporais de velocidade do vento a (a) 60m, (c) 40m e (e) 20m, e direção a (b) 60m e (d) 40m acima do nível do solo para a localidade de <b>Camocim</b> , onde a curva em preto representa as observações, em vermelho os resultados do modelo com grade espaçada em 20Km, em verde o modelo com grade espaçada em 5Km e, em azul, o modelo com grade em 1Km de espaçamento. . . . .	p. 57
5.1	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Beberibe. . . . .	p. 63

5.2	Séries temporais de (a) velocidade modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Aquiraz. . . . .	p. 63
5.3	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Maranguape. . . . .	p. 64
5.4	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Fortaleza. . . . .	p. 66
5.5	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Caucaia. . . . .	p. 67
5.6	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de São Gonçalo do Amarante. . . . .	p. 68
5.7	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Pacajus. . . . .	p. 69
5.8	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Acaraú. . . . .	p. 70
5.9	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Granja. . . . .	p. 71
5.10	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Barroquinha. . . . .	p. 72
5.11	Séries temporais de velocidade do vento a (a) 60m, (c) 40m e (e) 20m, e direção a (b) 60m e (d) 40m acima do nível do solo para a localidade de <b>Paracuru</b> , onde a curva em preto representa as observações, em vermelho os resultados do modelo turbulência parametrizada por Mellor & Yamada, e em verde por Smagorinsky. . . . .	p. 73

5.12	Séries temporais de velocidade do vento a (a) 60m, (c) 40m e (e) 20m, e direção a (b) 60m e (d) 40m acima do nível do solo para a localidade de <b>Camocim</b> , onde a curva em preto representa as observações, em vermelho os resultados do modelo turbulência parametrizada por Mellor & Yamada, e em verde por Smagorinsky. . . . .	p. 76
6.1	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Beberibe. . . . .	p. 79
6.2	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Aquiraz. . . . .	p. 81
6.3	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Maranguape. . . . .	p. 82
6.4	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Fortaleza. . . . .	p. 83
6.5	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Caucaia. . . . .	p. 84
6.6	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de São Gonçalo do Amarante. . . . .	p. 85
6.7	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Pacajus. . . . .	p. 86

6.8	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Acaraú. . . . .	p. 87
6.9	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Granja. . . . .	p. 88
6.10	Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Barroquinha. . . . .	p. 89
6.11	Séries temporais de velocidade do vento a (a) 60m, (c) 40m e (e) 20m, e direção a (b) 60m e (d) 40m acima do nível do solo para a localidade de <b>Paracuru</b> , onde a curva em preto representa as observações, em vermelho os resultados do modelo com escala de tempo infinita do relaxamento newtoniano, em verde para 24h e em azul para 12h. . . . .	p. 91
6.12	Séries temporais de velocidade do vento a (a) 60m, (c) 40m e (e) 20m, e direção a (b) 60m e (d) 40m acima do nível do solo para a localidade de <b>Camocim</b> , onde a curva em preto representa as observações, em vermelho os resultados do modelo com escala de tempo infinita do relaxamento newtoniano, em verde para 24h e em azul para 12h. . . . .	p. 93
7.1	Campo de vento a 60m acima da superfície para a <b>Grade 3</b> , onde as cores indicam a intensidade, os vetores a direção, as curvas de nível da topografia são dadas em linha branca e divisões políticas em linha preta, referente a médias integradas para 0300Z (painel superior) e 0600Z (inferior) ao longo dos quatro dias simulados. . . . .	p. 100
7.2	Campo de vento a 60m acima da superfície para a <b>Grade 3</b> , onde as cores indicam a intensidade, os vetores a direção, as curvas de nível da topografia são dadas em linha branca e divisões políticas em linha preta, referente a médias integradas para 0900Z (painel superior) e 1200Z (inferior) ao longo dos quatro dias simulados. . . . .	p. 101



- 7.3 Campo de vento a 60m acima da superfície para a **Grade 3**, onde as cores indicam a intensidade, os vetores a direção, as curvas de nível da topografia são dadas em linha branca e divisões políticas em linha preta, referente a médias integradas para 1500Z (painel superior) e 1800Z (inferior) ao longo dos quatro dias simulados. . . . . p. 102
- 7.4 Campo de vento a 60m acima da superfície para a **Grade 3**, onde as cores indicam a intensidade, os vetores a direção, as curvas de nível da topografia são dadas em linha branca e divisões políticas em linha preta, referente a médias integradas para 2100Z (painel superior) e 2400Z (inferior) ao longo dos quatro dias simulados. . . . . p. 103
- 7.5 Campo de vento a 60m acima da superfície para a **Grade 4**, onde as cores indicam a intensidade, os vetores a direção, as curvas de nível da topografia são dadas em linha branca e divisões políticas em linha preta, referente a médias integradas, respectivamente de cima para baixo, para 0300Z, 0600Z, 0900Z e 1200Z, ao longo dos quatro dias simulados. . . . . p. 104
- 7.6 Campo de vento a 60m acima da superfície para a **Grade 4**, onde as cores indicam a intensidade, os vetores a direção, as curvas de nível da topografia são dadas em linha branca e divisões políticas em linha preta, referente a médias integradas, respectivamente de cima para baixo, para 1500Z, 1800Z, 2100Z e 2400Z, ao longo dos quatro dias simulados. . . . . p. 105

# *Lista de Tabelas*

2.1	Detalhes da configuração das grades usadas nas simulações, onde $N_x$ , $\Delta x$ , $C_x$ e $L_x$ são respectivamente o número de pontos, o espaçamento de grade, a coordenada do centro da grade e a extensão do domínio a direção longitudinal, $N_y$ , $\Delta y$ , $C_y$ e $L_y$ correspondem às mesmas definições para a direção meridional. $N_z$ , $\Delta z_0$ e $h$ são respectivamente o número de pontos verticais, o espaçamento inicial e a altitude da atmosfera modelada. . . . .	p. 26
2.2	Opções de parametrização de turbulência conforme apresentadas na lista de configurações do CSU RAMS 6.0. . . . .	p. 28
2.3	Opções de relaxamento newtoniano no centro da grade para as quais foram feitos testes de sensibilidade. . . . .	p. 33
3.1	Localização, altura do relevo em relação ao nível do mar, e grade do modelo na qual se encontram as Plataformas de Coleta de Dados da FUNCEME. . . .	p. 35
3.2	Índices estatísticos e seus respectivos escores. . . . .	p. 40
4.1	Estatística da intercomparação das opções de resolução horizontal de grade do modelo para a velocidade e direção do vento na localidade de Beberibe, onde $b$ é o Viés Estatístico, $A$ é o Erro Absoluto Médio, $E$ é o Erro Quadrático Médio, $R_\sigma$ é a razão entre os Desvios padrão, $A_d$ é o Erro Absoluto Médio dos desvios, $E_d$ é o Erro Quadrático Médio dos desvios, $I_c$ é o Índice de Concordância e $r$ é a Correlação. Para cada uma das opções avaliadas é dado também o total de escores obtidos. . . . .	p. 43
4.2	Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Aquiraz. . . . .	p. 44
4.3	Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Maranguape. . . . .	p. 45
4.4	Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Fortaleza. . . . .	p. 46
4.5	Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Caucaia. . . . .	p. 47
4.6	Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de São Gonçalo do Amarante. . . . .	p. 48

4.7	Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Pacajus. . . . .	p. 49
4.8	Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Acaraú. . . . .	p. 50
4.9	Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Granja. . . . .	p. 51
4.10	Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Barroquinha. . . . .	p. 52
4.12	Intercomparação estatística das opções de resolução horizontal para a TA de <b>Paracuru</b> , com resultados do Viés estatístico ( $b$ ), Erro Absoluto Médio ( $A$ ), Erro Quadrático Médio ( $E$ ), Desvios Padrão observado ( $\sigma_\psi$ ) modelado ( $\sigma_\phi$ ) e a razão entre eles ( $R_\sigma$ ), Erro Absoluto Médio dos desvios ( $A_d$ ), Erro Quadrático Médio dos desvios ( $E_d$ ), Índice de Concordância ( $I_c$ ) e Correlação ( $r$ ) entre observações de velocidade do vento em três níveis verticais (60m, 40m e 20m acima da superfície) e direção em dois (60m e 40m). . . . .	p. 55
4.14	Intercomparação estatística das opções de resolução horizontal para a TA de <b>Camocim</b> , com resultados do Viés estatístico ( $b$ ), Erro Absoluto Médio ( $A$ ), Erro Quadrático Médio ( $E$ ), Desvios Padrão observado ( $\sigma_\psi$ ) modelado ( $\sigma_\phi$ ) e a razão entre eles ( $R_\sigma$ ), Erro Absoluto Médio dos desvios ( $A_d$ ), Erro Quadrático Médio dos desvios ( $E_d$ ), Índice de Concordância ( $I_c$ ) e Correlação ( $r$ ) entre observações de velocidade do vento em três níveis verticais (60m, 40m e 20m acima da superfície) e direção em dois (60m e 40m). . . . .	p. 59
4.15	Opção de grade horizontal com maior quantidade de escores, por localidade (PCD) e variável. . . . .	p. 60
5.1	Estatística da intercomparação das parametrizações de turbulência para a velocidade e direção do vento na localidade de Beberibe, onde $b$ é o Viés Estatístico, $A$ é o Erro Absoluto Médio, $E$ é o Erro Quadrático Médio, $R_\sigma$ é a razão entre os Desvios padrão, $A_d$ é o Erro Absoluto Médio dos desvios, $E_d$ é o Erro Quadrático Médio dos desvios, $I_c$ é o Índice de Concordância e $r$ é a Correlação. Para cada uma das opções avaliadas é dado também o total de escores obtidos. . . . .	p. 64
5.2	Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Aquiraz. . . . .	p. 65
5.3	Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Maranguape. . . . .	p. 65
5.4	Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Fortaleza. . . . .	p. 66
5.5	Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Caucaia. . . . .	p. 67

5.6	Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de São Gonçalo do Amarante. . . . .	p. 68
5.7	Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Pacajus. . . . .	p. 69
5.8	Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Acaraú. . . . .	p. 70
5.9	Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Granja. . . . .	p. 71
5.10	Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Barroquinha. . . . .	p. 72
5.12	Intercomparação estatística das opções de parametrização de turbulência para a TA de <b>Paracuru</b> , com resultados do Viés estatístico ( $b$ ), Erro Absoluto Médio ( $A$ ), Erro Quadrático Médio ( $E$ ), Desvios Padrão observado ( $\sigma_\psi$ ) modelado ( $\sigma_\phi$ ) e a razão entre eles ( $R_\sigma$ ), Erro Absoluto Médio dos desvios ( $A_d$ ), Erro Quadrático Médio dos desvios ( $E_d$ ), Índice de Concordância ( $I_c$ ) e Correlação ( $r$ ) entre observações de velocidade do vento em três níveis verticais (60m, 40m e 20m acima da superfície) e direção em dois (60m e 40m). . . . .	p. 74
5.14	Intercomparação estatística das opções de parametrização de turbulência para a TA de <b>Camocim</b> , com resultados do Viés estatístico ( $b$ ), Erro Absoluto Médio ( $A$ ), Erro Quadrático Médio ( $E$ ), Desvios Padrão observado ( $\sigma_\psi$ ) modelado ( $\sigma_\phi$ ) e a razão entre eles ( $R_\sigma$ ), Erro Absoluto Médio dos desvios ( $A_d$ ), Erro Quadrático Médio dos desvios ( $E_d$ ), Índice de Concordância ( $I_c$ ) e Correlação ( $r$ ) entre observações de velocidade do vento em três níveis verticais (60m, 40m e 20m acima da superfície) e direção em dois (60m e 40m). . . . .	p. 77
5.15	Opção de parametrização de turbulência com maior quantidade de escores, por localidade (PCD) e variável. . . . .	p. 78
6.1	Estatística da intercomparação das escalas de tempo de relaxamento newtoniano do modelo para a velocidade e direção do vento na localidade de Beberibe, onde $b$ é o Viés Estatístico, $A$ é o Erro Absoluto Médio, $E$ é o Erro Quadrático Médio, $R_\sigma$ é a razão entre os Desvios padrão, $A_d$ é o Erro Absoluto Médio dos desvios, $E_d$ é o Erro Quadrático Médio dos desvios, $I_c$ é o Índice de Concordância e $r$ é a Correlação. Para cada uma das opções avaliadas é dado também o total de escores obtidos. . . . .	p. 80
6.2	Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Aquiraz. . . . .	p. 81
6.3	Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Maranguape. . . . .	p. 82
6.4	Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Fortaleza. . . . .	p. 83

6.5	Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Caucaia. . . . .	p. 84
6.6	Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de São Gonçalo do Amarante. . . . .	p. 85
6.7	Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Pacajus. . . . .	p. 86
6.8	Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Acaraú. . . . .	p. 87
6.9	Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Granja. . . . .	p. 88
6.10	Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Barroquinha. . . . .	p. 90
6.12	Intercomparação estatística das opções de relaxamento newtoniano para a TA de <b>Paracuru</b> , com resultados do Viés estatístico ( $b$ ), Erro Absoluto Médio ( $A$ ), Erro Quadrático Médio ( $E$ ), Desvios Padrão observado ( $\sigma_\psi$ ) modelado ( $\sigma_\phi$ ) e a razão entre eles ( $R_\sigma$ ), Erro Absoluto Médio dos desvios ( $A_d$ ), Erro Quadrático Médio dos desvios ( $E_d$ ), Índice de Concordância ( $I_c$ ) e Correlação ( $r$ ) entre observações de velocidade do vento em três níveis verticais (60m, 40m e 20m acima da superfície) e direção em dois (60m e 40m). . . . .	p. 92
6.14	Intercomparação estatística das opções de relaxamento newtoniano para a TA de <b>Camocim</b> , com resultados do Viés estatístico ( $b$ ), Erro Absoluto Médio ( $A$ ), Erro Quadrático Médio ( $E$ ), Desvios Padrão observado ( $\sigma_\psi$ ) modelado ( $\sigma_\phi$ ) e a razão entre eles ( $R_\sigma$ ), Erro Absoluto Médio dos desvios ( $A_d$ ), Erro Quadrático Médio dos desvios ( $E_d$ ), Índice de Concordância ( $I_c$ ) e Correlação ( $r$ ) entre observações de velocidade do vento em três níveis verticais (60m, 40m e 20m acima da superfície) e direção em dois (60m e 40m). . . . .	p. 94
6.15	Opção de escala de tempo do relaxamento newtoniano com maior quantidade de escores, por localidade (PCD) e variável. . . . .	p. 95

# *1 Introdução*

Mais difundidos pela capacidade de produzir previsões quantitativas de tempo, os modelos numéricos de mesoescala têm uma vasta aplicabilidade. Atualmente diversos centros de pesquisa pelo mundo mantêm operacionalmente algoritmos para inúmeras aplicações, como na agricultura, turismo, recursos hídricos, dentre outras de cunho sócio-econômico ou científico. No Brasil, em escala nacional, é reconhecida a experiência acumulada por centros como CPTEC/INPE e INMET. No Ceará, em escala regional, atua a FUNCEME, cuja primeira experiência com previsão numérica de tempo se dá com Silva et al. (1996a, 1996b), ao mesmo tempo em que eram desenvolvidos estudos relacionados à circulação em mesoescala (COSTA et al., 1996a, 1996b; COSTA; MENDES, 1996), sendo esta experiência posteriormente empregada em modelagem de clima (MONCUNILL et al., 2002; ALVES et al., 2003) para o Nordeste brasileiro.

As fontes alternativas de energia também se beneficiam desta ferramenta, seja através da confecção de um atlas solarimétrico, que requer estimativas de incidência de radiação na superfície, ou seja com a avaliação da produtividade de oleaginosos, através de índices de precipitação, para produção de biocombustíveis. A eólica, destacada pelo seu baixo impacto ambiental, é outra fonte de energia que pode se beneficiar das informações meteorológicas em geral, e da previsão numérica de tempo via modelos de mesoescala, em particular.

Esse tipo de ferramenta já é usado há bastante tempo na elaboração de atlas eólicos (por exemplo, Amarante et al. (2001)), por meio da estimativa dos campos de vento e conseqüente avaliação do potencial energético. Mas o emprego desses modelos não se resume a tanto. Uma das principais dificuldades na introdução da eólica como fonte de energia é a incapacidade do homem de controlar o vento, que seria fundamental no gerenciamento da produção e distribuição de energia. Com a possibilidade da previsão em curto e médio prazo de ventos (e da vazão nos afluentes dos reservatórios do sistema hidrelétrico), pode-se otimizar o gerenciamento do sistema por meio da maximização no aproveitamento da energia eólica e resultante economia da energia hidrelétrica. Em aditivo, o uso desse tipo de ferramenta é capaz de aumentar o valor agregado da energia eólica, ao transforma-la num recurso mais confiável.

A previsão de ventos para geração de energia eólica não é uma novidade. Ao longo dos anos a necessidade vem alimentando o interesse nesse tema, o que resultou no desenvolvimento de métodos construídos com diferentes princípios (GIEBEL et al., 2003), inclusive com exemplos de uso comercial e operacional (FOCKEN et al., 2002; SÁNCHEZ et al., 2002; JÖRGENSEN et al., 2002). A estimativa de ventos de boa qualidade no estado do Ceará (AMARANTE, 2001) estimula o interesse de investidores dispostos a entrar no ramo, e uma ferramenta assim garantiria a rentabilidade almejada.

Para este propósito estão disponíveis vários códigos desenvolvidos independentemente, dentre os quais se destacam o *PSU/NCAR Mesoscale Model – MM5* (GRELL et al., 1995), o modelo *ETA* (BLACK, 1994), o *Advanced Regional Prediction System – ARPS* (XUE et al., 2000, 2001), o *Weather Research and Forecast Model – WRF* (SKAMAROCK et al., 2005) e o *Regional Atmospheric Modeling System – RAMS* (PIELKE et al., 1992; COTTON et al., 2003), cada um com suas limitações e competências. Dada a experiência local já mencionada no primeiro parágrafo, foi escolhido este último, na versão 6.0. Trata-se de um modelo adequado às necessidades e restrições impostas pela aplicação para a qual é pretendido, particularmente no que se refere à representação fiel dos campos de vento, que requer a utilização de grades horizontais em alta resolução para a obtenção de resultados satisfatórios.

A determinação da melhor configuração deste modelo numérico dependeria de testes de sensibilidade a quase todos os parâmetros, onde a influência de cada um deles nos resultados tem diferente peso. Dada a grande quantidade de opções oferecidas e o pequeno efeito nos resultados de alguns deles, devem ser feitos apenas os testes mais relevantes ao estudo que se pretende fazer. Seguindo esta idéia, é apresentada neste trabalho uma comparação entre opções de espaçamento de grade horizontal, parametrizações de turbulência e relaxamento newtoniano (*nudging*), por terem grande efeito na representação dos campos de vento.

A metodologia estatística apresentada permite a escolha objetiva das melhores opções dentre as testadas. Sem ela, as comparações estariam sujeitas a critérios por vezes subjetivos demais para propiciar uma escolha justa, o que daria margem a um possível resultado incorreto para a melhor configuração do modelo.

Os testes de sensibilidade contam com simulações efetuadas com diferentes opções para cada parâmetro do modelo, destinadas a representar campos de vento em regiões do litoral cearense no período de transição do regime de ventos. Na avaliação de cada parâmetro, muda-se apenas a opção cuja sensibilidade do modelo se pretende aferir, mantendo-se idênticas todas as demais. Com isso, é esperado que os resultados do modelo sejam afetados exclusivamente pela opção em questão.

Neste trabalho, três parâmetros do modelo são examinados – espaçamento da grade horizontal, parametrizações de turbulência, e relaxamento newtoniano no centro da grade (*nudging* central), nesta seqüência, conforme o diagrama da Figura 1.1. Para que possa ser testado, cada um deles tem que oferecer no mínimo duas opções de configuração. Para o espaçamento da grade horizontal, uma incontável quantidade de opções possíveis é oferecida pelo modelo, visto tratar-se de um parâmetro totalmente customizável. Quanto as parametrizações de turbulência, são oferecidas seis opções e a possibilidade de escolha de opções diferentes para grades diferentes. O relaxamento newtoniano no centro da grade permite diferentes valores para diferentes grades, e admite qualquer valor real não-negativo, dando ao usuário infinitas possibilidades de configuração. Os detalhes sobre o modelo e as opções usadas nos testes são dados no Capítulo 2.

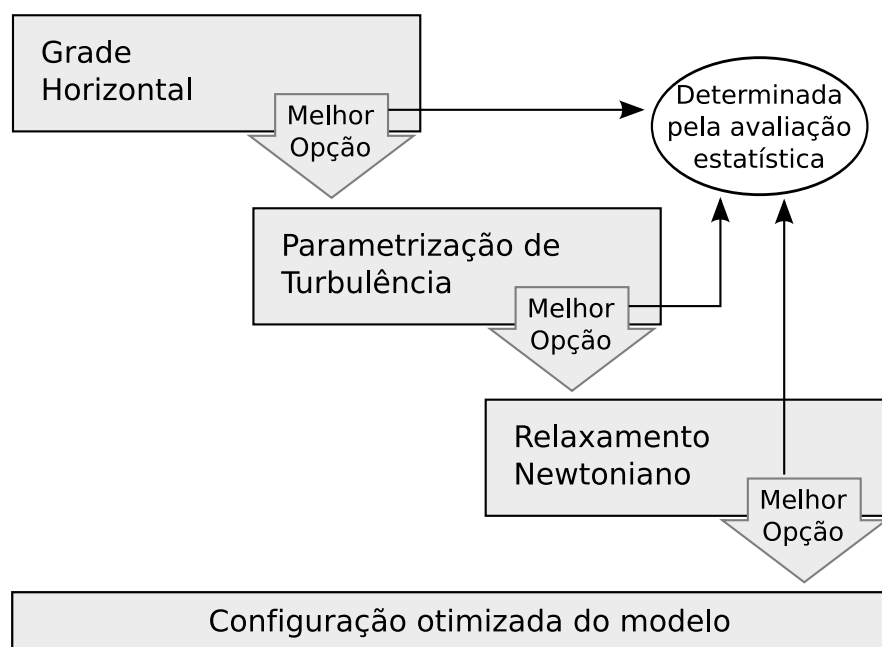


Figura 1.1: Seqüência de testes de sensibilidade do modelo.

O ponto de partida para os testes é o trabalho de Maria et al. (2006), onde são mostrados bons resultados para o período e região escolhidos no presente estudo, com as respectivas opções utilizadas. Os testes dos parâmetros são feitos de forma sucessiva, seguindo a seqüência supracitada, de tal maneira que a opção que apresenta melhores resultados é usada nos testes do parâmetro seguinte, permitindo a obtenção progressiva de melhorias nos resultados.

A escolha da melhor opção é feita aplicando-se uma metodologia especialmente desenvolvida para este trabalho, baseada em grandezas estatísticas amplamente difundidas e utilizadas. Em alguns casos, esta decisão pode ser tomada por meio de uma simples análise visual das séries temporais modeladas em relação às observadas. Porém, há casos em que este procedimento pode se tornar insuficientemente objetivo, requerendo um recurso de avaliação mais



preciso, e é nestes casos que a presente metodologia deve se mostrar particularmente útil.

Os testes de sensibilidade têm como resultado uma lista otimizada de parâmetros do modelo, empiricamente determinada, que pode ser utilizada em trabalhos subseqüentes com fins diversos, como estimativas de potencial eólico da região ou desenvolvimento de ferramentas de previsão de geração de Energia Eólica.

No Capítulo 2 é apresentado o modelo numérico, elemento fundamental deste trabalho, com descrições mais detalhadas dos parâmetros para os quais são feitas intercomparações, e especificações das rodadas. No Capítulo 3 é descrita a metodologia estatística usada como critério para escolha da melhor opção, em cada parâmetro. Nos Capítulos 4 ao 6 são mostrados os resultados do modelo, avaliado com dados observacionais, referente à sensibilidade aos parâmetros examinados. Conclusões e considerações, além da exposição de mapas de contorno dos campos de vento produzidos com as melhores configurações, são feitas no Capítulo 7.

## 2 *O modelo numérico*

No presente estudo foi utilizado o modelo RAMS 6.0 (COTTON et al., 2003; PIELKE et al., 1992), configurado para simular o intervalo de tempo entre 01-JAN-2005 00:00Z a 05-JAN-2005 06:00Z, referente a parte do período de transição do regime de vento, com o objetivo de representar quatro ciclos diários para uma razoável caracterização dos padrões locais de vento.

Trata-se de um modelo largamente aplicado e aceito pela comunidade, seja para pesquisas científicas ou operacionalmente para previsões numéricas de tempo em instituições dedicadas ao assunto, capaz de reproduzir grande parte dos diversos e mais relevantes fenômenos atmosféricos (COTTON et al., 2003; PIELKE et al., 1992).

Tendo em vista a máxima eficiência do código, são empregados variados esquemas de diferenciação para solução das equações pelo método das diferenças finitas. Para o modelo não-hidrostático, a diferenciação no tempo pode ser feita com um esquema avançado-recuado de primeira ordem, um esquema *leapfrog*, ou um esquema híbrido, no qual as variáveis termodinâmicas são diferenciadas de forma avançada e pressão e velocidade são diferenciadas com *leapfrog*. Todos estes métodos incluem o *time-split* acústico, onde os passos de tempo são subdivididos para solução da propagação das ondas sonoras (WALKO; TREMBACK, 2001).

O modelo ainda inclui opções para parametrização de radiação, tendo sido usado o esquema proposto por Harrington (1997), chamado a cada 20min, tanto para ondas curtas quanto para ondas longas, com variação longitudinal ativada; convecção, neste trabalho resolvida com a modificação da formulação de Kuo proposta por (TREMBACK, 1990), ativada apenas na primeira grade, para a qual o algoritmo era chamado a cada 20min; microfísica de nuvens conforme proposto por Walko et al. (1995), com 5 fases de gelo; fluxos superficiais e interação com o solo, resolvidos com o submodelo LEAF2 (WALKO et al., 2000) em onze camadas. Parametrizações de turbulência são dadas na seção 2.2. A lista de configurações usadas no modelo é dada no Apêndice A.

As simulações foram inicializadas com dados de grande escala do modelo global do CPTEC ([www.cptec.inpe.br](http://www.cptec.inpe.br)), que tem espaçamento de grade de  $1,8^\circ$  e valores para cada 6h. O relax-

amento newtoniano nas laterais feito em 5 pontos começando numa escala de 20min, enfraquecendo de fora para dentro da grade maior. No centro, o relaxamento foi feito numa escala de 12h. Os dados de topografia, temperatura da superfície do mar, índice normalizado de vegetação (NDVI) e uso do solo foram coletados no sítio de apoio ao modelo RAMS (atmet.com).

## 2.1 Grades horizontais

No modelo RAMS é utilizado o tipo C de Arakawa (MESINGER; ARAKAWA, 1976), no qual as variáveis termodinâmicas e umidade são definidas no mesmo ponto, e as componentes do vetor velocidade,  $u$ ,  $v$  e  $w$ , são dispostas nos pontos médios de cada caixa de grade.

Para a obtenção de resoluções horizontais maiores é empregada a técnica de aninhamento de grades, conforme descrita por Clark e Farley (1984). Esta técnica consiste em refinar o espaçamento da grade em determinadas regiões de um domínio inicialmente configurado. No RAMS, um número de aninhamentos limitado apenas pela capacidade computacional pode ser configurado. Também são permitidos aninhamentos na vertical, mas tal recurso não foi utilizado neste trabalho. A troca de informações é bidirecional, ou seja, os resultados da grade mais grossa servem de referência para as grades mais finas, que por sua vez alimentam a grade externa com os valores atualizados.

Na lista de configurações, todas as grades são definidas na mais grossa, também mais externa. Inicialmente, devem ser informados o número de grades, a quantidade de pontos nas direções meridional e longitudinal, todos consistindo de números naturais. Em seguida, são especificados os níveis de aninhamento. Por fim, são dadas as razões de aninhamentos, referente a quantas vezes o espaçamento da grade mais externa é maior que o da grade que dela depende.

A principal motivação desses testes é verificar que resoluções mais altas produzem resultados mais realistas. Daí optou-se por avaliar o desempenho de três diferentes opções de grade, todas derivadas das especificações apresentadas por Maria et al. (2006). A partir da configuração que inclui grades com espaçamento em 1Km, foram aproveitadas as definições para as grades mais grossas.

Quatro grades horizontais são empregadas, em dois níveis de aninhamento, sendo 20Km o espaçamento e 30s o passo de tempo da primeira, 5Km o espaçamento e 10s o passo de tempo da segunda (aninhada à primeira) e 1Km o espaçamento e 2s o passo de tempo das duas últimas (aninhadas à segunda), cobrindo, respectivamente, grande parte da região Nordeste brasileira e o trecho adjacente do Oceano Atlântico, o norte do estado do Ceará, o litoral ao redor da capital Fortaleza, e o litoral norte do estado. O posicionamento e dimensionamento das grades

mais finas foi em parte motivado pela distribuição espacial das estações de coleta de dados observados. As grades estão representadas na Figura 2.1 e mais detalhes sobre as configurações podem ser consultados na Tabela 2.1.

G	$N_x$	$N_y$	$N_z$	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z_0$	$C_x$	$C_y$	$L_x$	$L_y$	$h$
1	100	100	32	20Km	20Km	60m	-5,67	-40,33	2000Km	2000Km	22668,3
2	114	82	32	5Km	5Km	60m	-3,55	-39,64	570Km	570Km	22668,3
3	122	122	32	1Km	1Km	60m	-3,87	-38,59	122Km	122Km	22668,3
4	152	67	32	1Km	1Km	60m	-2,98	-40,56	150Km	67Km	22668,3

Tabela 2.1: Detalhes da configuração das grades usadas nas simulações, onde  $N_x$ ,  $\Delta x$ ,  $C_x$  e  $L_x$  são respectivamente o número de pontos, o espaçamento de grade, a coordenada do centro da grade e a extensão do domínio a direção longitudinal,  $N_y$ ,  $\Delta y$ ,  $C_y$  e  $L_y$  correspondem às mesmas definições para a direção meridional.  $N_z$ ,  $\Delta z_0$  e  $h$  são respectivamente o número de pontos verticais, o espaçamento inicial e a altitude da atmosfera modelada.

## 2.2 Parametrizações de turbulência

Parametrizar a turbulência se faz necessário pela inexistência de solução analítica da equação de Navier-Stokes – que trata de forma completa escoamentos turbulentos. Negligenciar os efeitos da turbulência num modelo de mesoescala produz resultados insatisfatórios. Neste sentido foram desenvolvidos ao longo dos anos esquemas numéricos para solução aproximada da equação de Navier-Stokes, onde, nos mais adequados a modelos de mesoescala, são aplicadas as médias de Reynolds, e definidas expressões que aproximam os termos de flutuação resultantes em função de variáveis conhecidas.

No modelo RAMS 6.0 estão disponíveis, por padrão, 6 opções de parametrização de turbulência, que se adequam a diferentes escalas espaciais, sendo elas Mellor e Yamada (1974), Smagorinsky (1963) isotrópico e anisotrópico, Deardorff (1980) e duas opções por Castelli et al. (2001), denominados  $E - l$  e  $E - \epsilon$ . A Tabela 2.2 expõe as opções conforme apresentadas na *namelist* do modelo. Destas opções, 4 foram usadas na avaliação ( $IDIFFK = 1; 2; 4; 5$ ), tendo duas delas (parametrizações de Deardorff (1980) e Castelli et al. (2001)) produzido resultados ruidosos tanto no espaço quanto no tempo e, portanto, eliminadas da avaliação.

As parametrizações de Mellor & Yamada e Smagorinsky anisotrópico foram usadas em todas as grades do modelo, enquanto Deardorff e Trini-Castelli  $E - l$  apenas nas duas grades com 1Km de espaçamento. Nas grades mais grossas das simulações ditas parametrizadas com estas duas últimas opções, foi empregado o esquema de Mellor & Yamada. Isso se fez necessário após o modelo não funcionar com a mesma parametrização em todas as grades. Com este artifício,

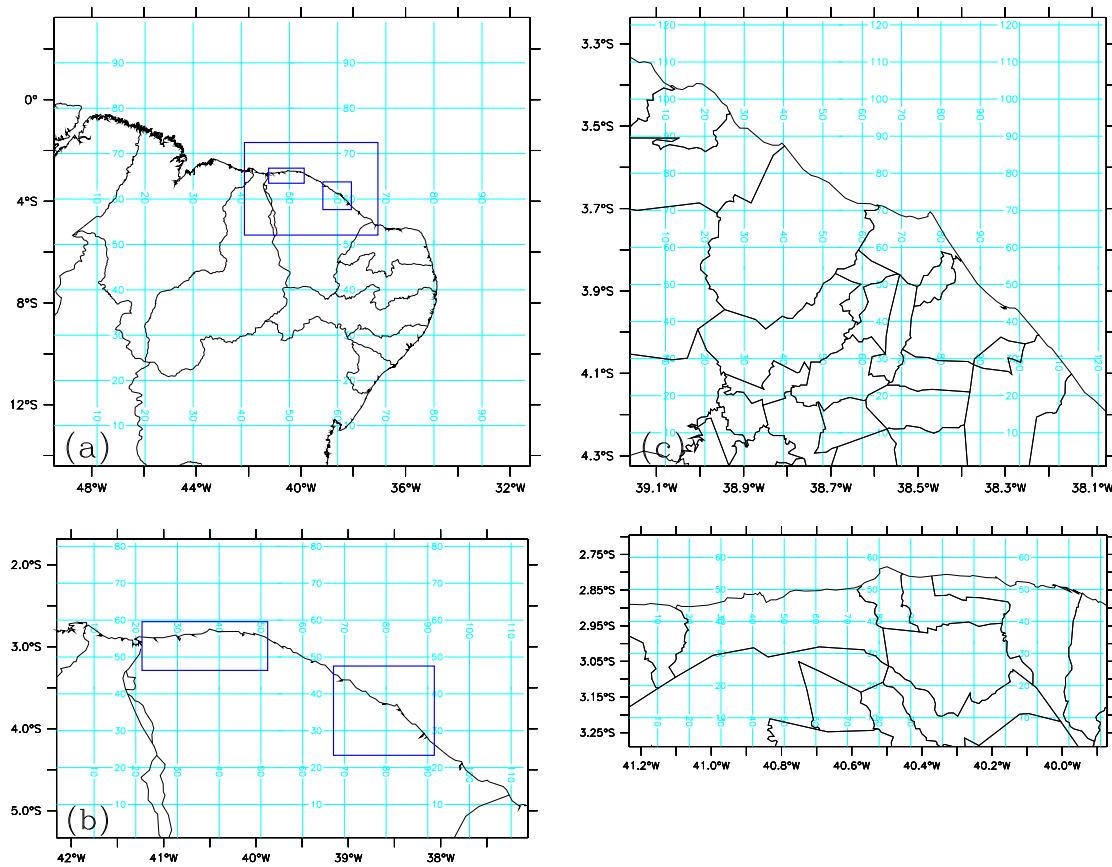


Figura 2.1: Representação das grades usadas nas simulações, onde (a) é a Grade 1, (b) é a Grade 2 aninhada à primeira, (c) é a Grade 3 aninhada à segunda e (d) é a Grade 4 também aninhada à segunda. Nos mapas, linhas em azul-claro traçadas a cada 10 pontos de grade.

estas opções apresentaram resultados ruidosos nas séries temporais e padrões espaciais de  $2\Delta x$ , indicando instabilidade numérica, o que sugere uma má utilização dos esquemas numéricos.

A versão isotrópica do esquema de Smagorinsky, opção 3, não participou dos testes por não se aplicar ao caso estudado, visto que requer iguais espaçamentos de grade horizontal e vertical. A versão  $E - \epsilon$  da parametrização de Trini-Castelli não funcionou mesmo com Mellor & Yamada nas grades mais grossas.

No que se refere à construção das parametrizações, são aplicadas as médias de Reynolds para decomposição das equações diferenciais prognósticas para escalares e momentum em duas partes, uma resolvida e outra não. As partes não resolvidas são expressas na forma de covariâncias. As tendências das variáveis resolvidas recebem contribuição do transporte não resolvido dada pela convergência dos fluxos turbulentos:

IDIFFK =	Descrição
1	Mellor & Yamada
2	Smagorinsky, deformação anisotrópica
3	Smagorinsky, deformação isotrópica
4	Deardorff (mesmos espaçamentos para horizontal e vertical)
5	Castelli, $E - l$ (mesmos espaçamentos para horizontal e vertical)
6	Castelli, $E - \epsilon$ (mesmos espaçamentos para horizontal e vertical)

Tabela 2.2: Opções de parametrização de turbulência conforme apresentadas na lista de configurações do CSU RAMS 6.0.

$$\left. \frac{\partial u_i}{\partial t} \right|_{turb} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \overline{u'_i u'_j} \right) \quad (2.1)$$

para componentes da velocidade, e

$$\left. \frac{\partial \phi}{\partial t} \right|_{turb} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \overline{u'_i \phi'} \right) \quad (2.2)$$

para escalares, onde é usada a notação de Einstein para somatórios.

Os termos não resolvidos são parametrizados por meio da teoria do transporte gradiente, ou teoria K, que trata matematicamente a difusividade turbulenta de maneira análoga à difusividade molecular (STULL, 1988), permitindo escrever

$$\overline{u'_i \phi'} = -K_h \left( \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right) \quad (2.3)$$

e

$$\overline{u'_i u'_j} = -K_{mi} \left( \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right), \quad (2.4)$$

onde  $K_h$  e  $K_{mi}$  são os coeficientes de difusividade turbulenta para variáveis escalares e momentum, respectivamente. Estes valores são, na prática, a medida da eficiência da difusão produzida pela turbulência, não sendo, portanto propriedade do fluido, mas sim do escoamento. Costumam assumir valores várias ordens de grandeza maiores que os coeficientes de difusão molecular.

Havendo simetria nas componentes do tensor de estresse de Reynolds, pode-se afirmar que  $K_{mi} = K_{mj}$ , pois  $\overline{u'_i u'_j} = \overline{u'_j u'_i}$ . Esta é uma propriedade física importante de um escoamento, e sua violação por modelos numéricos equivale à aplicação de forças fictícias.

Entretanto, por questões de praticidade, a simetria entre as direções horizontais e vertical não é mantida. Isto se dá porque espaçamentos horizontais de grade costumam ser bem maiores que os verticais, o que previne a ocorrência de forças fictícias horizontais. Não obstante, o coeficiente de difusividade turbulenta assume magnitudes maiores para grades mais grossas, garantindo a estabilidade numérica. Com isso, a equação 2.4 passa a ser usada apenas para as direções horizontais quando com espaçamentos relativamente grandes, e sempre que os índices  $i$  ou  $j$  valem 3 se aplica a seguinte expressão:

$$\overline{u'_i u'_j} = -K_{mi} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (2.5)$$

Espaçamentos de grade horizontais grandes em relação aos verticais são considerados na parametrização por deformação anisotrópica proposta por Smagorinsky, aplicada nos testes de sensibilidade deste trabalho. Nestes casos, o coeficiente de difusão turbulenta dos escalares é dado por

$$K_h = -R_{hm} K_{mi} \quad (2.6)$$

onde  $R_{hm}$  é um valor especificado, referente à razão entre os coeficientes escalares e de momentum. Para o coeficiente de difusividade turbulenta na horizontal, Lima (2004) fornece o seguinte resultado para a manipulação feita nas equações apresentadas por Walko e Tremback (2001):

$$K_{mi} = (cs_x \Delta x)^2 |D_h| \quad (2.7)$$

para a qual  $\Delta x$  é o espaçamento da grade horizontal,  $cs_x$  é coeficiente de ajuste, e  $|D_h|$  é a norma do tensor deformação, quando se considera apenas as componentes horizontais:

$$|D_h| = \sqrt{2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2} \quad (2.8)$$

Na prática, adota-se um valor mínimo para estes coeficiente:

$$K_{mi} = 0,075 K_A (\Delta x)^{4/3} \quad (2.9)$$

onde  $K_A$  é um coeficiente de ordem 1 especificado pelo usuário.

Para a vertical, o coeficiente de difusividade é da forma usada no caso isotrópico:

$$K_m = \rho (C_z \Delta z)^2 \left[ S_1 + F_H \sqrt{\max(0, -F_B)} \right] \sqrt{\max(0, 1 - R_{hm} R_i)} \quad (2.10)$$

onde  $S_1$  é dado por

$$|D_1| = \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.11)$$

$F_B$  é a frequência de Brunt-Vaisala (HILL, 1974),  $R_i$  é o número de Richardson (LILLY, 1962),  $R_{hm}$  é a razão entre os coeficientes escalares e de momentum dada pela equação 2.6, e  $F_H$  é um parâmetro opcional, que pode valer 0 ou 1.

Referindo-se à parametrização baseada na energia cinética turbulenta, o esquema proposto por Mellor e Yamada (1974) passa por pequenas modificações e adaptações até atingir a forma implementada no modelo RAMS (HELFAND; LABRAGA, 1988; WALKO; TREMBACK, 2001). Trata-se de uma técnica de ordem 2.5 que usa os campos de vento horizontais, temperatura potencial e energia cinética turbulenta fornecidos pelo modelo.

Dada a energia cinética turbulenta ( $e$ ),

$$e = \frac{1}{2} \left( \overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2} \right), \quad (2.12)$$

pode-se prognostica-la com o uso da equação:

$$\frac{\partial e}{\partial t} = -u \frac{\partial e}{\partial x} - v \frac{\partial e}{\partial y} - w \frac{\partial e}{\partial z} + \frac{\partial K_e}{\partial x} \frac{\partial e}{\partial x} + \frac{\partial K_e}{\partial y} \frac{\partial e}{\partial y} + \frac{\partial K_e}{\partial z} \frac{\partial e}{\partial z} + P_S + P_b + \varepsilon \quad (2.13)$$

onde  $P_S$  é o termo de produção de cisalhamento,

$$P_S = K_m \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right], \quad (2.14)$$

$P_b$  é o termo de produção de empuxo,

$$P_b = -\frac{g}{\theta} K_h \frac{\partial \theta_v}{\partial z}, \quad (2.15)$$

e  $\varepsilon$  é o termo de dissipação, dado por



$$\varepsilon = a_e \frac{e^{3/2}}{l} . \quad (2.16)$$

Nas Equações 2.14, 2.15 e 2.16,  $K_m$ ,  $K_h$  e  $K_e$  são, respectivamente, os coeficientes de difusividade turbulenta para o momentum, o calor e para a energia cinética turbulenta (TKE), dados pelas expressões

$$K_m = S_m l \sqrt{2e} \quad (2.17)$$

$$K_h = S_h l \sqrt{2e} \quad (2.18)$$

$$K_e = S_e l \sqrt{2e} . \quad (2.19)$$

Nas Equações 2.17, 2.18 e 2.19 aparecem as difusividades turbulentas adimensionais  $S_m$ ,  $S_h$  e  $S_e$ , além da escala de comprimento turbulenta  $l$ .

A escala de comprimento turbulenta  $l$  é

$$l = \frac{\kappa(z+z_0)}{1 + \kappa(z+z_0)/l} \quad (2.20)$$

onde

$$l_\infty = 0,1 \frac{\int_0^H z \sqrt{e} dz}{\int_0^H \sqrt{e} dz} \quad (2.21)$$

e um limite superior para condições estáveis, sugerido por André et al. (1978), é usado:

$$l \leq 0,75 \left[ \frac{2e}{\left( \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)} \right]^{1/2} \quad (2.22)$$

Na Equação 2.20,  $\kappa$  é a constante de Von Karman e  $z_0$  é o comprimento de rugosidade.

As difusividades turbulentas adimensionais são dadas a partir dos gradientes verticais de temperatura e velocidade, e de constantes empíricas:

$$S_m = \frac{A_1 \{1 - 3C_1 - 3A_2 [B_2 (1 - 3C_1) - 12A_1 C_1 - 3A_2] G_h\}}{1 - 3A_2 (7A_1 + B_2) G_h + 27A_1 A_2^2 (4A_1 + B_2) G_h^2 + 6A_1^2 [1 - 3A_2 (B_2 - 3A_2) G_h] G_m} \quad (2.23)$$

$$S_h = A_2 \frac{1 - 6A_1 S_m G_m}{1 - 3A_2 (4A_1 + B_2) G_h} \quad (2.24)$$

onde as expressões adimensionais para o gradientes verticais são dadas por

$$G_u = \frac{l}{\sqrt{2e}} \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2.25)$$

$$G_v = \frac{l}{\sqrt{2e}} \frac{\partial v}{\partial z} \quad (2.26)$$

$$G_m = G_u^2 + G_v^2 \quad (2.27)$$

$$G_h = -\frac{g}{\theta} \frac{l^2}{2e} \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (2.28)$$

e, de acordo com Mellor e Yamada (1982), as constantes empíricas são  $A_1 = 0,92$ ,  $A_2 = 0,74$ ,  $B_1 = 16,6$ ,  $B_2 = 10,1$ ,  $C_1 = 0,08$ ,  $S_e = 0,20$  e  $a_e = 2^{2/3}/16,6$ .

## 2.3 Relaxamento newtoniano

A técnica do relaxamento newtoniano (comumente denominada *nudging*) é utilizada quando se deseja que os resultados das equações do modelo sejam forçadas a tender a um outro resultado já conhecido, onde se trabalha com assimilação de dados. Com isso, é possível fazer uma previsão tender aos resultados coletados por estações de superfície ou fazer com que os cálculos modelo regional não se distanciem muito dos produzidos por um modelo global.

Sendo  $x$  uma variável qualquer do modelo, têm-se de forma simplificada:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = F(x) + N(x, y, z, t) \cdot \frac{x_0 - x}{\tau}, \quad (2.29)$$

onde  $F(x)$  é a física do modelo,  $\tau$  é uma escala de tempo característica,  $N(x, y, z, t)$  é o peso do relaxamento (que não é necessariamente variável em  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ou  $t$ ) e  $x_0$  é a o valor para o qual se quer fazer o resultado tender, que pode ser dado por uma observação ou outro modelo. Neste caso, o controle da intensidade do relaxamento pode ser feito simultaneamente pelo ajuste da escala de tempo  $\tau$  e pelo peso  $N$ .

Davies (1983) discute a necessidade desta técnica apoiado na experiência acumulada com modelagem em mesoescala, argumentando que a correta especificação das condições de fronteira está diretamente ligada ao aumento da acurácia do modelo.

O modelo RAMS admite a assimilação de dados observados, e de grande escala produzidos por modelos globais, desde que seja feito o devido ajuste desses dados para que possam ser acessados pelo modelo. Para o segundo caso, pode-se informar ao modelo, separadamente, a escala de tempo para relaxamento em diferentes regiões da grade, sendo elas o topo, as fronteiras laterais e o centro da grade.

Para cada região há um método diferente de implementação do relaxamento. Nas laterais da grade mais externa o relaxamento é feito gradualmente de fora para dentro, descrevendo um perfil parabólico tal que o valor da escala de tempo é mínimo na borda e tende ao infinito no ponto mais interno (DAVIES, 1976). Aqui, são fornecidos pelo usuário o valor inicial da escala de tempo e o número de pontos de grade em que a potenciação é feita. No topo, é definida pelo usuário uma altitude (inferior ao topo da atmosfera modelada) a partir da qual o relaxamento passa a ficar, linearmente, mais intenso, até que seja atingido o topo (WALKO; TREMBACK, 2001). Como se não fosse bastante, o modelo permite que se defina o peso para variáveis específicas individualmente, como as componentes horizontais do vento, temperatura potencial, função de Exner e razão de mistura de água.

Para o relaxamento newtoniano feito no centro da grade, permite-se que o usuário informe tanto a escala de tempo quanto o peso. Ambas essas informações podem assumir valores reais não-negativos. O valor da escala de tempo vale para as quatro grades, enquanto o peso pode ser atribuído com diferentes valores entre as grades.

Nas simulações efetuadas para este trabalho, apenas o peso do *nudging* central da grade mais externa foi alterado. Para as demais grades foi atribuído peso nulo, em todos os testes. A hierarquia das grades faz com que o relaxamento feito para a grade mais externa seja herdado pelas grades mais internas. Desta forma, só valores maiores que o da primeira grade para peso do *nudging* afetariam o resultado. Na Tabela 2.3 são dados os valores de escala de tempo e peso usados na primeira grade de cada simulação.

Escala de tempo do modelo ( $\tau$ )	Peso ( $N$ )	Escala de tempo efetiva
86400s (24h)	2,0	12h
86400s (24h)	1,0	24h
86400s (24h)	0,0	infinita

Tabela 2.3: Opções de relaxamento newtoniano no centro da grade para as quais foram feitos testes de sensibilidade.

Apesar de usar a mesma escala de tempo para as três simulações, o ajuste do peso funciona como regulador da intensidade do relaxamento, de maneira que seria equivalente manter o mesmo peso para todas as simulações e atribuir o valor que se quisesse para a escala de tempo.

### ***3 Dados observacionais e análise estatística***

A estatística desempenha um papel fundamental neste trabalho, ao lado da modelagem atmosférica, propiciando uma avaliação consistente e coerente dos resultados das simulações. Neste capítulo são descritas as observações usadas na verificação do modelo numérico e são apresentadas em detalhes as técnicas estatísticas adotadas para tal verificação.

#### **3.1 Dados observados**

Através de dados observados podem ser feitas avaliações e correções estatísticas dos resultados de modelos numéricos. Existem diversas maneiras de se obter observações, como sensoriamento remoto, rádio-sondagens e medições pontuais das variáveis atmosféricas – estas últimas são usada no presente trabalho, na forma de séries temporais.

Dois tipos de estações de coleta foram usados na composição dos dados observados. O primeiro tipo consiste das Torres Anemométricas (TAs) (BMC, 2004b, 2004a) instaladas em pontos litorâneos pelo governo do estado do Ceará para estimativa de potencial em duas localidades. Paracuru (Datun SAD69:  $3^{\circ}24'42,4''S$  e  $38^{\circ}59'02,8''W$ ) e Camocim (Datun SAD69:  $02^{\circ}51'56,7''S$  e  $40^{\circ}53'09,2''W$ ). Nelas a velocidade do vento é medida em 3 altitudes diferentes (60m, 40m e 20m acima do nível do solo), a cada dois segundos, e feito o registro, pelo anemógrafo, a cada 10min, da média e desvio padrão. A direção é medida em duas altitudes (60m e 40m acima do nível do solo), com registros de médias a cada 10min. Estas campanhas duraram pouco mais de um ano cada.

O outro tipo se trata das Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Instaladas em todo o território cearense com propósitos gerais, estas estações coletam, dentre outras variáveis, velocidade e direção do vento a 10m de altitude e a cada 10min, com registro de médias a cada hora por anemógrafos remotamente programáveis (MENDES et al., 2004). Das 71 PCDs existentes, 10 são usadas

aqui. Na Tabela 3.1 são dados detalhes sobre localização das estações.

Localidade	Latitude	Longitude	Relevo	Grade
Beberibe	04°14'29,9"S	38°12'05,3"W	31,46m	3
Aquiraz	04°00'22,7"S	38°23'21,7"W	46,30m	3
Maranguape	03°59'06,1"S	38°47'17,5"W	163,00m	3
Fortaleza	03°43'44,0"S	38°33'50,0"W	4,26m	3
Caucaia	03°44'16,1"S	38°41'04,2"W	38,79m	3
São Gonçalo do Amarante	03°39'00,8"S	38°56'32,6"W	63,08m	3
Pacajus	04°11'24,0"S	38°29'54,2"W	91,22m	3
Acaraú	02°52'35,4"S	39°59'33,4"W	7,78m	4
Granja	03°09'53,2"S	40°51'40,6"W	39,73m	4
Barroquinha	02°55'48,2"S	41°07'07,3"W	5,39m	4

Tabela 3.1: Localização, altura do relevo em relação ao nível do mar, e grade do modelo na qual se encontram as Plataformas de Coleta de Dados da FUNCEME.

A distribuição espacial das TAs e das PCDs foi usada como critério importante na configuração das grades do modelo, de forma que cada uma das grades mais finas conteria uma TA e o maior número possível de PCDs. Na Figura 3.1, temos a localização relativa de cada estação de coleta usada.

Os resultados das coletas feitas pelas Torres Anemométricas representam um verdadeiro salto de qualidade em relação às Plataformas de Coleta de Dados, considerando que o foco deste trabalho é a Energia Eólica.

Por consistirem de observações em até três níveis acima do solo, pode-se usar os resultados de um dos níveis como validação para outro. Esta característica também permite que se avalie o quão precisa está sendo feita a interpolação na direção vertical dos resultados do modelo. Além disso, os níveis verticais adotados pelas TAs coincidem com a altura do cubo dos aerogeradores (CARVALHO, 2003) e, desta forma, servem de boa referência para calibração do modelo numérico, sob os propósitos deste trabalho.

O menor espaço de tempo entre dois registros faz com que a estatística seja calculada com maior fidelidade, tornando mais confiáveis os resultados das avaliações.

Estando situadas em locais verdadeiramente propícios para a instalação de parques eólicos, as Torres Anemométricas mostram-se definitivamente mais relevantes nas avaliações estatísticas que as Plataformas de Coleta de Dados. Por outro lado, a grande quantidade de PCDs permite que seja feito um levantamento da distribuição espacial de acertos por cada uma das opções testadas pelo modelo numérico.

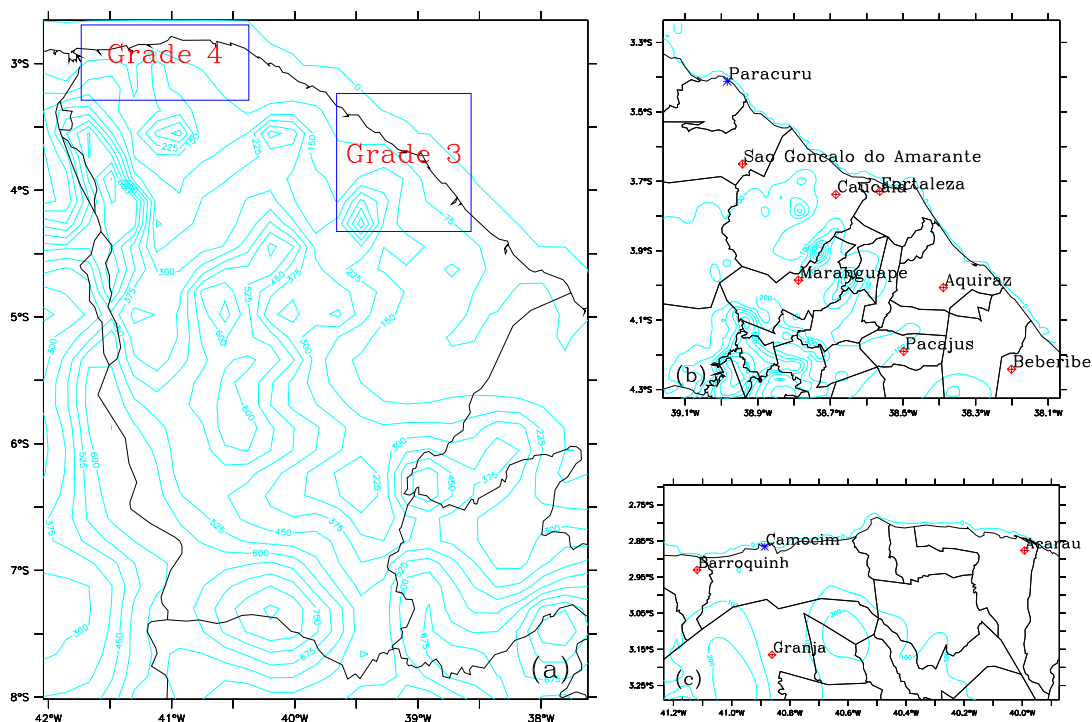


Figura 3.1: Localização das grades mais finas em relação ao estado do Ceará (a), com posicionamento das Torres Anemométricas (TAs), das Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) nas grades 3 (b) e 4 (c) e, em azul claro, mapa de contorno do relevo.

## 3.2 Estatística da intercomparação de modelos

Com o intuito de verificar de forma quantitativa os resultados das simulações feitas para testar sensibilidades do modelo numérico, foi adotado um método estatístico de avaliação de seu desempenho, envolvendo vários parâmetros. Diversas medidas de erro podem ser usadas individualmente como índice de desempenho de modelos atmosféricos, cada uma com suas vantagens, desvantagens e melhor aplicabilidade. Porém, conforme argumentado por Weber et al. (1982), o uso de medidas de erro isoladamente pode ser uma forma inadequada de estimativa da desempenho dos modelos, e o emprego de várias medidas de erro em conjunto costuma ser um método mais justo.

Neste sentido, são apresentados os índices estatísticos que compõem a medida da desempenho dos modelos para uma eventual comparação. Tais índices foram selecionados visando obter a configuração do modelo que apresente resultados mais próximos das observações, presumindo que estas observações são a perfeita realidade, pois não são considerados erros nas medidas.

Os índices estatísticos computados são o Viés estatístico, o Erro Absoluto Médio, o Erro

Quadrático Médio, a razão entre Desvios Padrão modelado e observado, o Erro Absoluto Médio dos desvios, o Erro Quadrático Médio dos desvios, o Índice de Concordância e o Índice de Correlação.

O Viés estatístico ( $b$ ) é, dentre as consideradas aqui, a mais simples e menos representativa medida de habilidade do modelo em gerar previsões. É dado pela média da diferença entre série modelada e observada, e indica o erro sistemático (subestimação ou sobrestimação) do modelo em relação a uma dada variável.

Sendo  $\psi_i$  o valor observado da variável no  $i$ -ésimo instante do tempo e  $\phi_i$  o valor da mesma variável produzida pelo modelo, correspondente ao mesmo instante no tempo e posição do espaço da variável observada, o Viés estatístico é dado por

$$b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\phi_i - \psi_i) \quad (3.1)$$

onde  $N$  é o número de instantes de tempo da série.

O Viés pode assumir qualquer valor real, onde valores mais próximos de zero, por definição, representam menor erro. É medido com a mesma unidade usada nas séries.

Uma medida de erro mais justa é o Erro Absoluto Médio ( $A$ ). Nesta, os desvios negativos não se cancelam com os positivos, o que torna mais representativa que o Viés. É dado por

$$A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\phi_i - \psi_i|. \quad (3.2)$$

Pela definição, só pode assumir valores não-negativos, de forma que quanto menor o valor, maior a semelhança entre as séries. É medido com a mesma unidade que as séries.

O Erro Quadrático Médio ( $E$ ) é dado pela soma dos quadrados das diferenças entre resultados do modelo e observações:

$$E = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\phi_i - \psi_i)^2 \right]^{1/2}. \quad (3.3)$$

Esta é a medida de erro mais utilizada dentre as mostradas até aqui. É mais sensível a maiores desvios entre as séries que o Erro Absoluto Médio, o que a torna mais relevante quando se trata de prevenir grandes erros. Pode assumir qualquer valor não-negativo e tem a mesma unidade de medida das séries. É maior a semelhança entre as séries modelada e observada

quanto mais próxima de zero for a medida do erro.

Uma estimativa de erro freqüentemente sugerida (Buckley et al. (2004), Pielke (2001), ou ainda, Keyser e Anthes (1977)) é a comparação entre os Desvios Padrão modelado e observado. A idéia é que medidas parecidas de Desvio Padrão estão associadas à semelhança entre as séries, no que diz respeito à variabilidade da grandeza em estudo. Sendo  $\bar{\phi}$  e  $\bar{\psi}$ , respectivamente, as médias das séries modelada e observada, seus respectivos Desvios Padrão,  $\sigma_{\phi}$  e  $\sigma_{\psi}$  são dados por

$$\sigma_{\phi} = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\phi_i - \bar{\phi})^2 \right]^{1/2}, \quad (3.4)$$

$$\sigma_{\psi} = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\psi_i - \bar{\psi})^2 \right]^{1/2}. \quad (3.5)$$

Com isso, pode-se definir a Razão entre Desvios padrão  $R_{\sigma}$  como

$$R_{\sigma} = \frac{\sigma_{\psi}}{\sigma_{\phi}}. \quad (3.6)$$

Uma maior semelhança entre os Desvios padrão é representada por uma razão  $\sigma_{\psi}/\sigma_{\phi}$  mais próxima de 1. Esta razão é adimensional, podendo assumir qualquer valor não-negativo.

Possíveis causas para ocorrência de erros sistemáticos nos modelos são mencionadas por Steyn e Mckendry (1988), em especial a formulação inadequada dos modelos, imprecisão causada pela discretização espaço-temporal e imprecisão dos próprios instrumentos usados na coleta dos dados observados. Conforme discutido por Jolliffe e Stephenson (2003), tais erros podem ser reduzidos com a remoção do Viés estatístico, ou seja, quando as medidas de erro são calculadas apenas para os desvios das séries. Seguindo este raciocínio, são apresentadas reformulações de alguns índices para eliminação do Viés. Acompanhando esta linha de pensamento, o Erro Absoluto Médio dos desvios ( $A_d$ ) é dado por

$$A_d = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\phi'_i - \psi'_i|, \quad (3.7)$$

onde  $\phi'_i$  e  $\psi'_i$  são os desvios das séries modelada e observada, respectivamente dados por

$$\phi'_i = \phi_i - \bar{\phi}_i \quad (3.8)$$



e

$$\psi'_i = \psi_i - \bar{\psi}_i . \quad (3.9)$$

Analogamente, pode-se definir o Erro Quadrático Médio dos desvios ( $E_d$ ):

$$E_d = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\phi'_i - \psi'_i)^2 \right]^{1/2} . \quad (3.10)$$

Estas novas medidas de erro,  $A_d$  e  $E_d$ , herdam as propriedades das formulações originais.

Willmott (1982) apresenta o Índice de Concordância ( $I_c$ ), argumentando que medidas de erro feitas com Erro Absoluto Médio ( $A$ ) e Erro Quadrático Médio ( $E$ ) não informam o tamanho relativo da diferença, ou mesmo a natureza dessas diferenças. Este novo índice é formulado da seguinte maneira:

$$I_c = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |\phi_i - \psi_i|^2}{\sum_{i=1}^N (|\phi_i - \bar{\psi}_i| + |\psi_i - \bar{\psi}_i|)^2} . \quad (3.11)$$

Vê-se que o viés não é explicitamente eliminado. Porém, a presença indireta do viés tanto no denominador quanto no numerador atua como uma remoção. Trata-se de uma medida adimensional e, conforme esclarecido por Buckley et al. (2004), pode assumir valores entre 0 e 1, de modo que maior a semelhança entre as séries quanto maior o valor do índice. Por fim, é mostrada a formulação do Índice de Correlação ( $r$ ). De acordo com Jolliffe e Stephenson (2003), o mais relevante de todos para os propósitos deste trabalho. É dado por

$$r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\phi'_i \psi'_i}{\sigma_\phi \sigma_\psi} . \quad (3.12)$$

Pode assumir valores entre -1 e 1 que indicam, respectivamente, perfeita anticorrelação e perfeita correlação, havendo ainda a total ausência de correlação verificada com um resultado igual a zero. Este índice tem a capacidade de detectar correspondência de fase entre as séries sendo, por construção, insensível a erros de Viés.

Após a apresentação de todos os índices, cabe a atribuição dos escores a cada um, que funciona como um peso. Às medidas de erro ou concordância com viés embutido é dado peso mínimo, enquanto medidas com remoção explícita do viés são consideradas mais relevantes, ficando o Índice de Concordância como exceção.

Para cada índice levado em conta é atribuída uma quantidade de escores referente à relevância deste índice na comparação. Dentre as configurações do modelo intercomparadas, apenas

Símbolo	Índice	Escores
$b$	Viés estatístico	1
$A$	Erro Absoluto Médio	1
$E$	Erro Quadrático Médio	1
$R_{\sigma}$	Razão entre Desvios Padrão	1
$A_d$	Erro Absoluto Médio dos desvios	2
$E_d$	Erro Quadrático Médio dos desvios	2
$I_c$	Índice de Concordância	3
$r$	Índice de Correlação	4

Tabela 3.2: Índices estatísticos e seus respectivos escores.

aquela que obtém o melhor índice recebe os escores correspondentes. Isto é feito de forma acumulativa, ou seja, se um determinado modelo obtém melhores valores em três índices, sua pontuação total é a soma dos escores atribuídos a cada índice.

A avaliação é feita para cada uma das estações de coleta de dados, de forma que o desempenho de um determinado modelo pode se mostrar superior em algumas localidades ou inferior em outras. Ao final da determinação do modelo mais adequado em cada localidade, é considerado o melhor aquele que se mostrar superior em um maior número de localidades – o que pode ser interpretado como maior distribuição espacial de acerto.

Este método admite a ocorrência de empates entre não mais que dois modelos, em cada localidade. Como critério de desempate é levada em conta a quantidade de localidades em que cada modelo se sobressai.

## 4 *Sensibilidade do modelo à resolução da grade horizontal*

Neste capítulo são investigados os benefícios do uso de grades de alta resolução, no que se refere à representação dos campos de vento sobre as regiões e para o período em questão. Os resultados com grades espaçadas em 20Km, 5Km e 1Km, mantendo-se as demais configurações iguais, são comparadas com observações feitas por PCDs e TAs, usando os critérios estatísticos definidos na Seção 3.2.

As exposições são feitas por meio de gráficos de séries temporais e tabelas, sempre acompanhados por discussões. Os resultados são separados em seções conforme a origem dos dados observados, havendo uma última seção destinada à síntese do que foi discutido nas anteriores.

As variáveis são calculadas pelo modelo numérico sobre os pontos da grade tridimensional, que são determinados independente da localização das estações de coleta de dados. Portanto, são necessárias interpolações tanto na horizontal quanto na vertical. Na componente tempo, a saída do modelo é gerada em intervalos que coincidem com as observações, de maneira que qualquer interpolação é feita internamente.

No plano horizontal, a interpolação é calculada linearmente pelo *software* de análise e visualização (HANKIN et al., 2006), para velocidade e direção do vento, sobre as coordenadas de cada estação. Na vertical, em qualquer altitude inferior ao primeiro nível do modelo, o valor da direção assumido é aquele calculado no primeiro nível, enquanto para as demais é feita uma interpolação linear. A velocidade do vento é interpolada utilizando o perfil logarítmico dado por Stull (1988, p. 376-378).

O cálculo dos índices estatísticos, a contabilização dos escores e a decisão da melhor dentre as opções testadas são feitos automaticamente pelo software de visualização e análise, sendo levada em conta quantidade maior de casas decimais que a mostrada nas tabelas, e prevenindo contra eventuais erros humanos.

Os valores de direção do vento coletados pelas PCDs de Fortaleza e São Gonçalo do Ama-

rante apresentavam clara inconsistência, referente a erros sistemáticos possivelmente causados por má instalação dos equipamentos, resultando em padrões de circulação incoerentes para cada local. Por conta disso, foram necessárias correções de  $75^\circ$  e  $150^\circ$ , respectivamente, de maneira que este valor foi subtraído da medição em cada instante do tempo. Estes números são determinados arbitrariamente, com base nas séries temporais de direção coletadas pelas estações geograficamente mais próximas: Maranguape e Caucaia.

## 4.1 Plataformas de Coleta de Dados

Na Figura 4.1 são mostradas as séries temporais de velocidade (a) e direção (b) do vento para a localidade de Beberibe, para a qual se constata um ciclo diário observado muito bem definido, com pequenas irregularidades de menor escala temporal. Enquanto os ciclos diários de direção foram bem detectados em todas as simulações, para a velocidade, a representação da amplitude deste ciclo pelo modelo se torna mais pronunciada conforme a resolução diminui.

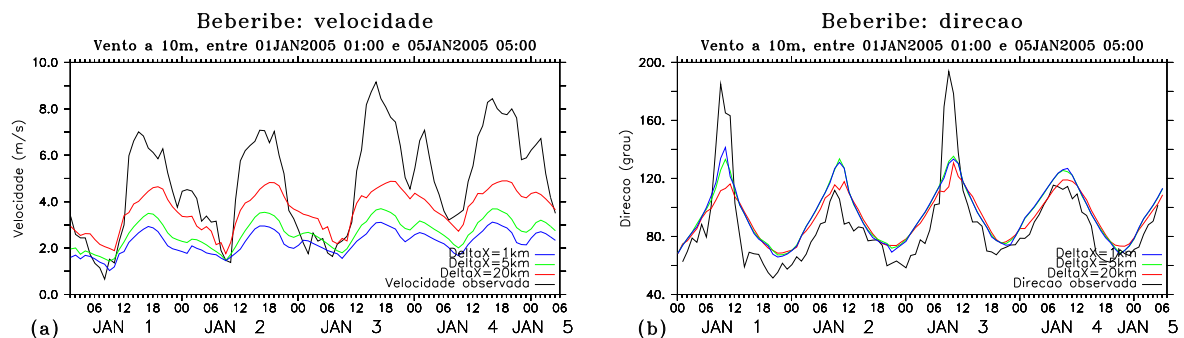


Figura 4.1: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Beberibe.

Esta maior amplitude produzida na velocidade do vento modelado com espaçamento horizontal em 20Km para a localidade de Beberibe é refletido na Tabela 4.1, na forma de melhores índices estatísticos, assim como maior semelhança com as observações. Apesar disso, a simulação com grade espaçada em 5Km ainda obteve mais alta correlação. A direção modelada com espaçamento de grade em 1Km ganha mais escores, ainda que esta superioridade não esteja evidente no gráfico.

Os registros de Velocidade (Figura 4.2) mostram um ciclo diário bem pronunciado, que o modelo representou com boa concordância nos períodos de vento mais intenso, mas não nos momentos de ventos mais fracos. Pelo gráfico, o modelo que mais difere dos demais é aquele

Índice	Velocidade			Direção		
	20Km	5Km	1Km	20Km	5Km	1Km
$b$	-1,159	-2,156	-2,578	5,629	7,862	7,775
$A$	1,511	2,270	2,623	13,976	14,208	13,935
$E$	1,878	2,725	3,122	19,752	17,974	17,651
$\sigma_\psi$	2,182	2,182	2,182	28,735	28,735	28,735
$\sigma_\phi$	0,867	0,613	0,493	15,609	18,801	19,378
$R_\sigma$	2,534	3,697	4,427	1,848	1,529	1,483
$A_d$	1,219	1,426	1,532	10,585	9,267	9,121
$E_d$	1,454	1,649	1,761	18,863	16,163	15,845
$I_c$	0,573	0,368	0,266	0,653	0,746	0,760
$r$	0,898	0,906	0,885	0,796	0,850	0,853
Escores	11,000	4,000	0,000	1,000	0,000	14,000

Tabela 4.1: Estatística da intercomparação das opções de resolução horizontal de grade do modelo para a velocidade e direção do vento na localidade de Beberibe, onde  $b$  é o Viés Estatístico,  $A$  é o Erro Absoluto Médio,  $E$  é o Erro Quadrático Médio,  $R_\sigma$  é a razão entre os Desvios padrão,  $A_d$  é o Erro Absoluto Médio dos desvios,  $E_d$  é o Erro Quadrático Médio dos desvios,  $I_c$  é o Índice de Concordância e  $r$  é a Correlação. Para cada uma das opções avaliadas é dado também o total de escores obtidos.

com espaçamento de grade em 20Km, não sendo possível, porém, determinar qualitativamente qual espaçamento, entre 5Km e 1Km, oferece resultados mais próximos das observações.

Recorrendo à estatística da Tabela 4.2, vê-se que a simulação com espaçamento de grade em 1Km atinge melhores valores em índices importantes, como Correlação e Índice de Concordância, conseguindo com isso maior quantidade de escores.

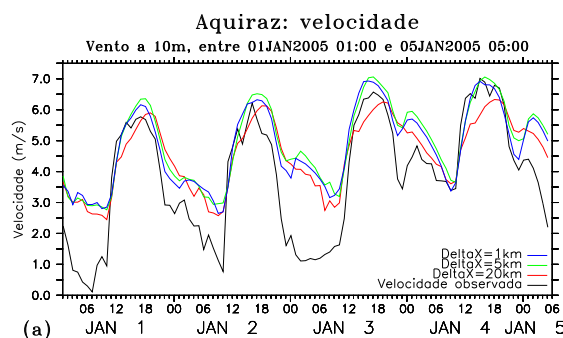


Figura 4.2: Séries temporais de (a) velocidade do vento observado (em preto) e modelado com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Aquiraz.

Na localidade de Maranguape (Figura 4.3) são notáveis os ciclos diários tanto de velocidade (a) quanto direção (b) do vento. Estes ciclos foram simulados pelo modelo com qualquer das três opções de resolução espacial, havendo sensíveis melhorias conforme se refina a grade – o

Índice	Velocidade		
	20Km	5Km	1Km
$b$	0,797	1,139	1,020
$A$	1,118	1,245	1,115
$E$	1,361	1,519	1,412
$\sigma_{\psi}$	1,931	1,931	1,931
$\sigma_{\phi}$	1,150	1,287	1,261
$R_{\sigma}$	1,686	1,518	1,533
$A_d$	0,922	0,812	0,810
$E_d$	1,091	1,000	0,975
$I_c$	0,539	0,477	0,542
$r$	0,869	0,885	0,897
Escores	2,000	1,000	12,000

Tabela 4.2: Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Aquiraz.

que fica muito claro quando se compara o resultado da simulação em 20Km com os demais. Porém, não fica explícito se é melhor o modelo com resolução em 5Km ou 1Km.

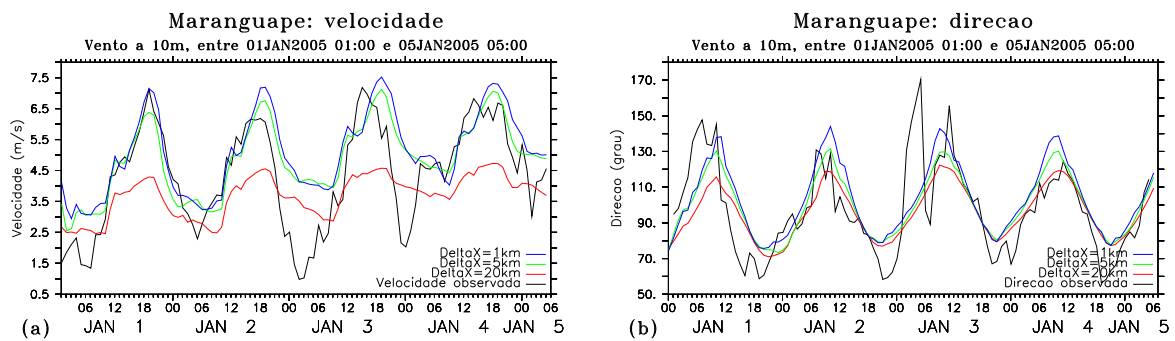


Figura 4.3: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Maranguape.

A Tabela 4.3 confirma a semelhança entre os resultados das simulações com resolução de grade em 1Km e 5Km, com índices e estimativas de erro muito parecidos – Correlação, Índice de Concordância, Erro Quadrático Médio dos desvios e Erro Absoluto Médio dos desvios são alguns exemplos, tanto para Velocidade quanto Direção. Apesar da semelhança, a simulação com 5Km de espaçamento entre pontos de grade horizontal obteve melhor total de escores.

Para a localidade de Fortaleza (Figura 4.4), as observações apresentam ciclos diários de velocidade com tendência ao aumento da média, representada por máximos cada vez maiores, sendo que o modelo simulou corretamente esta tendência em qualquer das resoluções de grade testadas. A Direção observada também mostra um ciclo diário, que o modelo evidenciou. Por causa da evidência de erros sistemáticos nas observações foi feita uma correção da série obser-

Índice	Velocidade			Direção		
	20Km	5Km	1Km	20Km	5Km	1Km
$b$	-0,635	0,563	0,777	-1,519	2,916	6,287
$A$	1,207	0,882	0,998	12,856	13,127	14,869
$E$	1,407	1,194	1,308	18,434	17,812	19,058
$\sigma_{\psi}$	1,673	1,673	1,673	25,496	25,496	25,496
$\sigma_{\phi}$	0,671	1,177	1,273	14,326	16,970	19,656
$R_{\sigma}$	2,608	1,425	1,314	1,784	1,505	1,297
$A_d$	1,007	0,832	0,849	13,134	12,387	12,595
$E_d$	1,235	1,049	1,051	18,347	17,553	17,973
$I_c$	0,536	0,614	0,543	0,610	0,638	0,597
$r$	0,770	0,783	0,778	0,711	0,729	0,712
Escores	0,000	14,000	1,000	2,000	12,000	1,000

Tabela 4.3: Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Maranguape.

vada de direção do vento por meio da simples subtração de  $75^\circ$  de todos os pontos da série, resultando no gráfico mostrado.

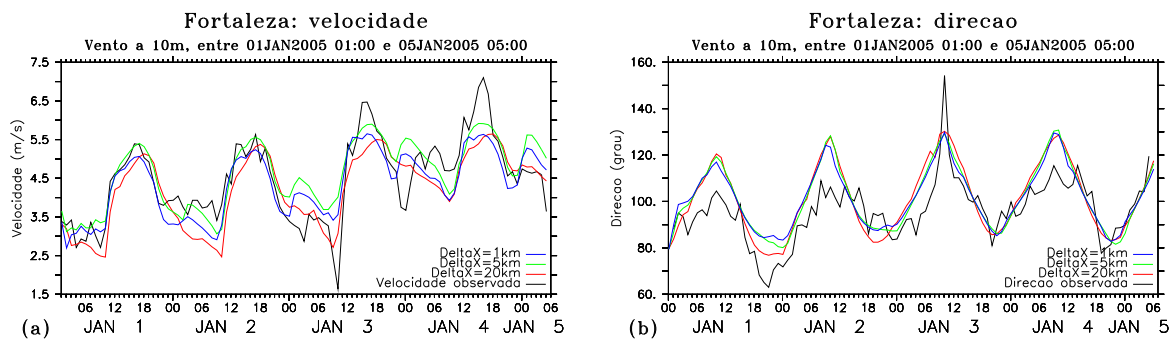


Figura 4.4: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Fortaleza.

Apesar de não ficar evidente na figura, a Tabela 4.4 mostra que a simulação com espaçamento em 1Km produz resultados estatisticamente superiores para a Velocidade nesta localidade. O erro sistemático nos registros de Direção do vento fazem com que estimativas de Viés,  $A$  e  $E$  percam sua relevância. De qualquer maneira, a direção representada pelo modelo em 20Km de espaçamento apresenta correlação mais elevada implicando na maior quantidade de escores.

Na localidade de Caucaia, Figura 4.5, a divergência entre os resultados do modelo em diferentes resoluções para velocidade são mais pronunciados nos períodos de ventos mais intensos, especialmente quando se trata do espaçamento de grade de 20Km. Em relação às observações, as maiores discrepâncias se dão quando menores velocidades são registradas. A Direção obser-

Índice	Velocidade			Direção		
	20Km	5Km	1Km	20Km	5Km	1Km
$b$	-0,231	0,168	-0,110	5,455	5,733	5,601
$A$	0,527	0,555	0,466	9,227	8,820	8,479
$E$	0,652	0,733	0,591	10,910	10,688	10,158
$\sigma_{\Psi}$	1,042	1,042	1,042	13,124	13,124	13,124
$\sigma_{\phi}$	0,933	0,861	0,832	15,098	13,797	12,545
$R_{\sigma}$	1,138	1,235	1,254	0,870	0,952	1,046
$A_d$	0,495	0,480	0,437	7,706	7,413	6,926
$E_d$	0,604	0,634	0,579	9,437	9,011	8,473
$I_c$	0,806	0,667	0,822	0,628	0,615	0,629
$r$	0,821	0,796	0,832	0,785	0,777	0,783
Escores	1,000	0,000	14,000	5,000	0,000	10,000

Tabela 4.4: Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Fortaleza.

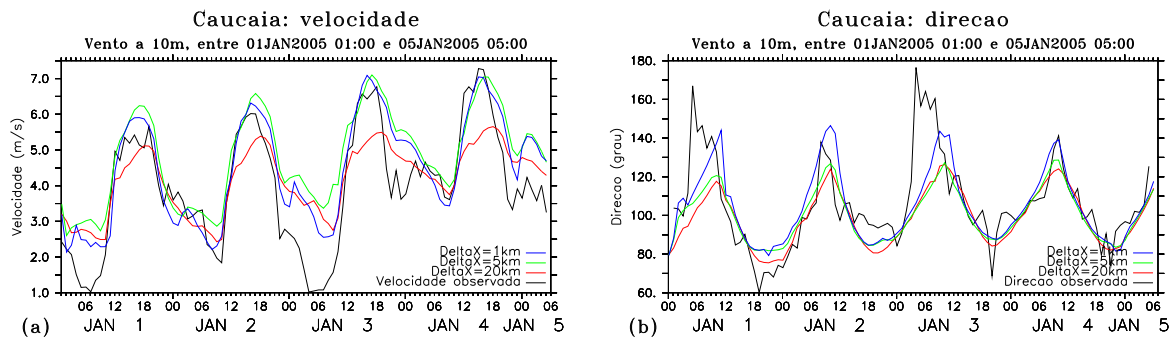


Figura 4.5: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Caucaia.

vada apresenta picos diários de variação, que o modelo representou com qualquer das grades, aparentemente com mais sucesso na simulação com 1Km em espaçamento horizontal de grade.

Com um desvio padrão mais semelhante ao observado e índices como Concordância e Correlação mais elevados (Tabela 4.5), a velocidade representada pelo modelo com espaçamento de grade em 1Km obtém mais escores. Por outro lado, a direção mostra-se mais bem representada quando o modelo é configurado para 5Km de espaçamento de grade horizontal, que obteve melhores erros médios quadrático e absoluto dos desvios, assim como correlação.

A série temporal observada da direção do vento na localidade de São Gonçalo do Amarante (Figura 4.6b) foi submetida a um ajuste, correspondente à subtração de  $150^\circ$  em cada instante do tempo, valor determinado arbitrariamente com base nas médias dos registros de direção feitos nas PCDs geograficamente mais próximas. Este artifício foi empregado por conta da clara discordância dos valores com o padrão de circulação local.



Índice	Velocidade			Direção		
	20Km	5Km	1Km	20Km	5Km	1Km
$b$	0,211	0,863	0,519	-6,860	-5,249	-0,794
$A$	0,818	0,966	0,752	11,652	11,029	11,332
$E$	1,010	1,203	0,936	17,518	16,794	16,307
$\sigma_{\psi}$	1,656	1,656	1,656	22,910	22,910	22,910
$\sigma_{\phi}$	0,938	1,278	1,454	14,165	13,561	18,341
$R_{\sigma}$	1,769	1,300	1,143	1,627	1,693	1,249
$A_d$	0,804	0,688	0,625	11,162	10,735	11,374
$E_d$	0,985	0,837	0,755	15,984	15,949	16,285
$I_c$	0,680	0,595	0,784	0,671	0,679	0,720
$r$	0,853	0,869	0,891	0,727	0,732	0,709
Escores	1,000	0,000	14,000	0,000	9,000	6,000

Tabela 4.5: Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Caucaia.

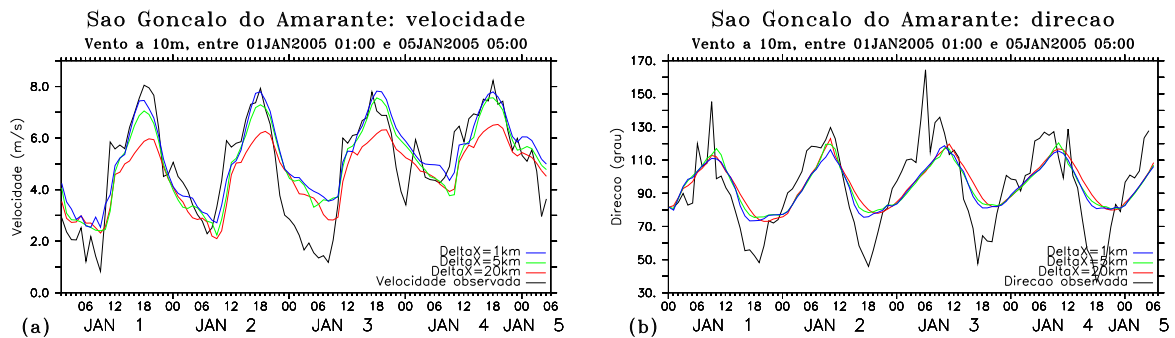


Figura 4.6: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de São Gonçalo do Amarante.

Com isso, pode-se considerar a concordância da fase do ciclo diário modelado com as observações, e erros na estimativa da amplitude deste ciclo. A grande semelhança entre os resultados do modelo impossibilita que se determine por análise qualitativa qual dos espaçamentos de grade leva aos melhores resultados.

A velocidade do vento (Figura 4.6a) tem máximos bem detectados pelo modelo com grade espaçada em 1Km e 5Km, e subestimados pelo modelo com grade espaçada em 20Km. Os momentos de vento mais fraco também são bem caracterizados pelo modelo, exceto nos primeiro e terceiro dias do período simulado. De maneira geral, o modelo apresentou competência.

De acordo com a estatística (Tabela 4.6) para a PCD de São Gonçalo do Amarante, a simulação cuja grade está espaçada em 1Km representa com mais precisão tanto a velocidade quanto a direção do vento. Na primeira variável, destacam-se a Correlação mais elevada e um menor Erro Quadrático Médio dos desvios. O elevado viés fornecido pelo erro na medida de direção

Índice	Velocidade			Direção		
	20Km	5Km	1Km	20Km	5Km	1Km
$b$	-0,281	0,129	0,382	2,082	1,326	0,617
$A$	1,025	0,833	0,830	15,144	14,820	14,114
$E$	1,207	1,080	1,075	19,038	18,302	17,413
$\sigma_{\psi}$	1,981	1,981	1,981	26,154	26,154	26,154
$\sigma_{\phi}$	1,243	1,518	1,507	12,978	12,853	12,911
$R_{\sigma}$	1,607	1,309	1,315	2,020	2,037	2,026
$A_d$	0,960	0,836	0,802	15,185	14,799	14,104
$E_d$	1,166	1,067	1,005	18,846	18,249	17,402
$I_c$	0,744	0,801	0,785	0,571	0,601	0,638
$r$	0,836	0,848	0,868	0,734	0,768	0,811
Escores	0,000	5,000	10,000	1,000	0,000	14,000

Tabela 4.6: Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de São Gonçalo do Amarante.

faz com que valores muito parecidos entre si e baixos de Índice de Concordância sejam calculados.

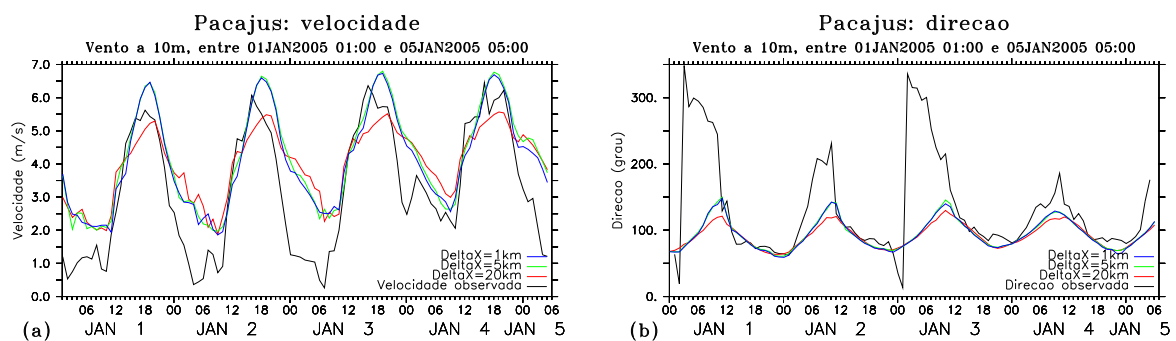


Figura 4.7: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Pacajus.

A Figura 4.7 expõe um ciclo diário de velocidade observada muito pronunciado para a localidade de Pacajus, com velocidade que ficam abaixo de 0,5m/s nos mínimos e ultrapassam 6,0m/s nos picos. Quando a velocidade atinge valores muito baixos ou nulos, a medida de direção perde consistência – isso se verifica entre 0000Z e 0600Z do terceiro dia do período estudado.

De uma maneira geral, o modelo com grades mais finas superestimou os máximos e os mínimos da velocidade, mesmo detectando coerentemente os ciclos diários, enquanto a simulação com grade em 20Km tende a subestimar os máximos. Em cada dia há um intervalo de aproximadamente 12h em que o modelo acerta com muita precisão a estimativa da direção do vento. Vale notar que estes momentos de melhor concordância coincidem com os momentos de

Índice	Velocidade			Direção		
	20Km	5Km	1Km	20Km	5Km	1Km
$b$	0,787	0,963	0,884	-41,962	-39,122	-39,832
$A$	1,138	1,082	1,048	46,541	43,876	44,303
$E$	1,383	1,306	1,251	81,678	78,581	78,998
$\sigma_{\psi}$	1,883	1,883	1,883	76,370	76,370	76,370
$\sigma_{\phi}$	1,064	1,487	1,449	17,861	22,556	22,713
$R_{\sigma}$	1,780	1,267	1,301	4,283	3,386	3,362
$A_d$	0,935	0,710	0,714	52,395	49,731	49,824
$E_d$	1,114	0,877	0,884	70,047	68,148	68,220
$I_c$	0,529	0,643	0,675	0,231	0,305	0,304
$r$	0,857	0,891	0,891	0,457	0,493	0,488
Escores	1,000	5,000	9,000	0,000	14,000	1,000

Tabela 4.7: Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Pacajus.

vento mais intenso, nos quais a medida da direção do vento tende a ser mais consistente.

Estatisticamente (Tabela 4.7), as simulações com grades mais finas mostram-se muito semelhantes entre si. Porém, os resultados para velocidade do modelo com grade espaçada em 1Km se sobressaem. Por outro lado, a direção do vento mostra-se mais bem representada pelo modelo com espaçamento de grade em 5Km.

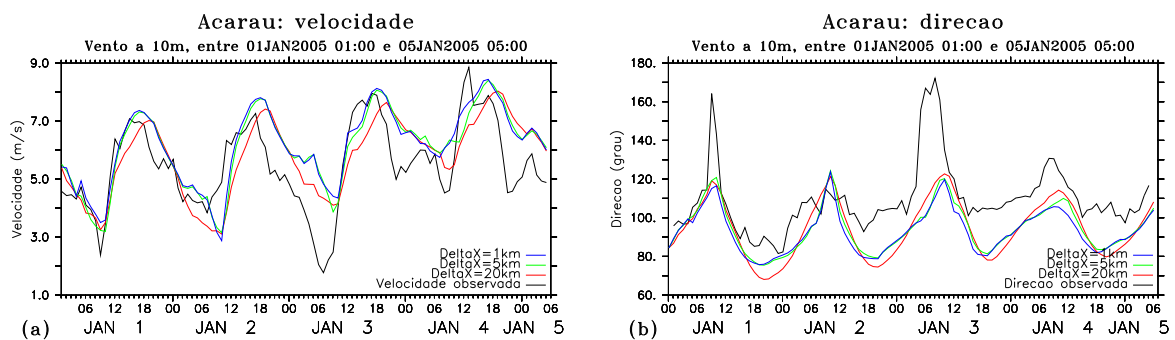


Figura 4.8: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Acaraú.

A Figura 4.8 mostra para a localidade de Acaraú ciclos diários bem pronunciados de velocidade do vento, com pequenas irregularidades em escalas de tempo menores e uma aparente tendência ao aumento em maior escala de tempo. A direção observada não apresenta um ciclo diário muito acentuado, mas chega a ser considerável.

De um modo geral, o modelo representa com fidelidade a velocidade do vento, exceto no período entre 1800Z do segundo dia e 1200Z do terceiro, quando ocorre a redução mais acentuada. A direção apresenta picos muito acentuados que coincidem com os instantes de

Índice	Velocidade			Direção		
	20Km	5Km	1Km	20Km	5Km	1Km
$b$	0,283	0,582	0,659	-14,985	-14,797	-16,160
$A$	1,076	0,987	0,916	15,635	15,368	16,504
$E$	1,305	1,240	1,166	19,434	19,413	20,335
$\sigma_\psi$	1,468	1,468	1,468	17,358	17,358	17,358
$\sigma_\phi$	1,314	1,323	1,291	14,633	11,944	11,073
$R_\sigma$	1,120	1,115	1,138	1,195	1,459	1,568
$A_d$	0,972	0,828	0,740	8,997	8,128	7,765
$E_d$	1,166	1,065	0,962	12,371	12,567	12,344
$I_c$	0,504	0,537	0,580	0,636	0,581	0,550
$r$	0,654	0,715	0,764	0,717	0,691	0,707
Escores	1,000	1,000	13,000	8,000	3,000	4,000

Tabela 4.8: Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Acaraú.

menor intensidade do vento e que o modelo foi incapaz de detectar. Além disso, o ciclo diário representado pelo modelo é bem mais explícito que o registrado pela PCD.

A Tabela 4.8 revela que a simulação com grade espaçada em 1Km é, para a velocidade, melhor. O mesmo não fica tão evidente para a direção. Sem tanta unanimidade quanto para a velocidade, a direção mostra-se mais bem representada pela simulação com espaçamento de grade em 20Km.

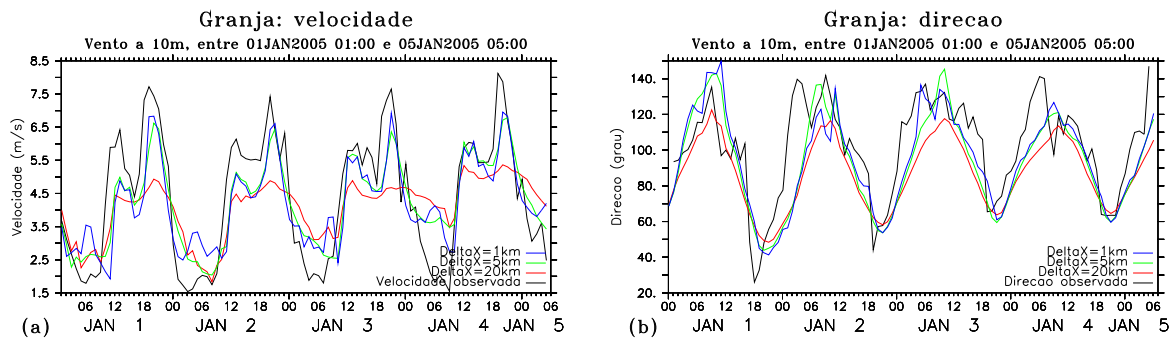


Figura 4.9: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Granja.

Na localidade de Granja, Figura 4.9, são registrados pela PCD ciclos muito acentuados de velocidade do vento, com picos que chegam a ultrapassar 7,5m/s, mínimos sempre em torno de 2,0m/s e flutuações em menor escala de tempo. A direção observada também mostra ciclos muito pronunciados, mas aparentemente nenhuma regularidade em menor escala de tempo e uma tendência em maior escala de tempo difícil de determinar apenas com o período mostrado.

É notável que o modelo consiga perceber o padrão em menor escala temporal que ocorre

Índice	Velocidade			Direção		
	20Km	5Km	1Km	20Km	5Km	1Km
$b$	-0,294	-0,146	-0,176	-14,538	-8,290	-7,146
$A$	1,194	0,805	0,938	17,454	15,762	15,205
$E$	1,408	1,017	1,152	21,978	19,755	19,874
$\sigma_\psi$	1,889	1,889	1,889	26,464	26,464	26,464
$\sigma_\phi$	0,872	1,273	1,248	19,390	26,593	25,979
$R_\sigma$	2,193	1,485	1,513	1,365	0,996	1,019
$A_d$	1,173	0,797	0,923	12,224	13,901	13,556
$E_d$	1,376	1,003	1,138	16,400	17,917	18,544
$I_c$	0,551	0,811	0,771	0,668	0,737	0,708
$r$	0,739	0,870	0,812	0,787	0,772	0,750
Escores	0,000	15,000	0,000	8,000	5,000	2,000

Tabela 4.9: Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Granja.

nos momentos de vento mais intenso, a cada dia, mesmo que os ventos mais fracos sejam superestimados. Vê-se claramente que o modelo com espaçamento de grade em 20Km não apresenta tanta competência quanto os demais ao representar a velocidade. A direção do vento em Granja também mostra-se muito bem calculada pelo modelo, de modo são representados os ciclos diários e o padrão em maior escala de tempo.

A estatística da Tabela 4.9 é unânime ao apontar como melhor a simulação com grade espaçada em 5Km, mesmo que a simulação com grade mais fina também tenha mostrado bons resultados. A direção do vento mostra-se mais bem representada quando a simulação é feita com grade espaçada em 20Km, mesmo que isto não seja consenso entre todos os índices estatísticos considerados.

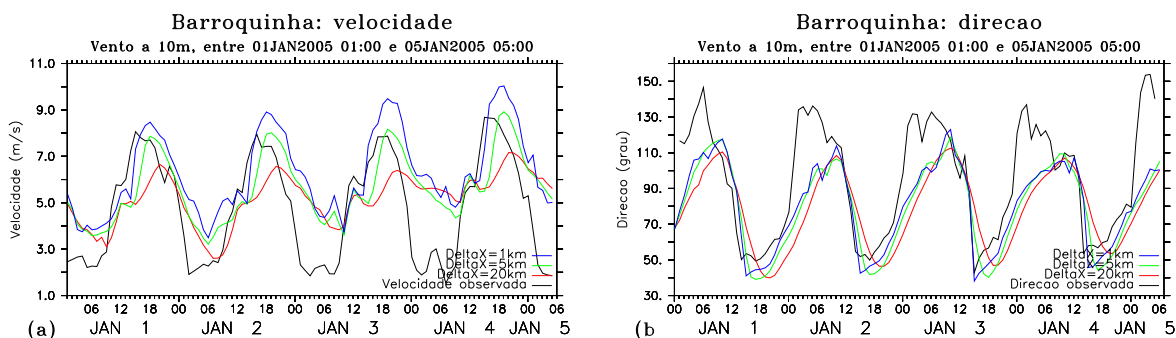


Figura 4.10: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com espaçamento de grade em 20Km (em vermelho), 5Km (em verde) e 1Km (em azul) para a localidade de Barroquinha.

Ciclos diários muito pronunciados, com evidentes padrões de menor escala de tempo, tanto para direção (b) quanto velocidade (a) observada, caracterizam o vento na localidade de Barro-

Índice	Velocidade			Direção		
	20Km	5Km	1Km	20Km	5Km	1Km
<i>b</i>	0,434	0,871	1,544	-16,495	-15,583	-14,200
<i>A</i>	1,741	1,593	1,793	23,331	19,950	17,260
<i>E</i>	2,096	1,910	2,115	29,364	24,900	22,616
$\sigma_{\psi}$	2,261	2,261	2,261	31,580	31,580	31,580
$\sigma_{\phi}$	1,102	1,449	1,752	21,531	24,033	23,835
$R_{\sigma}$	2,097	1,571	1,291	1,468	1,314	1,325
$A_d$	1,663	1,348	1,170	19,424	14,734	13,947
$E_d$	1,974	1,672	1,446	24,259	19,418	17,602
$I_c$	0,320	0,472	0,417	0,582	0,717	0,753
<i>r</i>	0,503	0,678	0,769	0,642	0,789	0,834
Escores	1,000	5,000	9,000	0,000	1,000	14,000

Tabela 4.10: Assim como na tabela 4.1, porém para a localidade de Barroquinha.

quinha no período analisado (Figura 4.10). A simulação com grade mais fina apresenta sobrestimativas dos ventos mais intensos, enquanto a rodada com grade mais grossa procede de forma oposta e, aparentemente, um melhor trabalho foi feito pela simulação com grade espaçada em 5Km. Com todas as 3 opções de grade o modelo detecta o ciclo diário de velocidade e superestima os ventos mais fracos. A direção é bem representada pelo modelo – especial os ciclos diários e os valores mínimos. Porém, fica claro que os picos diários que ocorrem por volta das 0600Z de cada dia são sistematicamente negligenciados.

Ainda para a localidade de Barroquinha, a Tabela 4.10 mostra que, estatisticamente, a simulação com grade espaçada em 1Km apresenta melhores resultados para as duas variáveis, atingindo 12 escores com a velocidade e 14 escores com a direção.

## 4.2 Torres anemométricas

As Torres Anemométricas permitem que se faça uma avaliação mais precisa que as Plataformas de Coleta de Dados, por apresentarem uma resolução temporal mais fina, resultando em maior volume de dados para as estimativas estatísticas, e por contemplarem séries temporais para até três níveis acima do solo, permitindo avaliar quão boa está sendo feita a interpolação das variáveis na direção vertical.

Nesta seção são apresentadas, em forma de gráficos, as séries temporais de velocidade e direção do vento, modelado e observado, para os níveis verticais e coordenadas onde foram feitas as observações e, em forma de tabelas, os resultados da avaliação estatística das respectivas séries.

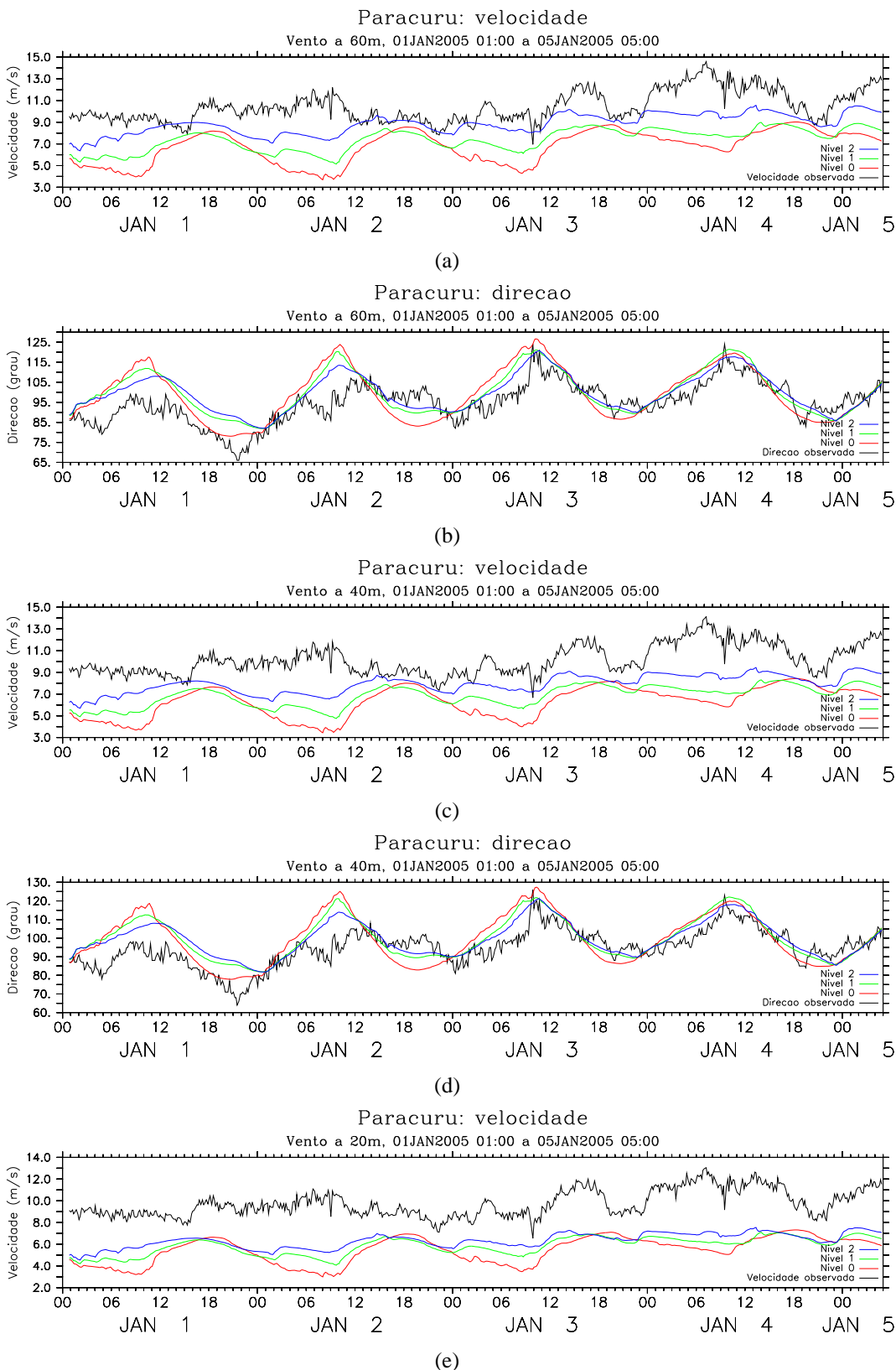


Figura 4.11: Séries temporais de velocidade do vento a (a) 60m, (c) 40m e (e) 20m, e direção a (b) 60m e (d) 40m acima do nível do solo para a localidade de **Paracuru**, onde a curva em preto representa as observações, em vermelho os resultados do modelo com grade espaçada em 20Km, em verde o modelo com grade espaçada em 5Km e, em azul, o modelo com grade em 1Km de espaçamento.

Pela Figura 4.11, vê-se que na localidade de Paracuru as observações de velocidade do vento não apresentam ciclo diário bem definido, com picos de intensidade distribuídos irregularmente ao longo do período em questão. Enquanto configurado com grade espaçada em 20Km, o modelo numérico previu um regime com clara variabilidade diária, com mínimos entre 0600Z e 1200Z e máximos em torno de 1800Z, subestimando em todo o período as observações, em qualquer altitude que se considere. Com a grade espaçada em 5Km, nota-se uma menor variabilidade diária, especialmente pelos mínimos menos fracos, implicando inclusive numa sutil mudança no padrão, com a presença de um mínimo e o máximo secundários de intensidade no segundo e no terceiro dia próximo de 0000Z. O modelo com grade espaçada em 1Km não mais produz ciclos diários, aproximando-se mas não igualando-se às observações. Pode-se inferir daí que estimativas de erros estatísticos menores são esperadas, assim como um menor viés.

Estes resultados sugerem que a variabilidade diária é atenuada conforme a grade é refinada, levando a crer que espaçamentos menores que 1Km gerariam resultados ainda mais fiéis – o que não significa que, com uma resolução suficientemente alta, o modelo alcance a perfeição. Há alguns intervalos das séries onde o modelo atinge excelente concordância com as observações, como é o caso da velocidade a 60m do solo com grade espaçada em 1Km entre 1200Z e 0000Z do segundo dia. Porém, de maneira geral, o modelo erra na representação dos padrões de menor escala temporal. Em síntese, neste caso, o aumento da resolução da grade horizontal do modelo tem melhorado os resultados, mas aparentemente só isso não é suficiente.

Outra observação importante a ser feita é sobre o aumento do viés com a redução da altitude – um indício de que a interpolação na direção vertical precisa ser revisada. Especificamente, devem ser revistos os valores usados no cálculo da velocidade de fricção ou o valor estimado para o comprimento de rugosidade.

Nas Figura 4.11b e 4.11d são mostradas as séries temporais modeladas e observada de direção do vento, respectivamente a 60m e a 40m acima da superfície para a TA de Paracuru, na qual se verifica ciclos diários observados bem definidos mas pouco acentuados, com irregularidades de menor escala de tempo. Os valores máximos de direção tendem a ocorrer próximos de 1200Z, enquanto os mínimos, próximos de 0000Z, praticamente não havendo diferença entre os valores registrados nos diferentes níveis. O modelo numérico gerou resultados semelhantes entre si com as três opções de espaçamento de grade, onde se pode ver nitidamente os ciclos diários, com sobrestimação ao longo do primeiro dia e melhora do acerto a partir do terceiro.

Com a grade espaçada em 20Km o modelo apresenta, para esta localidade e período, variações mais acentuadas em escala diária, que se verifica pelos valores mais elevados dos máximos e menores dos mínimos, em relação às demais opções de resolução. Pequenas alterações



do padrão são produzidos quando o espaçamento da grade é reduzido para 5Km, em especial nos mínimos de direção, o que não evidencia grande ganho de desempenho. Quando a grade é espaçada em 1Km, obtém-se ainda mais atenuação na variabilidade diária, o que leva a uma melhor concordância com as observações em escalas de tempo maiores. Para as últimas sete horas do período as simulações apresentam resultados idênticos.

Com qualquer dos espaçamentos de grade o modelo produziu resultados significativamente mais suaves que as observações, o que é de se esperar de um algoritmo consistente que se utiliza de médias calculadas para caixas de grade. Não fica explícito qual das opções testadas apresentada maior concordância, mas havendo atenuação da variabilidade diária com o aumento da resolução horizontal, é de se esperar que a grade mais fina apresente índices estatísticos melhores, mas não muito em relação aos resultados produzidos com espaçamento em 5Km. Na Tabela 4.12 estes valores são apresentados, permitindo uma análise objetiva.

		$b$	$A$	$E$	$\sigma_{\psi}$	$\sigma_{\phi}$	$R_{\sigma}$	$A_d$	$E_d$	$I_c$	$r$	Escores	
60m	Vel.	20km	-3,72	3,73	4,16	1,42	1,51	0,97	1,53	1,83	0,35	0,23	1
		5km	-3,07	3,07	3,37	1,42	1,05	1,41	1,14	1,39	0,41	0,42	0
		1km	-1,62	1,71	2,03	1,42	0,93	1,52	0,99	1,20	0,54	0,54	14
	Dir.	20km	4,38	8,66	10,91	9,86	12,73	0,78	7,75	9,86	0,76	0,65	1
		5km	4,94	7,57	9,49	9,86	10,64	0,93	6,55	8,09	0,78	0,69	1
		1km	4,70	6,64	8,39	9,86	9,13	1,08	5,61	6,93	0,81	0,74	13
40m	Vel.	20km	-3,88	3,88	4,25	1,37	1,42	1,00	1,44	1,73	0,35	0,24	1
		5km	-3,32	3,32	3,58	1,37	0,98	1,45	1,08	1,33	0,40	0,42	0
		1km	-2,23	2,25	2,52	1,37	0,84	1,64	0,96	1,16	0,49	0,54	14
	Dir.	20km	4,61	8,89	11,24	9,75	12,95	0,75	7,97	10,11	0,74	0,64	1
		5km	5,19	7,80	9,80	9,75	10,87	0,90	6,72	8,29	0,77	0,68	0
		1km	4,80	6,78	8,54	9,75	9,28	1,05	5,70	7,03	0,80	0,73	14
20m	Vel.	20km	-4,30	4,30	4,56	1,23	1,23	1,03	1,25	1,50	0,31	0,27	1
		5km	-3,91	3,91	4,07	1,23	0,83	1,52	0,94	1,14	0,35	0,45	0
		1km	-3,42	3,42	3,58	1,23	0,67	1,85	0,85	1,01	0,39	0,57	14

Tabela 4.12: Intercomparação estatística das opções de resolução horizontal para a TA de **Paracuru**, com resultados do Viés estatístico ( $b$ ), Erro Absoluto Médio ( $A$ ), Erro Quadrático Médio ( $E$ ), Desvios Padrão observado ( $\sigma_{\psi}$ ) modelado ( $\sigma_{\phi}$ ) e a razão entre eles ( $R_{\sigma}$ ), Erro Absoluto Médio dos desvios ( $A_d$ ), Erro Quadrático Médio dos desvios ( $E_d$ ), Índice de Concordância ( $I_c$ ) e Correlação ( $r$ ) entre observações de velocidade do vento em três níveis verticais (60m, 40m e 20m acima da superfície) e direção em dois (60m e 40m).

A estatística da intercomparação das opções de espaçamento de grade horizontal para a localidade de Paracuru (Tabela 4.12) reflete em números o que se via na Figura 4.11 (a-e). Para a velocidade do vento, tem-se uma piora do viés conforme é menor a altitude para a qual

é feita a comparação. Dada a similaridade entre as séries para diferentes altitudes, é de se considerar que se trate de um erro sistemático produzido pela interpolação na direção vertical. Esta hipótese é reforçada ao se observar que para os níveis inferiores o cálculo da correlação tem melhores resultados. Ao mesmo tempo, para cada nível vertical, há uma melhora do viés conforme se aumenta a resolução da grade. Não apenas para o viés. Exceto pela razão entre os Desvios Padrão, todos os índices e medidas de erro experimentam melhoras conforme se refina a grade. Os escores apresentam uma síntese desses índices, apontando, com unanimidade, o espaçamento de grade em 1Km como opção mais adequada dentre as três para representação da velocidade do vento na localidade de Paracuru.

Os resultados da estatística para a direção do vento da TA de Paracuru, ainda na Tabela 4.12, apresentam uma relação não tão simples entre performance do modelo e resolução da grade, como se dá para a velocidade. Por outro lado, tem-se um aumento do viés conforme se reduz a altitude para a qual a comparação é feita, novamente sugerindo uma revisão do método usado para interpolação ao longo da vertical. De maneira geral, há uma melhora nos índices conforme é reduzido o espaçamento da grade. Apenas para os índices menos representativos, como razão entre os desvios padrão e o viés, esta consideração não é válida, onde, para a estação a 60m do solo, estes índices obtiveram melhores valores respectivamente com a grade espaçada em 5Km e 20Km e, a 60m do solo, o segundo índice é melhor avaliado quando se usa o modelo com a mais grossa das grades.

Vale ressaltar que, dada a semelhança entre as séries para diferentes níveis verticais, o viés torna-se uma medida relevante. Isto porque o aumento da diferença entre os valores observado e modelado em um instante do tempo é o mesmo para os demais instantes e, quando calculada a média dessa diferença, o aumento mencionado permanece.

As observações feitas na localidade de Camocim (Figura 4.12) revelam ciclos diários de direção e velocidade do vento muito pronunciados, em qualquer nível vertical que se considere. A intensidade do vento apresenta padrões em escala temporal diária muito regulares, especialmente para os três primeiros dias, com momentos de ascensão dos valores em torno das 1200Z seguida de uma moderada estabilização que costuma perdurar até as 0000Z. Os mínimos tendem a ocorrer próximos das 0300Z. Variações irregulares de menor escala temporal são vistas ao longo de toda a a série distribuídas de forma aparentemente irregular. A direção observada também apresenta bastante regularidade na escala de tempo diária. Os valores mais baixos costumam se dar entre 1200Z e 1800Z, seguidos por crescentes ascensões, até que são atingidos os valores mais elevados, quando a direção passa por uma razoável estabilização até variar bruscamente.

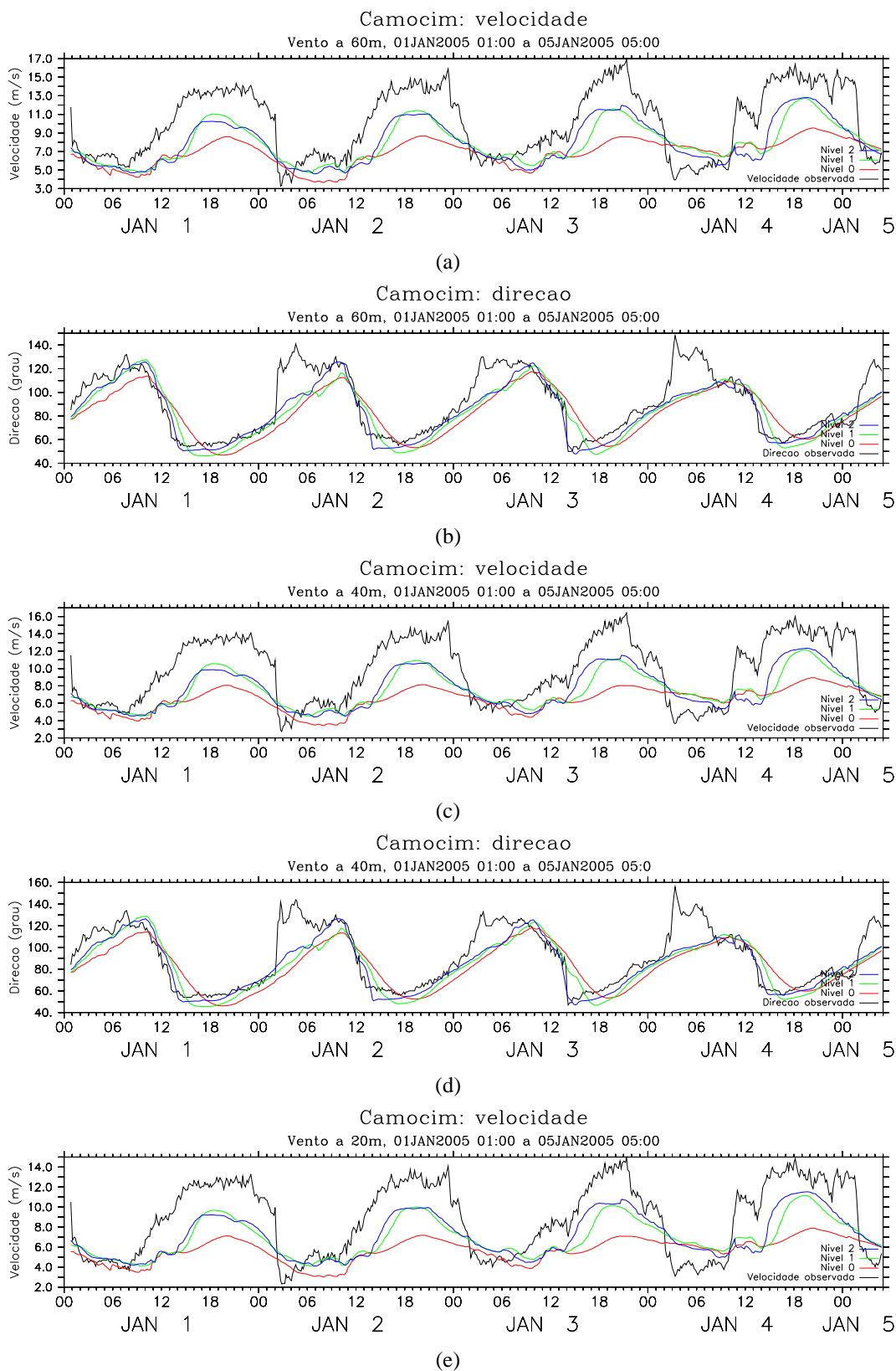


Figura 4.12: Séries temporais de velocidade do vento a (a) 60m, (c) 40m e (e) 20m, e direção a (b) 60m e (d) 40m acima do nível do solo para a localidade de **Camocim**, onde a curva em preto representa as observações, em vermelho os resultados do modelo com grade espaçada em 20Km, em verde o modelo com grade espaçada em 5Km e, em azul, o modelo com grade em 1Km de espaçamento.

O modelo numérico conseguiu detectar os ciclos diários de velocidade, acertando os intervalos de máximos e mínimos, obtendo boa concordância para os ventos mais fracos, mas subestimando os ventos mais intensos. Outra característica a ser reparada é que as bruscas diminuições da intensidade observada são representadas pelo modelo de forma suave. No que tange a intercomparação entre as opções testadas, a mais grossa das grades leva o modelo a atenuar os ciclos diários, mantendo a fase. Resultados parecidos são vistos quando se olha apenas para séries produzidas com espaçamento em 5Km e 1Km, onde a variabilidade é mais acentuada, mas não tanto quanto se vê nas observações. Os gráficos não permitem averiguar objetivamente se a mudança de nível vertical têm algum efeito sobre índices estatísticos.

Nos painéis (b) e (d) da Figura 4.12, tem-se uma notável concordância entre as representações do modelo e as observações da direção do vento, tanto a 60m quanto a 40m acima da superfície, exceto por uma característica do padrão observado, referente à intensidade das variações que se iniciam aproximadamente às 0300Z de cada dia na direção observada que o modelo negligenciou categoricamente. Constata-se que a redução da resolução da grade horizontal leva o modelo a representar com atrasos e de forma suavizada os valores mínimos de direção em relação às observações, o que deve implicar em piora dos índices estatísticos.

Na Tabela 4.14 são dados os índices apresentados no Capítulo 3 da intercomparação da opção de espaçamento da grade horizontal do modelo numérico para os três níveis verticais de velocidade e para os dois de direção do vento relativos às observações feitas pela Torre Anemométrica de Camocim. Para todos os índices, e para qualquer nível vertical que se considere, melhores valores são obtidos pelo modelo com grade espaçada em 1Km, mostrando algo que não estava tão evidente nos gráficos da Figura 4.12. Por outro lado, quando se analisa os resultados por altitude, observa-se que, para a velocidade, nem sempre há melhora nos índices. Um exemplo são os valores do viés obtidos para as séries de vento a 40m e a 20m. Isso apenas enfraquece a hipótese que torna necessária uma revisão no método de interpolação da intensidade do vento ao longo da altitude.

A direção do vento apresenta índices que melhoram conforme se refina a grade, e também quando se utiliza séries coletadas em altitudes maiores. A atribuição dos escores torna irrefutável que, para ambas as variáveis em questão, grades mais finas melhoram o desempenho do modelo numérico.

		$b$	$A$	$E$	$\sigma_\psi$	$\sigma_\phi$	$R_\sigma$	$A_d$	$E_d$	$I_c$	$r$	Escores	
60m	Vel.	20km	-3,23	3,68	4,30	3,67	1,46	2,52	2,41	2,83	0,61	0,71	0
		5km	-2,22	2,72	3,22	3,67	2,13	1,73	1,90	2,33	0,74	0,81	0
		1km	-2,20	2,55	2,98	3,67	2,38	1,54	1,64	2,01	0,79	0,86	15
	Dir.	20km	-8,16	14,95	18,77	26,56	19,76	1,35	12,69	16,85	0,83	0,77	0
		5km	-7,56	12,52	16,13	26,56	22,51	1,18	10,42	14,25	0,89	0,84	0
		1km	-6,87	9,50	13,40	26,56	22,75	1,17	8,14	11,50	0,92	0,90	15
40m	Vel.	20km	-3,31	3,76	4,40	3,70	1,37	2,71	2,48	2,89	0,60	0,71	0
		5km	-2,23	2,79	3,29	3,70	2,04	1,82	2,02	2,41	0,73	0,80	0
		1km	-2,16	2,57	3,03	3,70	2,30	1,61	1,78	2,12	0,78	0,85	15
	Dir.	20km	-8,40	15,55	19,80	27,46	20,30	1,36	13,36	17,88	0,82	0,76	0
		5km	-7,68	13,11	17,02	27,46	23,20	1,19	11,06	15,19	0,88	0,83	0
		1km	-6,92	9,87	14,13	27,46	23,29	1,18	8,67	12,32	0,92	0,89	15
20m	Vel.	20km	-3,15	3,63	4,28	3,61	1,21	3,00	2,50	2,89	0,59	0,70	0
		5km	-1,94	2,68	3,12	3,61	1,87	1,94	2,08	2,43	0,73	0,79	0
		1km	-1,74	2,38	2,77	3,61	2,15	1,68	1,85	2,15	0,79	0,84	15

Tabela 4.14: Intercomparação estatística das opções de resolução horizontal para a TA de **Camocim**, com resultados do Viés estatístico ( $b$ ), Erro Absoluto Médio ( $A$ ), Erro Quadrático Médio ( $E$ ), Desvios Padrão observado ( $\sigma_\psi$ ) modelado ( $\sigma_\phi$ ) e a razão entre eles ( $R_\sigma$ ), Erro Absoluto Médio dos desvios ( $A_d$ ), Erro Quadrático Médio dos desvios ( $E_d$ ), Índice de Concordância ( $I_c$ ) e Correlação ( $r$ ) entre observações de velocidade do vento em três níveis verticais (60m, 40m e 20m acima da superfície) e direção em dois (60m e 40m).

### 4.3 Discussões complementares

Ao longo da Seção 4.1 são apresentados resultados individuais que, enquanto assim, não são suficientes para a escolha conclusiva da melhor opção de resolução de grade horizontal. Dando continuidade à metodologia apresentada no Capítulo 3, é levado em conta, neste ponto, o conjunto de avaliações.

Na Tabela 4.15 é dada uma compilação das opções de espaçamento horizontal com melhores resultados para as Plataformas de Coleta de Dados, permitindo que se saiba, de maneira prática, em quantas localidades cada opção mostrou-se superior, por variável.

Para a velocidade do vento, em apenas uma localidade o modelo apresentou melhores resultados com grade espaçada em 20Km. Para outras duas, o espaçamento em 5Km mostrou-se mais adequado. Porém, para a maioria – um total de sete –, o espaçamento de grade em 1Km faz com que o modelo numérico possa ser considerado, de acordo com a metodologia adotada, mais realista.

Localidade	Velocidade	Direção
Beberibe	20Km	1Km
Aquiraz	1Km	–
Maranguape	5Km	5Km
Fortaleza	1Km	1Km
Caucaia	1Km	5Km
São Gonçalo do Amarante	1Km	1Km
Pacajus	1Km	5Km
Acaraú	1Km	20Km
Granja	5Km	20Km
Barroquinha	1Km	1Km

Tabela 4.15: Opção de grade horizontal com maior quantidade de escores, por localidade (PCD) e variável.

Ainda na Tabela 4.15 são dadas, por localidade, as melhores opções de resolução de grade para representação da direção do vento. Para esta variável, em três localidades o modelo apresenta melhores resultados quando sua grade é espaçada em 20Km. Para outras três, isso ocorre com espaçamento em 5Km. Em quatro localidades o espaçamento de grade em 1Km faz com que o modelo apresente resultados mais realistas. É, de fato, questionável assumir que esta última opção de resolução seja, definitivamente, melhor, visto que em não mais da metade dos casos obteve desempenho superior às demais. Por outro lado, se considerado que as outras opções apresentariam, individualmente, uma densidade espacial de maior acerto ainda menor, faz-se coerente admitir que o modelo apresenta, de maneira geral, melhores resultados quando configurado com grade horizontal espaçada em 1Km.

No que diz respeito aos resultados referentes às Torres Anemométricas, não há dúvidas que as representações de velocidade e direção do vento são mais bem feitas pelo modelo numérico configurado com espaçamento de grade horizontal em 1Km. Como se não fosse bastante, os resultados apresentados nas Tabelas 4.12 e 4.14 tornam muito forte a idéia de que o aumento da resolução da grade horizontal está estreitamente relacionado à melhoras nas representações de vento feitas pelo modelo, sugerindo que uma grade ainda mais fina teria como consequência padrões ainda mais realistas.

Em segundo plano, esta intercomparação dá uma idéia da relevância da qualidade das observações de vento. Não propriamente pelas comparações dos resultados produzidos com diferentes espaçamentos de grade, mas quando são postos lado a lado os resultados da estatística feita para PCDs e TAs. O que se tem é que, quando aplicada às TAs, a estatística é muito mais explícita e direta ao apontar melhorias e ganhos de desempenho pelo modelo numérico, em relação às PCDs. Isso se deve a um fator específico: o intervalo de tempo entre os registros do vento. É de se considerar também que nenhuma das fontes de dados observacionais

passou por testes de consistência mais rigorosos, o que deixa margem para questionamentos sobre a validade da estatística adotada. Mas, pressupostamente partindo da consistência das observações, maiores resoluções temporais de registros de vento não só permitem estimativas estatísticas mais precisas, como avaliações mais justas do modelo numérico, na medida em que os fenômenos físicos são mais bem representados.

## ***5 Sensibilidade do modelo às parametrizações de turbulência***

Aqui são apresentados resultados da intercomparação das opções de parametrização de turbulência descritas no Capítulo 2. Utiliza-se o mesmo procedimento aplicado no Capítulo 4 para aproximação às coordenadas em que se encontram estações de coleta das séries temporais calculadas nos pontos de grade.

Das quatro opções usadas, apenas duas geraram resultados plausíveis. As parametrizações de Deardorff (1980) e Castelli et al. (2001), específicas para configurações de grades horizontais com espaçamento similar ao da grade vertical, apresentaram resultados ruidosos, acusando instabilidade numérica e tornando-os inaplicáveis ao caso estudado.

### **5.1 Plataformas de Coleta de Dados**

Conforme comentado na Seção 3.1, as Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) não têm, especificamente, o objetivo de aferir perfil de vento, podendo ser usadas para tal propósito, porém de modo menos significativo. Dando continuidade ao trabalho, são mostradas as séries temporais de direção e velocidade do vento para as 10 localidades e resultados dos modelos, e tabelas com estimativas estatísticas.

A Figura 5.1 expõe ciclos diários observados bastante acentuados de velocidade e direção do vento na localidade de Beberibe. Pode-se verificar uma significativa subestimação das velocidades mais intensas por parte dos modelos, e acertos na estimativa dos momentos onde ocorrem as variações. A direção do vento é prevista com intensas variações pelo esquema de Mellor & Yamada, que nem sempre são constatados nas observações. Neste aspecto o esquema de Smagorinsky mostrou-se mais cauteloso.

Na Tabela 5.1, a estatística revela que Smagorinsky leva à obtenção de melhores resultados ao simular a velocidade, apresentando índices de concordância e correlação maiores, e



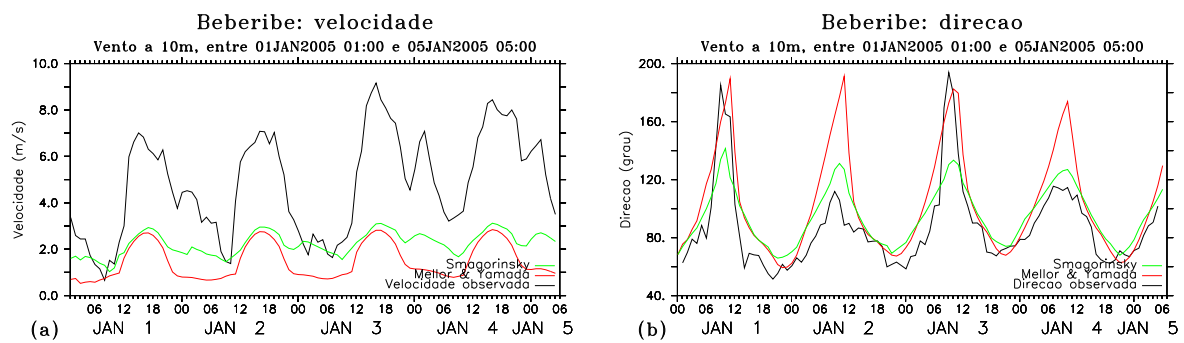


Figura 5.1: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Beberibe.

menores medidas de erro que dependem do viés. Ao mesmo tempo, a direção simulada com esta parametrização está mais parecida com as observações, visto que apresenta, por exemplo, melhores erros médios e viés.

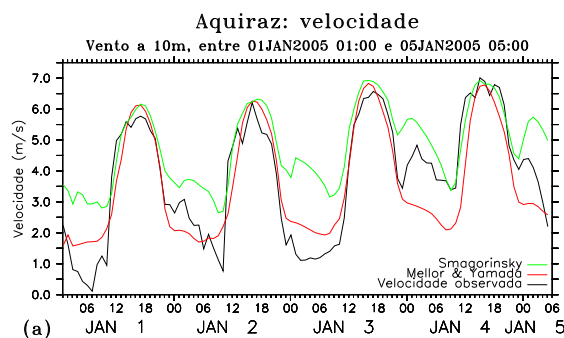


Figura 5.2: Séries temporais de (a) velocidade modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Aquiraz.

A velocidade do vento observada em Aquiraz, Figura 5.2, apresenta variações regulares ao longo dos dias no período simulado, que os modelos trataram de acompanhar com muita precisão no caso dos ventos mais intensos. Os erros mais significativos ocorrem ao simular os ventos mais fracos. A estatística mostrada na Tabela 5.2 que a parametrização de Mellor & Yamada apresenta menor viés e erro absoluto médio dos desvios. Apesar de obter uma correlação mais elevada, a simulação equipada com o esquema de Smagorinsky não obteve valores melhores para os demais índices, implicando numa menor quantidade de escores.

No exemplo de Maranguape (Figura 5.3), pode-se ver que a parametrização de Smagorinsky não percebeu uma característica do vento local no período simulado, referente a mínimos na intensidade da velocidade – algo que não ocorreu a Mellor & Yamada. Os ventos mais in-

Índice	Velocidade		Direção	
	M&Y	SMA	M&Y	SMA
$b$	-3,353	-2,578	15,723	7,775
$A$	3,354	2,623	17,387	13,935
$E$	3,707	3,122	24,374	17,651
$\sigma_\psi$	2,182	2,182	28,735	28,735
$\sigma_\phi$	0,764	0,493	35,198	19,378
$R_\sigma$	2,856	4,427	0,816	1,483
$A_d$	1,325	1,532	13,254	9,121
$E_d$	1,582	1,761	18,624	15,845
$I_c$	0,291	0,266	0,720	0,760
$r$	0,853	0,885	0,849	0,853
Escores	8,000	7,000	1,000	14,000

Tabela 5.1: Estatística da intercomparação das parametrizações de turbulência para a velocidade e direção do vento na localidade de Beberibe, onde  $b$  é o Viés Estatístico,  $A$  é o Erro Absoluto Médio,  $E$  é o Erro Quadrático Médio,  $R_\sigma$  é a razão entre os Desvios padrão,  $A_d$  é o Erro Absoluto Médio dos desvios,  $E_d$  é o Erro Quadrático Médio dos desvios,  $I_c$  é o Índice de Concordância e  $r$  é a Correlação. Para cada uma das opções avaliadas é dado também o total de escores obtidos.

tenso foram representados com erros menores e de forma parecida em ambas as simulações. Na Tabela 5.3 tem-se um viés muito pequeno para o esquema Mellor & Yamada, que, por sinal, também obteve um menor erro absoluto médio dos desvios. Este modelo também apresentou um desvio padrão mais próximo do observado e, com uma correlação mais alta, a parametrização de Mellor-Yamada pode ser considerada a melhor aqui.

As observações revelam bruscas variações na direção do vento em Maranguape, que nem sempre os modelos foram capazes de perceber. A estatística mostra que nenhum dos esquemas de turbulência se sobressai, com a parametrização de Mellor & Yamada obtendo maior índice de correlação e desvio padrão mais parecido com o observado, enquanto Smagorinsky obteve

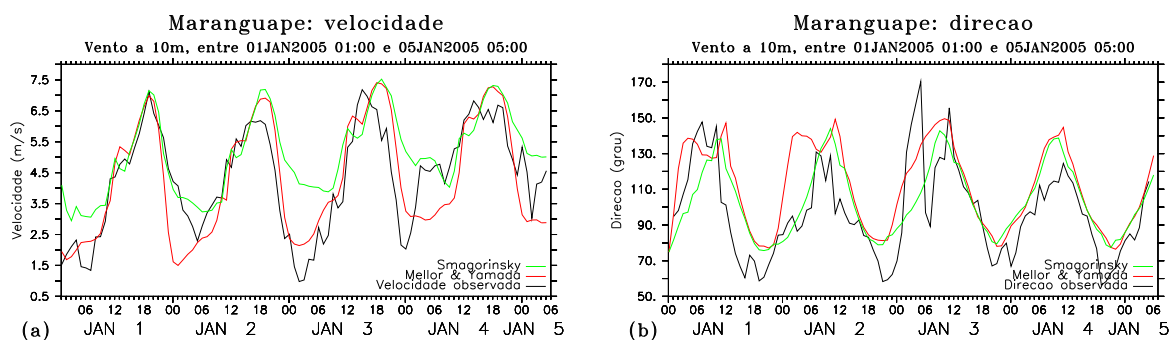


Figura 5.3: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Maranguape.

Índice	Velocidade	
	M&Y	SMA
$b$	-0,174	1,020
$A$	0,767	1,115
$E$	0,928	1,412
$\sigma_\psi$	1,931	1,931
$\sigma_\phi$	1,717	1,261
$R_\sigma$	1,125	1,533
$A_d$	0,767	0,810
$E_d$	0,910	0,975
$I_c$	0,889	0,542
$r$	0,882	0,897
Escores	11,000	4,000

Tabela 5.2: Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Aquiraz.

Índice	Velocidade		Direção	
	M&Y	SMA	M&Y	SMA
$b$	-0,031	0,777	14,693	6,287
$A$	0,826	0,998	18,229	14,869
$E$	1,019	1,308	22,926	19,058
$\sigma_\psi$	1,673	1,673	25,496	25,496
$\sigma_\phi$	1,836	1,273	23,355	19,656
$R_\sigma$	0,911	1,314	1,092	1,297
$A_d$	0,825	0,849	13,748	12,595
$E_d$	1,015	1,051	17,541	17,973
$I_c$	0,842	0,543	0,459	0,597
$r$	0,837	0,778	0,745	0,712
Escores	15,000	0,000	7,000	8,000

Tabela 5.3: Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Maranguape.

menor viés e menor erro absoluto médio dos desvios.

Na Figura 5.4 são exibidas as séries modeladas e observadas referentes à localidade de Fortaleza, cuja velocidade teve os ciclos diários aparentemente mais bem representados com o modelo configurado com Smagorinsky. Isto é confirmado na Tabela 5.4, onde este esquema obteve menor viés, menor erro absoluto médio dos desvios, e desvio padrão mais próximo do observado.

A direção do vento modelada (Figura 5.4b) mostra concordância com os ciclos diários observados, especialmente quando usada a parametrização de Smagorinsky, que leva ao melhor acerto na representação da amplitude do ciclo. E pela Tabela 5.4, é com esta parametrização que o modelo atinge melhores índices estatísticos.

Na localidade de Caucaia, Figura 5.5, os ventos mais fortes têm sua intensidade simulada

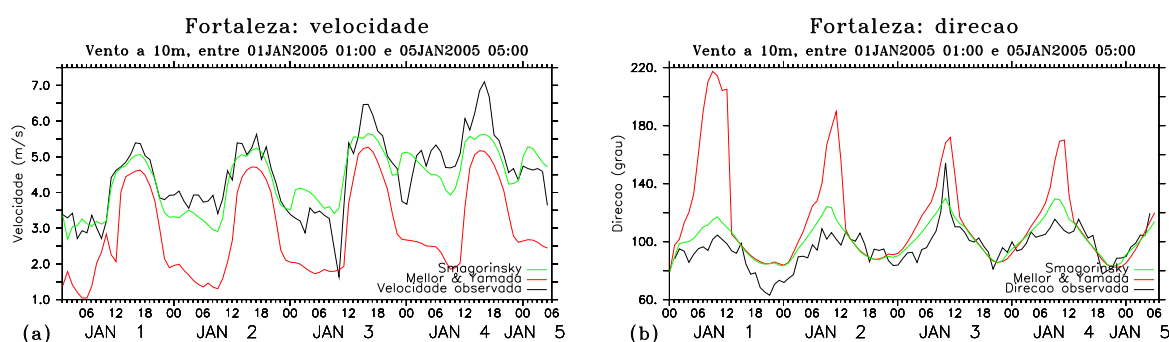


Figura 5.4: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Fortaleza.

Índice	Velocidade		Direção	
	M&Y	SMA	M&Y	SMA
$b$	-1,532	-0,110	19,226	5,601
$A$	1,536	0,466	21,901	8,479
$E$	1,692	0,591	35,327	10,158
$\sigma_\psi$	1,042	1,042	13,124	13,124
$\sigma_\phi$	1,258	0,832	34,066	12,545
$R_\sigma$	0,828	1,254	0,385	1,046
$A_d$	0,609	0,437	21,441	6,926
$E_d$	0,717	0,579	29,636	8,473
$I_c$	0,595	0,822	0,075	0,629
$r$	0,822	0,832	0,508	0,783
Escores	1,000	14,000	0,000	15,000

Tabela 5.4: Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Fortaleza.

de forma semelhante entre os modelos, e concordando bem com as observações – o que não se repete para os mais fracos. Pela Tabela 5.5, ambas as parametrizações apresentaram erros quadráticos médios e erros quadráticos médios dos desvios menores que o desvio padrão observado, e desvios padrão parecidos com o observado. Mas, com uma correlação mais alta e um menor erro absoluto médio dos desvios, o esquema de Smagorinsky representou melhor a velocidade do vento no período simulado.

Ainda em Caucaia, agora analisando a direção do vento, vê-se a parametrização de Mellor & Yamada detectando variações bruscas que não ocorrem em Smagorinsky e nem nas observações. Além disso, o primeiro esquema tem viés e erro médio absoluto dos desvios mais elevados e correlação mais baixa, de modo que o mais adequado aqui é o esquema proposto por Smagorinsky.

As observações na localidade de São Gonçalo do Amarante (Figura 5.6) apresentam ciclos

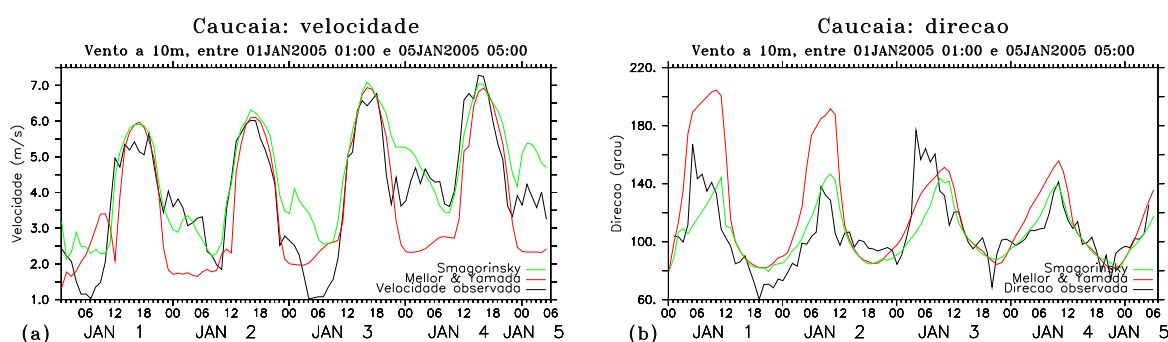


Figura 5.5: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Caucaia.

Índice	Velocidade		Direção	
	M&Y	SMA	M&Y	SMA
$b$	-0,381	0,519	13,836	-0,794
$A$	0,947	0,752	20,183	11,332
$E$	1,152	0,936	29,014	16,307
$\sigma_{\psi}$	1,656	1,656	22,910	22,910
$\sigma_{\phi}$	1,739	1,454	35,410	18,341
$R_{\sigma}$	0,955	1,143	0,647	1,249
$A_d$	0,908	0,625	19,000	11,374
$E_d$	1,076	0,755	25,501	16,285
$I_c$	0,832	0,784	0,479	0,720
$r$	0,801	0,891	0,696	0,709
Escores	5,000	10,000	0,000	15,000

Tabela 5.5: Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Caucaia.

diários bem definidos, tanto na velocidade quanto direção do vento. O modelo foi capaz de representar esses ciclos, com maiores erros nos momentos de ventos menos intensos. Ao simular a velocidade com a parametrização de Smagorinsky, foram obtidos menores viés, erro absoluto médio dos desvios e melhor correlação, tendo esta opção se mostrado melhor.

Enquanto isso, a direção observada teve seu ciclo diário detectado nas duas simulações, com erros de amplitude distintos nos dois primeiros dias, e semelhantes entre si no restante da série. Pela Tabela 5.6, vê-se que esses erros foram maiores com a parametrização de Mellor & Yamada, afetando inclusive a correlação, fazendo com que a outra opção alcance mais escores.

Pela Figura 5.7, nota-se um ciclo diário bastante acentuado para a velocidade do vento de Pacajus. Esta característica é particularmente bem representada pelo esquema proposto por Mellor & Yamada, com o qual se obtém menores desvios nos momentos de ventos mais fracos. A síntese feita na Tabela 5.7 confirma que esta opção leva o modelo à obtenção de resultados

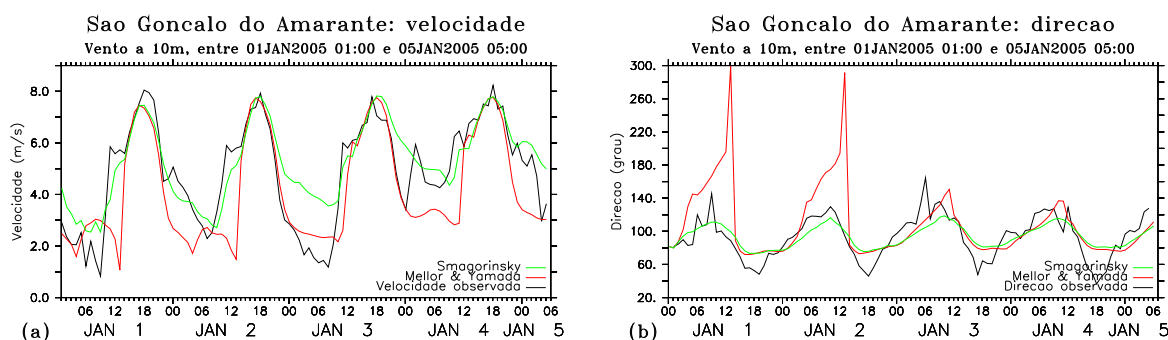


Figura 5.6: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de São Gonçalo do Amarante.

Índice	Velocidade		Direção	
	M&Y	SMA	M&Y	SMA
$b$	-0,692	0,382	15,051	0,617
$A$	1,040	0,830	24,234	14,114
$E$	1,493	1,075	42,202	17,413
$\sigma_{\psi}$	1,981	1,981	26,154	26,154
$\sigma_{\phi}$	2,011	1,507	43,901	12,911
$R_{\sigma}$	0,985	1,315	0,596	2,026
$A_d$	1,029	0,802	24,120	14,104
$E_d$	1,323	1,005	39,424	17,402
$I_c$	0,797	0,785	0,194	0,638
$r$	0,780	0,868	0,461	0,811
Escores	4,000	11,000	1,000	14,000

Tabela 5.6: Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de São Gonçalo do Amarante.

mais próximos das observações.

A direção observada nesta localidade, Figura 5.7b, apresenta um curioso comportamento que dura dois dias, no qual o vetor velocidade chega a realizar uma volta completa no sentido anti-horário, varrendo uma área circular. Apenas parte deste fenômeno é detectado pelo modelo, com boa concordância tanto na fase quanto no valor da direção. Pela estatística da Tabela 5.7, a parametrização de Mellor & Yamada é a melhor para representação deste caso.

A Figura 5.8 mostra as séries temporais de velocidade e direção em Acaraú. Para a primeira variável, a parametrização de Mellor & Yamada apresenta nítidos padrões de variação que não são constatáveis nas observações, enquanto Smagorinsky superestima os ventos menos intensos. A Tabela 5.8 aponta viés mais próximo de zero e menor erro absoluto médio dos desvios por parte deste último esquema, assim como um desvio padrão mais próximo do observado que, associados aos demais índices, culmina numa maior quantidade de escores para esta segunda

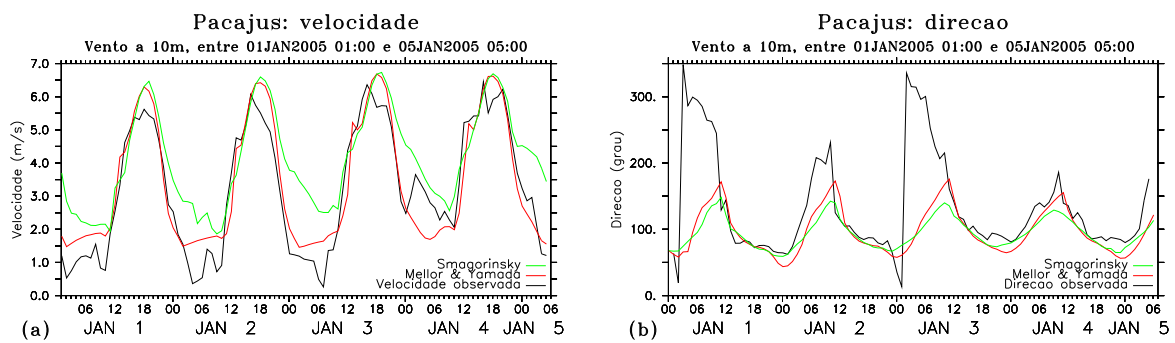


Figura 5.7: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Pacajus.

Índice	Velocidade		Direção	
	M&Y	SMA	M&Y	SMA
$b$	0,155	0,884	-37,161	-39,832
$A$	0,587	1,048	43,535	44,303
$E$	0,703	1,251	76,253	78,998
$\sigma_{\psi}$	1,883	1,883	76,370	76,370
$\sigma_{\phi}$	1,831	1,449	34,227	22,713
$R_{\sigma}$	1,029	1,301	2,231	3,362
$A_d$	0,561	0,714	45,569	49,824
$E_d$	0,683	0,884	66,584	68,220
$I_c$	0,934	0,675	0,409	0,304
$r$	0,933	0,891	0,492	0,488
Escores	15,000	0,000	15,000	0,000

Tabela 5.7: Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Pacajus.

opção.

O irregular e pouco pronunciado ciclo diário da direção do vento observado em Acaraú, Figura 5.8b, quando modelado pela parametrização de Mellor & Yamada, é representado por intensas variações nos três primeiros dias do período, onde se dá maior discordância para os ventos vindos de leste e, em particular, no segundo dia. As variações estimadas com o esquema de Smagorinsky são menos intensas, mas ainda acentuadas o que, de acordo com a Tabela 5.8, implica em melhores correlação e medidas de erro, levando a um maior acúmulo de escores.

Na localidade de Granja (Figura 5.9) os modelos apresentaram bons resultados, especial pela representação dos padrões de escala temporal inferior a um dia que se pode ver na curva da velocidade do vento observado. A parametrização de Smagorinsky sobrestima os ventos mais fracos, enquanto o esquema de Mellor & Yamada gera melhores resultados neste período. Como consequência, esta opção atinge mais escores que aquela, conforme se vê na Tabela 5.9.

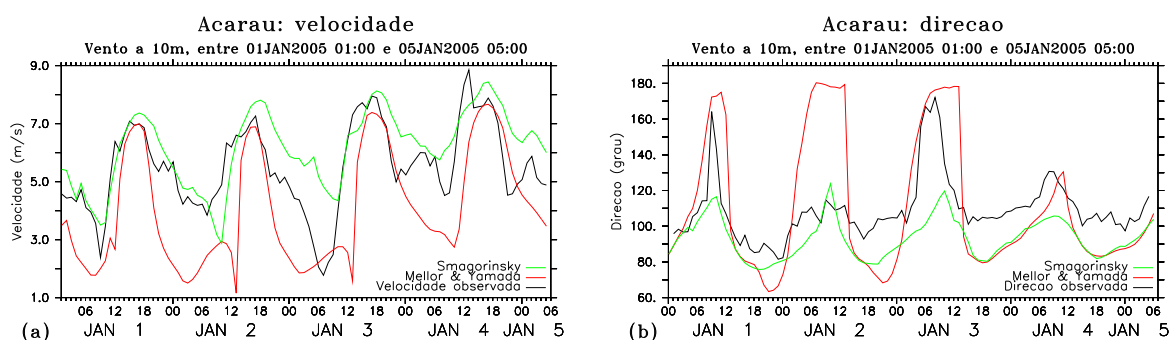


Figura 5.8: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Acaraú.

Índice	Velocidade		Direção	
	M&Y	SMA	M&Y	SMA
$b$	-1,438	0,659	1,717	-16,160
$A$	1,553	0,916	23,277	16,504
$E$	1,964	1,166	29,949	20,335
$\sigma_\psi$	1,468	1,468	17,358	17,358
$\sigma_\phi$	1,933	1,291	37,852	11,073
$R_\sigma$	0,760	1,138	0,459	1,568
$A_d$	1,086	0,740	23,774	7,765
$E_d$	1,337	0,962	29,898	12,344
$I_c$	0,654	0,580	0,530	0,550
$r$	0,723	0,764	0,639	0,707
Escores	3,000	12,000	2,000	13,000

Tabela 5.8: Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Acaraú.

Os máximos valores da direção em Granja (Figura 5.9b) são, aparentemente, melhor determinados pela parametrização de Smagorinsky, pela maior semelhança na representação dos ventos vindos de sudeste. Apesar da correlação mais baixa dada pela Tabela 5.9, este esquema de turbulência obteve mais escores, em especial pelo índice de concordância mais elevado e pelas menores medidas de erro médio.

Na Figura 5.10 são dadas as séries temporais modeladas e observadas de velocidade e direção do vento referentes à localidade de Barroquinha. As observações revelam ciclos diários de intensidade bastante regulares e pronunciados que o modelo foi capaz de estimar com precisão, exceto com a parametrização de Smagorinsky que gerou sobrestimativas dos ventos mais fracos, defasagens dos períodos de maior intensidade, e uma clara tendência a aumento da média diária. Como consequência, a Tabela 5.10 atribuiu ao esquema de Mellor & Yamada melhores valores para todos os índices estatísticos.



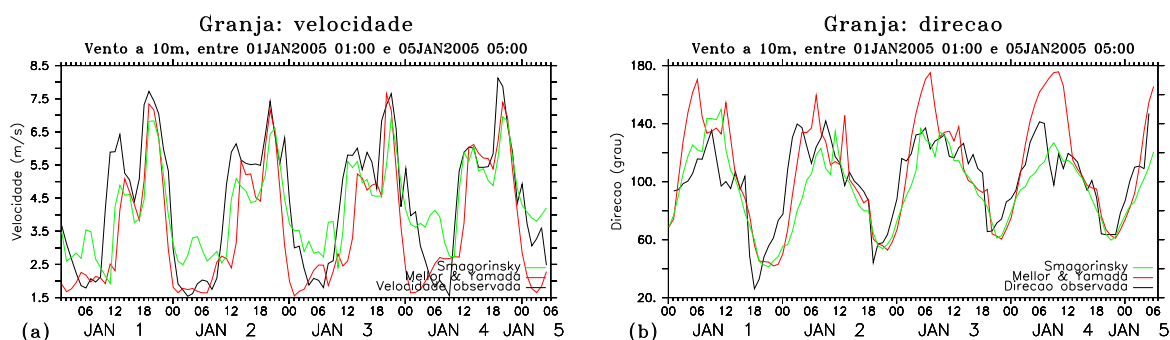


Figura 5.9: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Granja.

Índice	Velocidade		Direção	
	M&Y	SMA	M&Y	SMA
$b$	-0,855	-0,176	6,311	-7,146
$A$	1,036	0,938	18,448	15,205
$E$	1,413	1,152	24,655	19,874
$\sigma_{\psi}$	1,889	1,889	26,464	26,464
$\sigma_{\phi}$	1,776	1,248	37,370	25,979
$R_{\sigma}$	1,063	1,513	0,708	1,019
$A_d$	0,934	0,923	19,039	13,556
$E_d$	1,125	1,138	23,834	18,544
$I_c$	0,804	0,771	0,592	0,708
$r$	0,813	0,812	0,773	0,750
Escores	10,000	5,000	5,000	10,000

Tabela 5.9: Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Granja.

Por outro lado, ao representar a direção do vento em Barroquinha (Figura 5.10b), a simulação equipada com Mellor & Yamada apresenta defasagens nas variações e desvios mais significativos, nos momentos em que as observações indicam vento vindo de aproximadamente  $50^\circ$ , que a parametrização de Smagorinsky. Com isto, mais escores são atribuídos a este segundo esquema.

## 5.2 Torres Anemométricas

As Torres Anemométricas consistem de observações com maiores detalhes, permitindo uma análise mais completa que as PCDs. Aqui são apresentadas séries temporais de velocidade e direção do vento observado e modelado em 3 alturas diferentes acima do solo. Cálculos estatísticos são feitos para determinação da melhor opção, seguindo a metodologia usada até

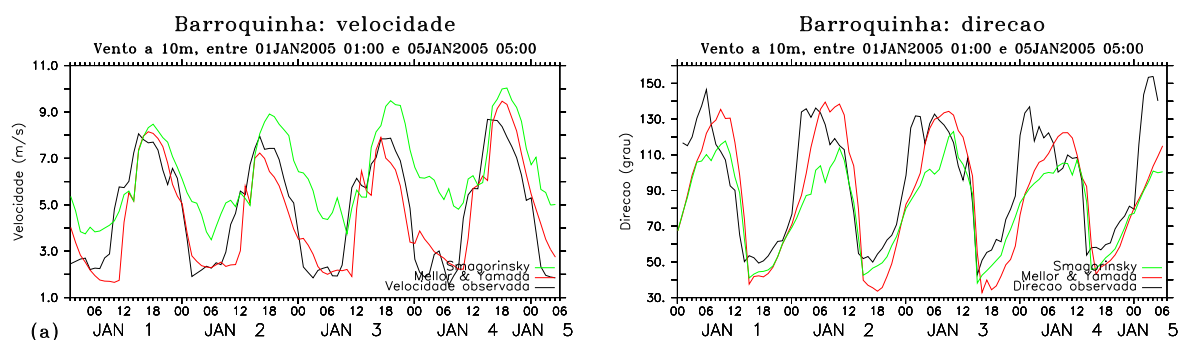


Figura 5.10: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento, modeladas com parametrizações de Mellor & Yamada (em vermelho) e Smagorinsky (em verde), e observações (preto) para a localidade de Barroquinha.

Índice	Velocidade		Direção	
	M&Y	SMA	M&Y	SMA
$b$	-0,220	1,544	-7,803	-14,200
$A$	0,915	1,793	18,894	17,260
$E$	1,205	2,115	22,761	22,616
$\sigma_{\psi}$	2,261	2,261	31,580	31,580
$\sigma_{\phi}$	2,188	1,752	33,645	23,835
$R_{\sigma}$	1,034	1,291	0,939	1,325
$A_d$	0,928	1,170	17,246	13,947
$E_d$	1,185	1,446	21,381	17,602
$I_c$	0,876	0,417	0,773	0,753
$r$	0,859	0,769	0,787	0,834
Escores	15,000	0,000	5,000	10,000

Tabela 5.10: Assim como na Tabela 5.1, porém, para a localidade de Barroquinha.

aqui.

Nos painéis (a), (c) e (e) da Figura 5.11, vê-se que, para a localidade de Paracuru, o modelo com turbulência parametrizada por Mellor & Yamada apresenta ciclo diário de intensidade, especialmente evidenciado pelos mínimos que ocorrem logo após as 1200Z dos dois primeiros dias e pouco antes deste mesmo horário para os dois últimos. Pode-se observar também que, pelos resultados com este esquema numérico, há bastante semelhança no comportamento desta variável entre os dois primeiros dias, e entre os dois últimos dias, configurando uma sensível mudança no padrão diário ao longo do período estudado. Infelizmente as observações não dão qualquer indício de regularidade em escala diária, levando a desvios por parte do modelo numérico além do nítido viés em qualquer das altitudes que se considere. Por outro lado, com a parametrização de Smagorinsky o modelo não evidencia ciclos diários, além de se aproximar mais das observações por estimar valores mais elevados de velocidade. Aparentemente há au-

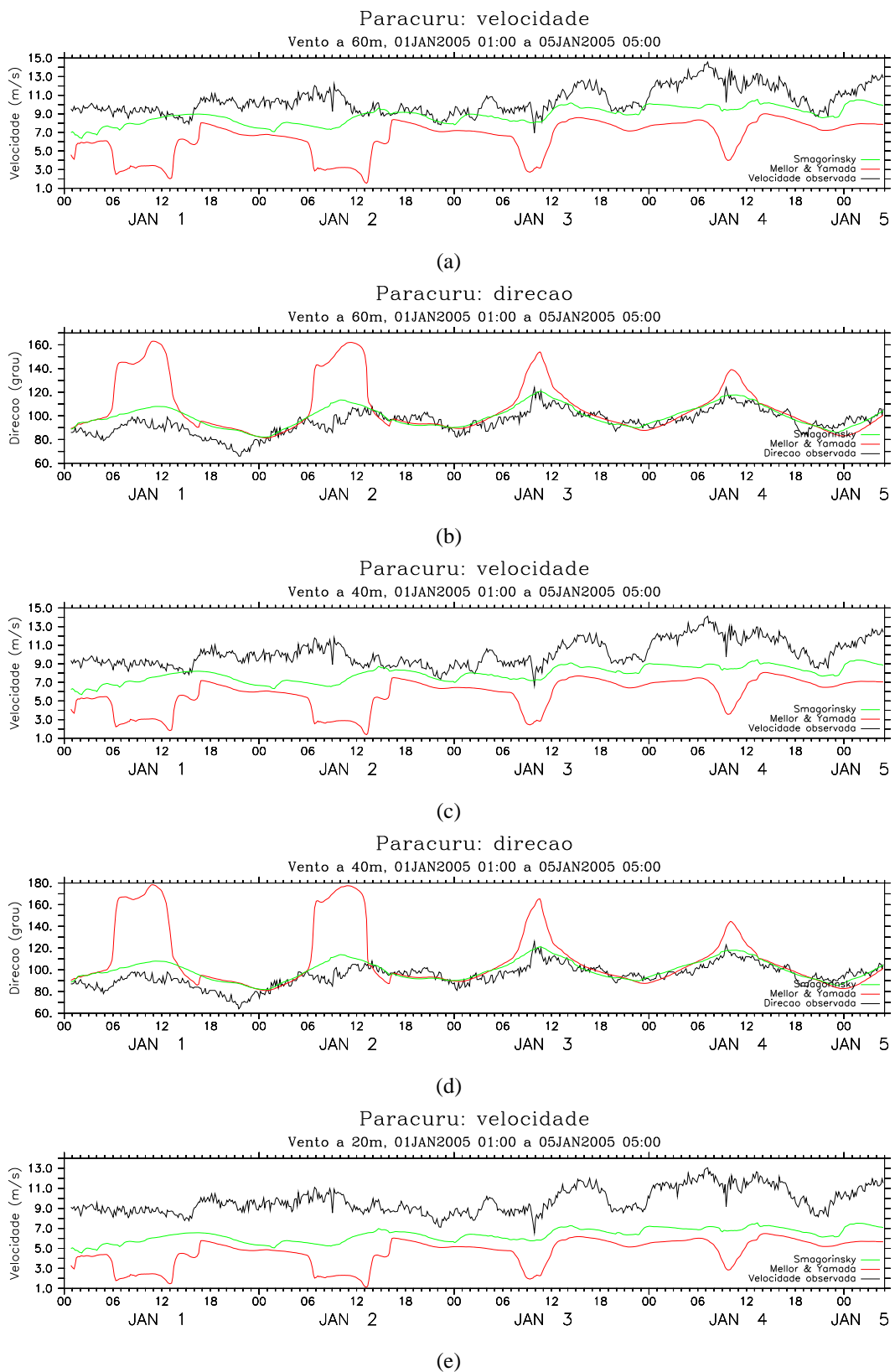


Figura 5.11: Séries temporais de velocidade do vento a (a) 60m, (c) 40m e (e) 20m, e direção a (b) 60m e (d) 40m acima do nível do solo para a localidade de **Paracuru**, onde a curva em preto representa as observações, em vermelho os resultados do modelo turbulência parametrizada por Mellor & Yamada, e em verde por Smagorinsky.

mento do viés com a redução da altitude, significando que, neste caso, a interpolação na vertical não foi muito precisa.

Para a direção do vento de Paracuru, mostrada nos painéis (b) e (d) da Figura 5.11, a parametrização de Mellor & Yamada leva a um ciclo diário caracterizado por ventos vindos de leste entre 1600Z e 0600Z e ventos vindos de sul-sudeste entre 0700Z e 1200Z, intercalados por rápidas variações. Em relação às observações, constata-se que o modelo acerta a fase do ciclo, mas erra na intensidade das variações, especialmente nos dois primeiros dias. Também pode-se inferir que os desvios diminuem com o passar dos dias. Enquanto isso, com o esquema proposto por Smagorinsky, as variações em escala diária são bem mais suaves, contando com acerto na fase mas presença de viés no primeiro dia e negligência às variabilidades de menor escala, devendo, contudo, culminar em melhores índices estatísticos. Esta análise é válida para os dois níveis verticais para os quais há disponibilidade de dados. Não fica claro pelos gráficos a influência da mudança de nível atmosférico.

		$b$	$A$	$E$	$\sigma_\psi$	$\sigma_\phi$	$R_\sigma$	$A_d$	$E_d$	$I_c$	$r$	Escores
60m	Vel.	M&Y	3,97	4,41	1,42	1,87	0,77	1,49	1,87	0,18	0,38	1
		SMA	1,62	2,03	1,42	0,93	1,52	0,99	1,20	0,42	0,54	14
	Dir.	M&Y	12,15	23,40	9,86	22,26	0,44	14,92	19,99	0,10	0,44	0
		SMA	4,70	8,39	9,86	9,13	1,08	5,61	6,93	0,59	0,74	15
40m	Vel.	M&Y	4,34	4,69	1,37	1,68	0,84	1,36	1,72	0,15	0,38	1
		SMA	2,23	2,52	1,37	0,84	1,64	0,96	1,16	0,30	0,54	14
	Dir.	M&Y	14,78	29,73	9,75	27,78	0,35	18,89	25,78	0,05	0,37	0
		SMA	4,80	8,54	9,75	9,28	1,05	5,70	7,03	0,58	0,73	15
20m	Vel.	M&Y	5,09	5,31	1,23	1,35	0,95	1,15	1,44	0,10	0,40	1
		SMA	3,42	3,58	1,23	0,67	1,85	0,85	1,01	0,15	0,57	14

Tabela 5.12: Intercomparação estatística das opções de parametrização de turbulência para a TA de **Paracuru**, com resultados do Viés estatístico ( $b$ ), Erro Absoluto Médio ( $A$ ), Erro Quadrático Médio ( $E$ ), Desvios Padrão observado ( $\sigma_\psi$ ) modelado ( $\sigma_\phi$ ) e a razão entre eles ( $R_\sigma$ ), Erro Absoluto Médio dos desvios ( $A_d$ ), Erro Quadrático Médio dos desvios ( $E_d$ ), Índice de Concordância ( $I_c$ ) e Correlação ( $r$ ) entre observações de velocidade do vento em três níveis verticais (60m, 40m e 20m acima da superfície) e direção em dois (60m e 40m).

Os valores expostos na Tabela 5.12 mostram que, senão pela semelhança entre os desvios padrão, a parametrização de Smagorinsky faz com que o modelo melhore em todos os índices estatísticos, referentes à velocidade do vento. Pode-se atribuir esta divergência entre os desvios padrão à variabilidade em menores escalas de tempo das observações, negligenciada pelo modelo numérico. Nota-se que os índices insensíveis ao viés, sendo o caso da correlação e dos erros médios dos desvios, aumentam conforme menor é a altitude. Ou seja, para os níveis atmosféri-

cos em que a turbulência se dá de forma mais efetiva, a estatística acusa melhor desempenho do modelo. Por outro lado, o aumento do viés com a redução da altitude, e dos índices que dele dependem, aponta para uma revisão da técnica de interpolação. Com o esquema de Mellor & Yamada, são obtidas correlações sensivelmente mais baixas. Os índices que dependem do viés, incluindo o próprio, são depreciados a ponto de fazer com que o esquema de Smagorinsky obtenha quantidade bem maior de escores, e possa, portanto, ser considerado mais adequado.

No que diz respeito à direção do vento na localidade de Paracuru, a Tabela 5.12 aponta, para ambos os níveis verticais, que melhores resultados são produzidos quando se opta pela parametrização de Smagorinsky. Trata-se principalmente de um reflexo do padrão de variação produzido com Mellor & Yamada, exposto na Figura 5.11, para os períodos entre 0600Z e 1200Z, em que se vê maior divergência relativa as observações, até mesmo porque nos demais períodos da série o modelo gera resultados parecidos entre si. Ao contrário do que ocorre para a velocidade, os índices estatísticos experimentam pequenas melhoras conforme são consideradas séries produzidas em níveis mais elevados da atmosfera, fato não evidenciado pelos gráficos.

De acordo com a Figura 5.12, os regulares e bem pronunciados ciclos diários de velocidade do vento da localidade de Camocim são detectados, mesmo que de forma não muito precisa, com qualquer das opções de esquema de turbulência do modelo numérico. Apesar de subestimar os valores da série em quase toda a totalidade, pode-se notar a concordância na representação da fase do ciclo diário. Outro ponto considerável é a magnitude dos máximos diários, sempre maiores com a parametrização de Smagorinsky, o que deve refletir positivamente no viés e nos índices que dele dependem. Os significativos desvios fazem com que, da maneira que estão expostas as séries, não se possa averiguar neste primeiro momento o efeito da mudança de nível atmosférico sobre as séries modeladas.

A direção do vento em Camocim, Figura 5.12 (b) e (d), tem seus ciclos diários bem estimados por ambas as simulações, com erros mais significativos apenas em alguns aspectos do padrão. Com a parametrização de Smagorinsky, o modelo numérico faz um excelente trabalho, sendo que os maiores desvios se dão por volta de 0600Z dos três últimos dias, podendo ainda se perceber esta tendência para o quinto dia, possivelmente por consequência de erros sistemáticos. Enquanto equipado com o esquema de Mellor & Yamada, o modelo apresenta resultados não tão bons, mas ainda razoáveis. Exceto pela brusca variação verificada nas primeiras horas do terceiro dia, é boa a concordância da fase do ciclo, mas não é difícil notar que são produzidos maiores desvios que com o outro esquema em quase toda a série. Em suma, pode-se prever que a estatística indique Smagorinsky como melhor opção.

Nos valores dados pela Tabela 5.14, vê-se que, para a velocidade do vento em Camocim, a

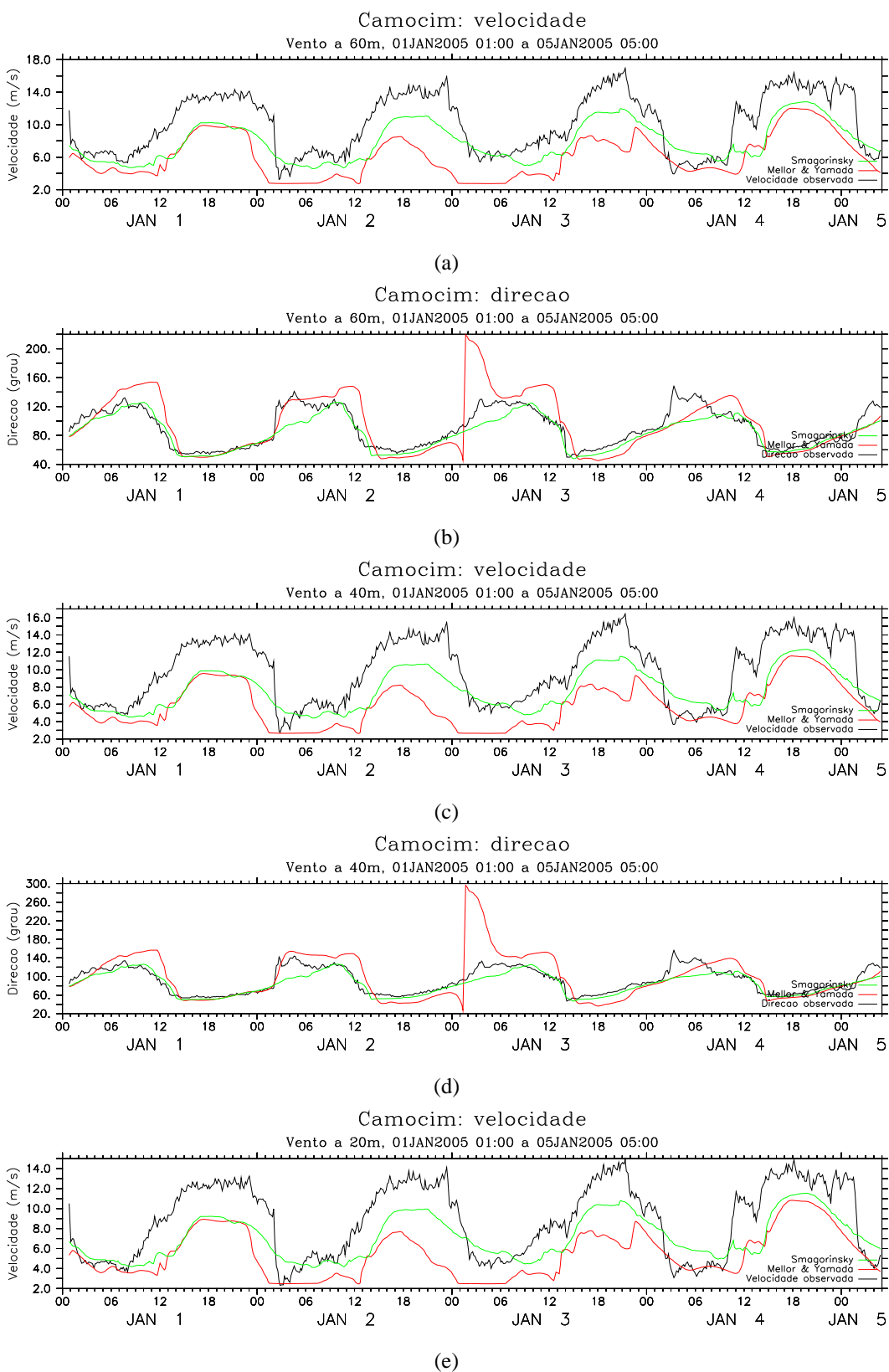


Figura 5.12: Séries temporais de velocidade do vento a (a) 60m, (c) 40m e (e) 20m, e direção a (b) 60m e (d) 40m acima do nível do solo para a localidade de **Camocim**, onde a curva em preto representa as observações, em vermelho os resultados do modelo turbulência parametrizada por Mellor & Yamada, e em verde por Smagorinsky.

		$b$	$A$	$E$	$\sigma_{\psi}$	$\sigma_{\phi}$	$R_{\sigma}$	$A_d$	$E_d$	$I_c$	$r$	Escores	
60m	Vel.	M&Y	4,08	4,10	4,69	3,67	2,60	1,41	1,81	2,31	0,57	0,78	1
		SMA	2,20	2,55	2,98	3,67	2,38	1,54	1,64	2,01	0,73	0,86	14
	Dir.	M&Y	4,98	17,33	24,93	26,56	39,30	0,68	18,00	24,43	0,68	0,79	1
		SMA	6,87	9,50	13,40	26,56	22,75	1,17	8,14	11,50	0,88	0,90	14
40m	Vel.	M&Y	3,97	3,99	4,62	3,70	2,50	1,48	1,90	2,37	0,56	0,78	1
		SMA	2,16	2,57	3,03	3,70	2,30	1,61	1,78	2,12	0,72	0,85	14
	Dir.	M&Y	7,72	22,24	34,58	27,46	48,87	0,56	23,14	33,70	0,55	0,75	0
		SMA	6,92	9,87	14,13	27,46	23,29	1,18	8,67	12,32	0,87	0,89	15
20m	Vel.	M&Y	3,42	3,47	4,14	3,61	2,34	1,54	1,93	2,34	0,58	0,77	1
		SMA	1,74	2,38	2,77	3,61	2,15	1,68	1,85	2,15	0,72	0,84	14

Tabela 5.14: Intercomparação estatística das opções de parametrização de turbulência para a TA de **Camocim**, com resultados do Viés estatístico ( $b$ ), Erro Absoluto Médio ( $A$ ), Erro Quadrático Médio ( $E$ ), Desvios Padrão observado ( $\sigma_{\psi}$ ) modelado ( $\sigma_{\phi}$ ) e a razão entre eles ( $R_{\sigma}$ ), Erro Absoluto Médio dos desvios ( $A_d$ ), Erro Quadrático Médio dos desvios ( $E_d$ ), Índice de Concordância ( $I_c$ ) e Correlação ( $r$ ) entre observações de velocidade do vento em três níveis verticais (60m, 40m e 20m acima da superfície) e direção em dois (60m e 40m).

parametrização de Mellor & Yamada leva a bons resultados, conforme indicado pela correlação para os três níveis verticais. Entretanto, o que os gráficos da Figura 5.12 não permitem que se conclua com segurança, fica numericamente evidente. O esquema de Smagorinsky leva a melhores acertos tanto no viés, conforme já era esperado, como na representação do ciclo diário observado. A única desvantagem desta opção é dada ao representar a variabilidade temporal observada, conforme indica a razão entre os desvios padrão,

### 5.3 Discussões complementares

Dos parâmetros testados neste trabalho, o esquema de turbulência é o único que envolve diretamente a Física do modelo, tendo não apenas por isso sua relevância reconhecida. Como se viu pelos gráficos das seções anteriores, este elemento tem efeito mais evidente sobre a representação dos campos de vento quando comparado ao efeito produzido por diferentes espaçamentos de grade.

A Tabela 5.15 compila os resultados apresentados e discutidos na Seção 5.1, onde se vê que, para a velocidade do vento, há uma equivalência na distribuição espacial, de maneira que cada opção se mostra melhor para a metade das localidades. Por outro lado, das nove PCDs consideradas, em apenas uma o esquema de Mellor & Yamada levou o modelo a um melhor conjunto de índices estatísticos.

Localidade	Velocidade	Direção
Beberibe	Smagorinsky	Smagorinsky
Aquiraz	Mellor & Yamada	–
Maranguape	Mellor & Yamada	Smagorinsky
Fortaleza	Smagorinsky	Smagorinsky
Caucaia	Smagorinsky	Smagorinsky
São Gonçalo do Amarante	Smagorinsky	Smagorinsky
Pacajus	Mellor & Yamada	Mellor & Yamada
Acaraú	Smagorinsky	Smagorinsky
Granja	Mellor & Yamada	Smagorinsky
Barroquinha	Mellor & Yamada	Smagorinsky

Tabela 5.15: Opção de parametrização de turbulência com maior quantidade de escores, por localidade (PCD) e variável.

Uma análise minuciosa da Tabela 5.15, em conjunto com a Figura 3.1, revela que as PCDs para as quais a parametrização de Smagorinsky leva à obtenção de mais escores estão dentre as mais próximas da faixa litorânea, enquanto o esquema de Mellor & Yamada é responsável pela maior concordância em apenas duas destas localidades. Complementarmente, para as três PCDs mais afastadas do litoral e nas regiões de relevo mais acidentado, esta segunda opção leva a obtenção de mais escores. Por ser objetivo deste trabalho a determinação das melhores configurações para o litoral, além de reforçado pelos resultados referentes à direção do vento, será a considerada a parametrização de Smagorinsky como mais adequada, de acordo com as PCDs.

Em adição, os gráficos das Figuras 5.11 e 5.12 mostram que esta opção de parametrização implica em melhores representações, tanto das séries de velocidade quanto direção do vento, fato reforçado pela estatística das Tabelas 5.12 e 5.14. Tratando-se de mais duas estações, já seria suficiente como argumentação a favor do esquema de Smagorinsky. Mas como discutido anteriormente, estas são medições de melhor qualidade, que representam os fenômenos físicos mais detalhadamente possibilitando uma avaliação mais robusta do modelo, além de implicar em maior precisão das estimativas estatísticas.



## 6 *Sensibilidade do modelo ao relaxamento newtoniano*

Finalizando os testes de sensibilidade, são mostrados aqui os resultados referentes à intercomparação das opções de escala de tempo do relaxamento newtoniano. Assim como no Capítulo 5 neste capítulo as exposições são feitas seguindo o modelo inaugurado no Capítulo 4, incluindo a interpolação empregada para redução das séries temporais nos pontos de grade para as coordenadas das estações de coleta de dados.

### 6.1 Plataformas de Coleta de Dados

Para a localidade de Beberibe, as representações geradas pelo modelo numérico são bastante modestas no que diz respeito à reprodução da intensidade das variações do ciclo diário observado para a velocidade do vento (Figura 6.1). As simulações com *nudging* em 12h e 24h apresentam resultados semelhantes entre si, enquanto a terceira opção diverge significativamente a partir do terceiro dia, não se tornando, com isso, mais parecida com as observações que as demais. Neste caso, o gráfico não permite avaliar qual a melhor opção.

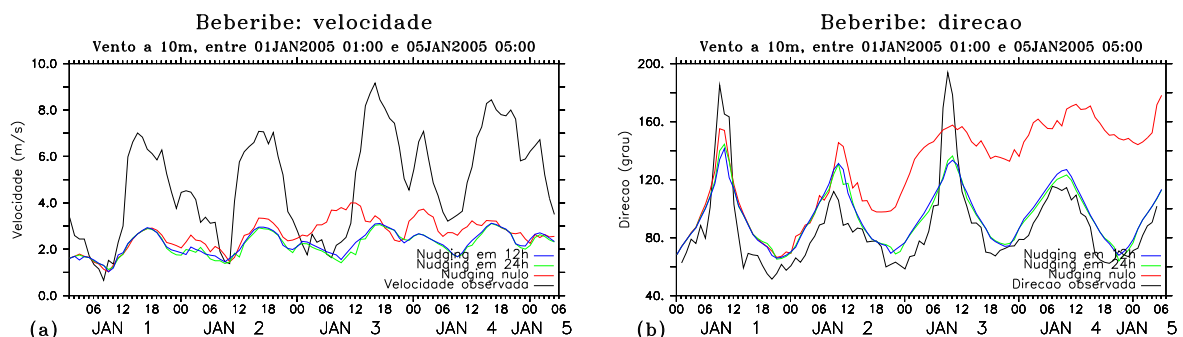


Figura 6.1: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Beberibe.

O modelo produz resultados interessantes para a direção do vento, conforme pode ser visto

na Figura 6.1, referente à PCD de Beberibe. É notável a representação dos ciclos diários, prejudicada pela presença de viés. A simulação onde não se faz relaxamento no centro da grade dá valores que passam a divergir significativamente a partir da metade do segundo dia e atenuam a intensidade das variações.

Índice	Velocidade			Direção		
	Inf.	24h	12h	Inf.	24h	12h
$b$	-2,177	-2,632	-2,578	39,713	7,333	7,775
$A$	2,422	2,665	2,623	42,915	13,057	13,935
$E$	2,923	3,167	3,122	49,720	16,559	17,651
$\sigma_{\psi}$	2,182	2,182	2,182	28,735	28,735	28,735
$\sigma_{\phi}$	0,656	0,501	0,493	30,536	19,298	19,378
$R_{\sigma}$	3,327	4,358	4,427	0,941	1,489	1,483
$A_d$	1,676	1,531	1,532	25,563	8,871	9,121
$E_d$	1,950	1,760	1,761	29,916	14,847	15,845
$I_c$	0,212	0,263	0,266	0,112	0,797	0,760
$r$	0,485	0,877	0,885	0,492	0,882	0,853
Escores	4,000	4,000	7,000	1,000	14,000	0,000

Tabela 6.1: Estatística da intercomparação das escalas de tempo de relaxamento newtoniano do modelo para a velocidade e direção do vento na localidade de Beberibe, onde  $b$  é o Viés Estatístico,  $A$  é o Erro Absoluto Médio,  $E$  é o Erro Quadrático Médio,  $R_{\sigma}$  é a razão entre os Desvios padrão,  $A_d$  é o Erro Absoluto Médio dos desvios,  $E_d$  é o Erro Quadrático Médio dos desvios,  $I_c$  é o Índice de Concordância e  $r$  é a Correlação. Para cada uma das opções avaliadas é dado também o total de escores obtidos.

Como consequência, a Tabela 6.1 atribui mais baixas correlações e índices de concordância para velocidade e direção resolvidas pelo o modelo numérico sem relaxamento, enquanto é verificada maior semelhança entre os desvios padrão observados. Por outro lado, as diferenças pouco distinguíveis pelos gráficos são convertidas em mais elevada correlação e índice de concordância por parte do modelo com relaxamento mais forte para a velocidade e, senão pela razão entre desvios padrão, melhores índices para a direção do vento quando o relaxamento é feito em escala de tempo de 24h.

As séries temporais expostas na Figura 6.2 evidenciam que, para a velocidade do vento em Aquiraz, o modelo prevê com sobrestimativas os ventos menos intensos, acompanhando o ciclo diário observado. Quando configurado com *nudging* nulo, apresenta pouca consistência. Escalas de tempo em 12h e 24h resultam em séries semelhantes entre si que, pelo gráfico, não fica nítido com qual se obtém melhores acertos.

A Tabela 6.2 revela que o relaxamento feito em 12h é mais adequado para este caso, especialmente por apresentar mais elevada correlação e índice de concordância. Com isso não se quer dizer que o relaxamento em 24h seja ruim, pois esta opção também levou o modelo a

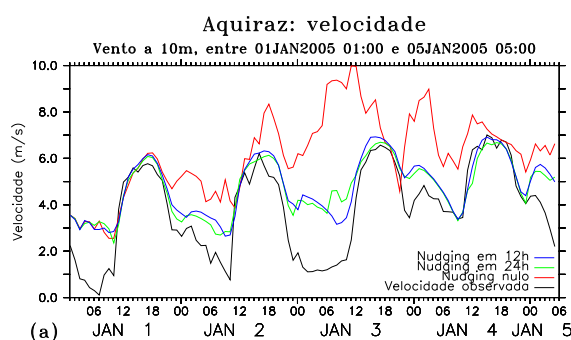


Figura 6.2: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Aquiraz.

alcançar bons índices. Porém, a ausência do relaxamento mostra-se mais uma vez inadequada.

Índice	Velocidade		
	Inf.	24h	12h
$b$	2,392	0,951	1,020
$A$	2,451	1,083	1,115
$E$	3,150	1,432	1,412
$\sigma_{\psi}$	1,931	1,931	1,931
$\sigma_{\phi}$	1,731	1,188	1,261
$R_{\sigma}$	1,116	1,627	1,533
$A_d$	1,531	0,880	0,810
$E_d$	2,049	1,069	0,975
$I_c$	0,020	0,527	0,542
$r$	0,378	0,871	0,897
Escores	1,000	2,000	12,000

Tabela 6.2: Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Aquiraz.

Em relação ao resultado gerado com *nudging* central em escala de tempo de 12h, a opção de 24h apresenta resultados sensivelmente mais ruidosos para a velocidade do vento em Maranguape, Figura 6.3. Por outro lado, estas opções se saíram parecidas entre si ao tentar reproduzir os padrões de escala diária. Sem o relaxamento, o modelo numérico gera estimativas que divergem substancialmente das observações.

Os ciclos diários de direção, presentes também no vento de Maranguape, são resolvidos com erros nos períodos em que vêm de lés-nordeste, quando se opta por 24h ou 12h para escala de tempo do *nudging*. Aquém da concordância com a fase observada, estas opções levam o modelo a resultados semelhantes entre si. A grande divergência fica por conta da nulidade do relaxamento, que passa a negligenciar o ciclo a partir da metade do terceiro dia.

A Tabela 6.3 indica que, para a velocidade do vento em Maranguape, escalas de tempo em

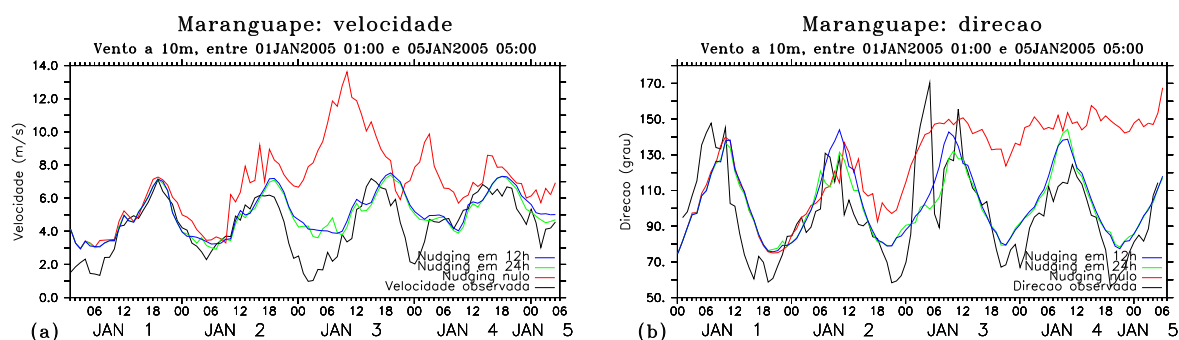


Figura 6.3: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Maranguape.

Índice	Velocidade			Direção		
	Inf.	24h	12h	Inf.	24h	12h
$b$	2,538	0,660	0,777	28,121	4,410	6,287
$A$	2,553	0,939	0,998	33,430	14,138	14,869
$E$	3,519	1,255	1,308	40,105	18,736	19,058
$\sigma_{\psi}$	1,673	1,673	1,673	25,496	25,496	25,496
$\sigma_{\phi}$	2,331	1,247	1,273	23,849	17,512	19,656
$R_{\sigma}$	0,718	1,341	1,314	1,069	1,456	1,297
$A_d$	1,836	0,863	0,849	23,383	12,905	12,595
$E_d$	2,438	1,067	1,051	28,591	18,193	17,973
$I_c$	0,005	0,585	0,543	0,050	0,592	0,597
$r$	0,294	0,771	0,778	0,330	0,701	0,712
Escores	1,000	6,000	8,000	1,000	3,000	11,000

Tabela 6.3: Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Maranguape.

12h e 24h levam a resultados praticamente equivalentes, não somente pela quantidade de escores obtida por cada opção como também pela pequena diferença entre os índices, permitindo concluir que a primeira opção leva a melhor concordância com a fase, enquanto a segunda induz a maior acerto no viés. Estas considerações aplicam-se também para a direção do vento, exceto para o índice de concordância. Nesta PCD pode-se aceitar a equivalência entre essas opções, mesmo havendo, para o caso da direção, significativamente superior acúmulo de escores por parte de uma delas. Para as duas variáveis, a ausência de relaxamento implica em impactos negativos sobre índices importantes como correlação e erros médios.

Para a PCD de Fortaleza, Figura 6.4, a opção pelo relaxamento em 24h leva a resultados com variabilidade sensivelmente maior quando comparado ao relaxamento mais forte, não evidenciando, com isso, aumento do acerto, tanto para velocidade quanto direção do vento, para as quais se tem boa representação se levadas em conta as observações. Entretanto, quando

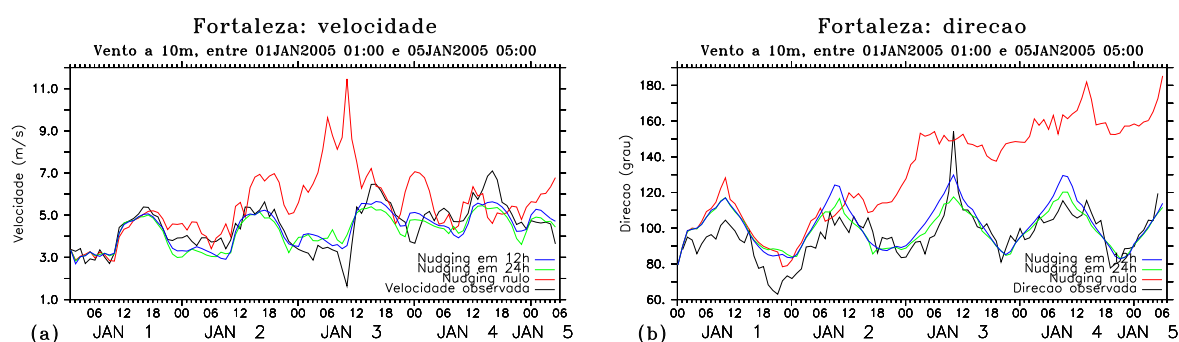


Figura 6.4: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Fortaleza.

configurado sem *nudging* central, o modelo se comporta de maneira insatisfatória.

Índice	Velocidade			Direção		
	Inf.	24h	12h	Inf.	24h	12h
$b$	1,017	-0,218	-0,110	35,068	3,641	5,601
$A$	1,289	0,543	0,466	35,247	7,455	8,479
$E$	2,069	0,678	0,591	41,665	9,438	10,158
$\sigma_{\psi}$	1,042	1,042	1,042	13,124	13,124	13,124
$\sigma_{\phi}$	1,519	0,759	0,832	26,847	10,065	12,545
$R_{\sigma}$	0,686	1,375	1,254	0,489	1,304	1,046
$A_d$	1,246	0,484	0,437	20,615	6,696	6,926
$E_d$	1,801	0,641	0,579	22,499	8,707	8,473
$I_c$	0,017	0,774	0,822	0,009	0,631	0,629
$r$	0,047	0,791	0,832	0,549	0,748	0,783
Escores	0,000	0,000	15,000	0,000	8,000	7,000

Tabela 6.4: Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Fortaleza.

A Tabela 6.4 revela que, para a velocidade na localidade de Fortaleza, ocorrem sensíveis melhoras a todos os índices quando se opta pela opção de *nudging* central mais forte, implicando no acúmulo máximo de escores. Para a direção, tais diferenças são bem mais sutis, levando a uma equilibrada distribuição dos escores entre as opções de relaxamento não-nulo. O melhor viés obtido com escala de tempo em 24h leva à um índice de concordância mais elevado e, mesmo com uma correlação menor, atinge maior quantidade de escores.

Os ciclos diários da velocidade do vento registrados pela PCD de Caucaia (Figura 6.5) são representados com boa concordância pelo modelo quando configurado com escalas de tempo não-nulas de relaxamento newtoniano central, exceto pelas sobrestimativas dos ventos mais fracos, por volta de 0000Z de cada dia. Os desvios mais significativos entre essas opções se dão regularmente por volta de 0600Z dos três últimos dias, onde o *nudging* mais fraco leva a

picos de intensidade em pequena escala de tempo, sequer exibidos nas observações. Quando executado sem *nudging*, o modelo desvia das observações com maiores discordâncias a partir do terceiro dia.

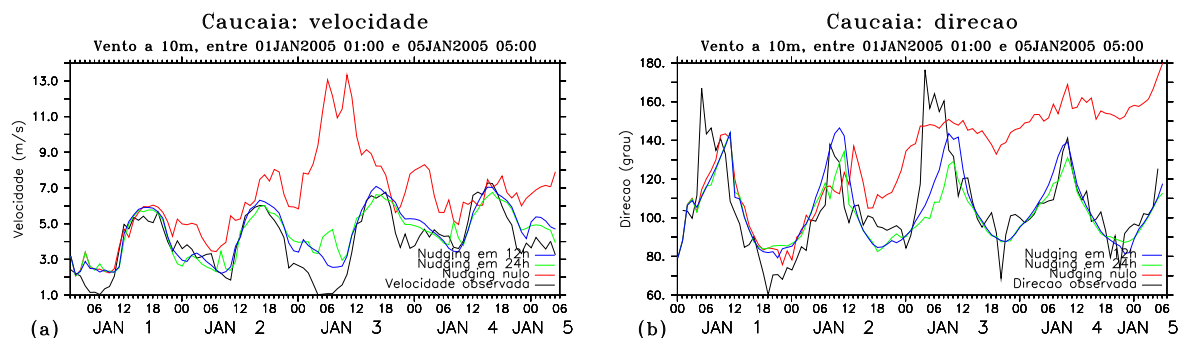


Figura 6.5: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Caucaia.

Para a direção do vento, o modelo apresenta, de maneira geral, boa representação do ciclo diário, quando configurado com relaxamento não-nulo. As objeções a serem feitas se referem a características localizadas do padrão observado em Caucaia (Figura 6.5), como os desvios que se vê por volta de 1800Z e a imprecisão constatada por volta de 0600Z do primeiro e do terceiro dia. Entretanto, é de se aceitar que as taxas de variação da direção são muito bem estimadas. A maior diferença entre estas opções é a maior variabilidade por parte do relaxamento mais fraco. A partir do terceiro dia, o modelo sem *nudging* central perde consistência.

Índice	Velocidade			Direção		
	Inf.	24h	12h	Inf.	24h	12h
$b$	2,434	0,478	0,519	25,253	-3,619	-0,794
$A$	2,500	0,844	0,752	30,332	11,492	11,332
$E$	3,627	1,097	0,936	36,257	17,654	16,307
$\sigma_{\psi}$	1,656	1,656	1,656	22,910	22,910	22,910
$\sigma_{\phi}$	2,338	1,282	1,454	25,158	14,259	18,341
$R_{\sigma}$	0,711	1,296	1,143	0,911	1,607	1,249
$A_d$	1,876	0,761	0,625	21,718	11,403	11,374
$E_d$	2,682	0,967	0,755	26,016	17,277	16,285
$I_c$	0,012	0,698	0,784	0,068	0,629	0,720
$r$	0,132	0,814	0,891	0,417	0,658	0,709
Escores	0,000	1,000	14,000	1,000	0,000	14,000

Tabela 6.5: Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Caucaia.

Pela Tabela 6.5, o relaxamento feito em escala de tempo em 12h leva a melhores resultados tanto para a direção quanto para a velocidade do vento na localidade de Caucaia, quando

comparado ao relaxamento feito em 24h, em particular pelo sensível aumento da correlação e melhora de algumas medidas de erro.

Em relação à PCD de São Gonçalo do Amarante, Figura 6.6, a velocidade do vento modelada apresenta, de maneira geral, concordância na fase e nas taxas de variação, quando usado relaxamento não-nulo. Ao que se pode perceber, os maiores desvios ocorrem entre 0000Z e 0600Z dos dias 1, 3 e 4, referente a períodos de ventos menos intensos. Com o relaxamento nulo, maiores divergências são vistas por volta de 0600Z do terceiro dia, tendo apresentado resultados satisfatórios até o final do segundo dia.

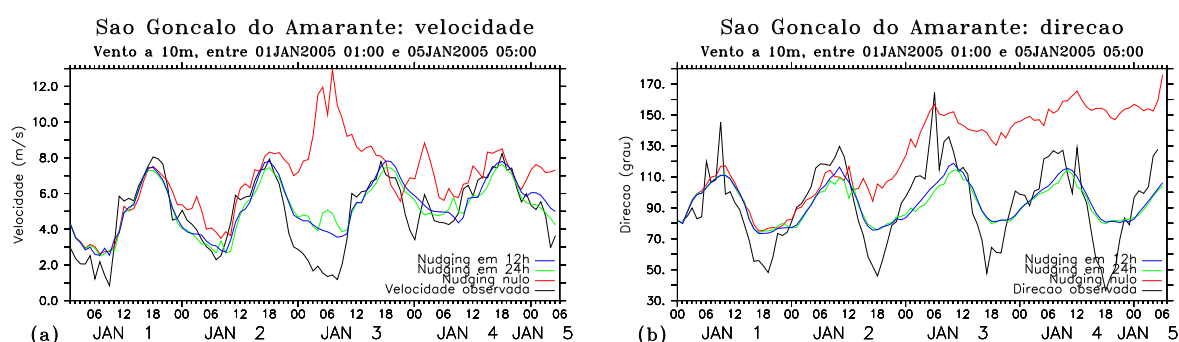


Figura 6.6: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de São Gonçalo do Amarante.

Índice	Velocidade			Direção		
	Inf.	24h	12h	Inf.	24h	12h
$b$	1,823	0,282	0,382	32,113	-0,453	0,617
$A$	2,019	0,878	0,830	35,132	15,175	14,114
$E$	3,131	1,193	1,075	44,227	18,424	17,413
$\sigma_{\psi}$	1,981	1,981	1,981	26,154	26,154	26,154
$\sigma_{\phi}$	2,060	1,399	1,507	26,990	11,624	12,911
$R_{\sigma}$	0,962	1,416	1,315	0,969	2,250	2,026
$A_d$	1,752	0,897	0,802	24,299	15,188	14,104
$E_d$	2,545	1,159	1,005	30,410	18,419	17,402
$I_c$	0,057	0,740	0,785	0,041	0,581	0,638
$r$	0,207	0,819	0,868	0,345	0,789	0,811
Escores	1,000	1,000	13,000	1,000	1,000	13,000

Tabela 6.6: Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de São Gonçalo do Amarante.

A direção é representada com negligências a alguns aspectos do ciclo observado, no qual, entre 0600Z e 1200Z o vento é de sudeste e, às 1800Z, atinge o outro extremo do ciclo, sendo de nordeste, com variabilidade diária bastante regular. Pela Figura 6.6, o modelo estima um menor intervalo de variação que o observado, tendo acertado a fase do ciclo, quando configurado com

*nudging* central em escalas de tempo de 12h ou 24h. Quando executado sem *nudging* central, o modelo apresenta comportamento aceitável somente até 0600Z do terceiro dia.

Pela estatística mostrada na Tabela 6.6, vê-se que, para direção e velocidade do vento em São Gonçalo do Amarante, melhores representações são obtidas quando o modelo é configurado com relaxamento newtoniano no centro da grade com escala de tempo em 12h. A mesma tabela mostra que bons resultados podem ser obtidos quando se usa a escala de tempo de 24h, o mesmo não podendo ser afirmado para o modelo sem relaxamento.

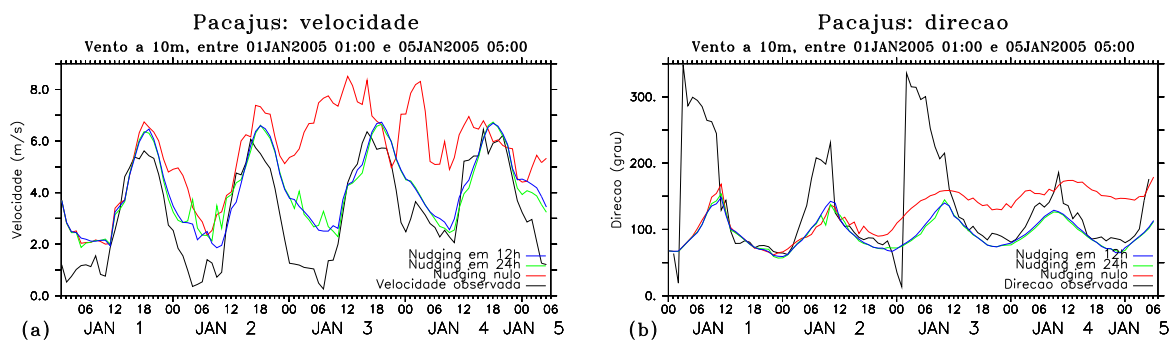


Figura 6.7: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Pacajus.

Índice	Velocidade			Direção		
	Inf.	24h	12h	Inf.	24h	12h
$b$	2,219	0,866	0,884	-8,804	-40,821	-39,832
$A$	2,255	1,043	1,048	54,160	45,306	44,303
$E$	2,832	1,292	1,251	77,814	79,897	78,998
$\sigma_{\psi}$	1,883	1,883	1,883	76,370	76,370	76,370
$\sigma_{\phi}$	1,740	1,403	1,449	32,776	22,177	22,713
$R_{\sigma}$	1,083	1,343	1,301	2,330	3,444	3,362
$A_d$	1,418	0,758	0,714	57,469	50,477	49,824
$E_d$	1,760	0,958	0,884	77,314	68,682	68,220
$I_c$	0,042	0,656	0,675	0,037	0,290	0,304
$r$	0,531	0,870	0,891	0,186	0,474	0,488
Escores	1,000	2,000	12,000	3,000	0,000	12,000

Tabela 6.7: Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Pacajus.

Quando comparados aos registros feitos pela PCD de Pacajus (Figura 6.7), os resultados do modelo para a velocidade do vento mostram-se satisfatórios, particularmente pelo acerto na representação da fase do ciclo diário, quando aplicada a técnica de *nudging*. As maiores divergências se dão no períodos de ventos mais fracos, onde fica claro que o modelo sobrestima o observado. Já para a direção, pode-se ver a ótima concordância nos intervalos entre 1200Z e



0000Z, intercalados por períodos de maior divergência, que coincidem com menor intensidade do vento. A partir do terceiro dia, os resultados gerados pelo modelo sem relaxamento passam a apresentar pouca concordância com as observações.

Recorrendo à Tabela 6.7, vê-se que o uso de relaxamento mais forte leva a sensíveis melhoras nos índices estatísticos, quando comparado à escala de tempo de 24h, culminando na obtenção de maior quantidade de escores. Entretanto, vale ressaltar que esta segunda opção ainda é válida, visto ter obtido bons índices se comparada à que é considerada melhor. Apenas na ausência de relaxamento o modelo gera resultados insatisfatórios.

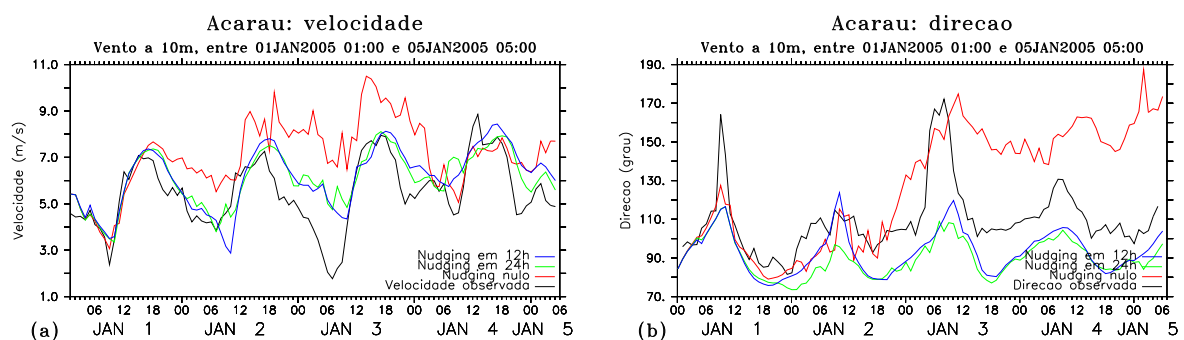


Figura 6.8: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Acaraú.

Índice	Velocidade			Direção		
	Inf.	24h	12h	Inf.	24h	12h
$b$	1,594	0,614	0,659	17,851	-19,348	-16,160
$A$	1,751	0,839	0,916	25,006	19,416	16,504
$E$	2,208	1,162	1,166	32,021	22,881	20,335
$\sigma_{\psi}$	1,468	1,468	1,468	17,358	17,358	17,358
$\sigma_{\phi}$	1,513	1,146	1,291	30,074	9,720	11,073
$R_{\sigma}$	0,971	1,282	1,138	0,577	1,786	1,568
$A_d$	1,223	0,767	0,740	23,979	7,703	7,765
$E_d$	1,528	0,986	0,962	26,583	12,214	12,344
$I_c$	0,086	0,565	0,580	0,174	0,475	0,550
$r$	0,476	0,742	0,764	0,478	0,731	0,707
Escores	1,000	3,000	11,000	1,000	8,000	6,000

Tabela 6.8: Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Acaraú.

Pela Figura 6.8, o modelo numérico com relaxamento newtoniano em escala de tempo de 12h ou 24h gera boas estimativas da velocidade do vento em Acaraú. Esta afirmação é sustentada pela concordância da fase do ciclo diário e pelas intensidades das variações. A maior divergência se dá entre 1500Z do segundo dia e 0900Z do terceiro, onde se tem os valores

sobrestimados pela simulação. A direção é representada com viés negativo já no primeiro dia, persistindo até o final do período. Contudo, apesar de pouco pronunciado nas observações, o ciclo diário é detectado. A maior diferença entre as opções de *nudging* se dá pela maior variabilidade da opção mais fraca.

A Tabela 6.8 mostra que, de fato, são pequenas as diferenças entre as simulações com relaxamento. Para a velocidade do vento, estas pequenas diferenças apontam que, com relaxamento mais forte, o modelo se sai melhor. Para a direção, os índices insensíveis ao viés fazem com que, mesmo sendo pequena a vantagem, a opção de relaxamento em escala de tempo de 24h se faz mas adequada. Por conta da maior variabilidade, a simulação sem relaxamento obtém um escore em cada variável, mostrando-se bem menos adequada que as outras opções.

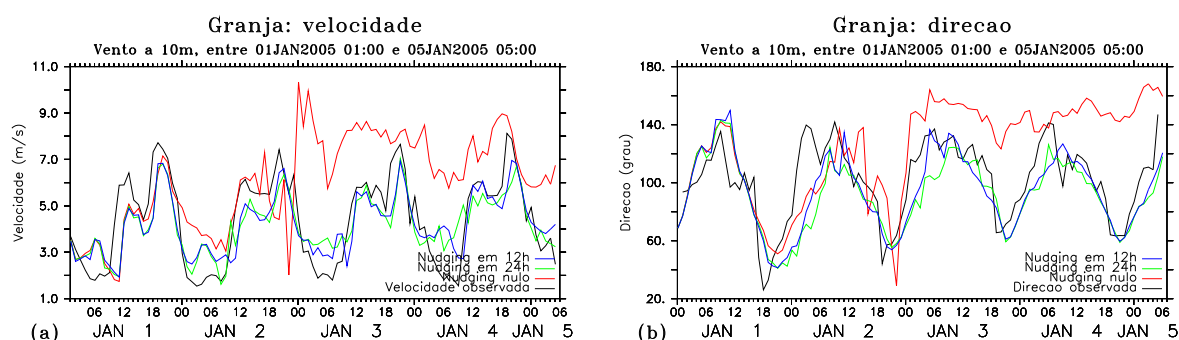


Figura 6.9: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Granja.

Índice	Velocidade			Direção		
	Inf.	24h	12h	Inf.	24h	12h
$b$	1,679	-0,207	-0,176	22,530	-9,988	-7,146
$A$	2,190	0,956	0,938	30,952	17,061	15,205
$E$	2,768	1,193	1,152	37,196	22,317	19,874
$\sigma_{\psi}$	1,889	1,889	1,889	26,464	26,464	26,464
$\sigma_{\phi}$	1,992	1,206	1,248	32,424	24,140	25,979
$R_{\sigma}$	0,948	1,566	1,513	0,816	1,096	1,019
$A_d$	1,772	0,926	0,923	23,650	14,381	13,556
$E_d$	2,201	1,175	1,138	29,596	19,956	18,544
$I_c$	0,080	0,747	0,771	0,057	0,639	0,708
$r$	0,358	0,799	0,812	0,510	0,693	0,750
Escores	1,000	0,000	14,000	0,000	0,000	15,000

Tabela 6.9: Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Granja.

A Figura 6.9 expõe as séries temporais de velocidade e direção do vento para a Localidade de Granja, observadas o modeladas. Pode-se ver que, para a primeira variável, as simulações

com *nudging* central fazem um excelente trabalho ao detectar não somente os ciclos diários, como os padrões característicos dos intervalos entre 1200Z e 1800Z, dados por mínimos relativos de intensidade. Não fica evidente pelo gráfico qual destas opções é mais adequada, mas pode-se concluir que o modelo sem *nudging* produz insatisfatórios, especialmente a partir do final do segundo dia.

No que se refere à direção do vento, é notável a concordância da fase do ciclo observado e, mais ainda, a habilidade do modelo em detectar a tendência em maior escala de tempo, caracterizada por intervalos cada vez menores de variação. Ainda assim são perceptíveis os erros de viés por ambas as opções de *nudging* não nulo. A Figura 6.9 também indica que, quando não aplicada a técnica de *nudging* central, há inconsistência após as primeiras horas do terceiro dia.

A Tabela 6.9 quantifica com bons índices de concordância e correlação as precisas representações feitas pelo modelo numérico, mostrando ser muito pequena a diferença de desempenho das simulações com relaxamento em 12h e 24h, nas estimativas de velocidade, ficando com a vantagem a primeira opção. Novamente, a ausência de relaxamento levou o modelo a uma variabilidade mais parecida com a observada, apenas. Para a direção, as diferenças entre os índices são mais significativas, dando mais firmeza ao resultado apontado pelos escores.

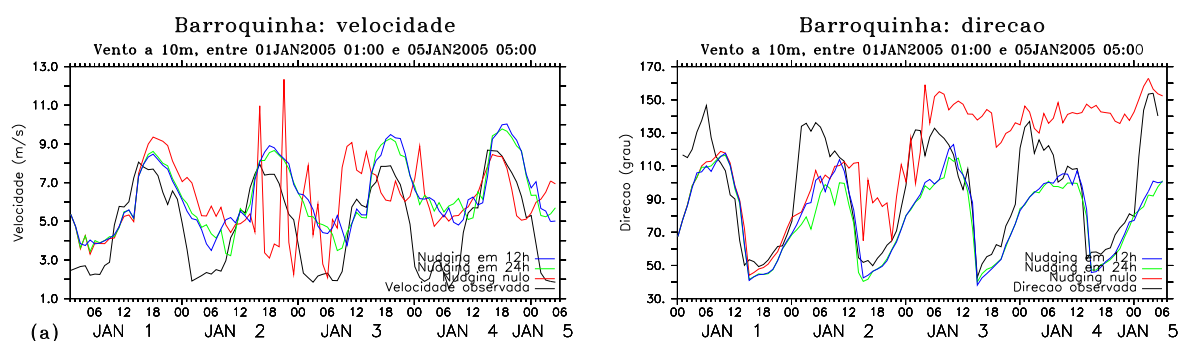


Figura 6.10: Séries temporais de (a) velocidade e (b) direção do vento observadas (em preto) e modeladas com escala de tempo de relaxamento newtoniano infinita (em vermelho), em 24h (em verde) e em 12h (em azul) para a localidade de Barroquinha.

Os gráficos de velocidade do vento para a localidade de Barroquinha (Figura 6.10), são caracterizados pela defasagem das séries modeladas, sobrestimativas dos ventos mais fracos, e acerto na representação das taxas de variação, em relação às observações, quando considerados os resultados para os quais se aplicou a técnica de relaxamento newtoniano no centro da grade. A não utilização da técnica leva a elevada variabilidade, especialmente no intervalo entre 1200Z do segundo e do terceiro dia, não ficando evidente ganho de performance para os demais períodos.

Índice	Velocidade			Direção		
	Inf.	24h	12h	Inf.	24h	12h
$b$	1,330	1,505	1,544	21,357	-16,605	-14,200
$A$	2,163	1,760	1,793	31,981	18,943	17,260
$E$	2,695	2,091	2,115	41,041	24,726	22,616
$\sigma_\psi$	2,261	2,261	2,261	31,580	31,580	31,580
$\sigma_\phi$	1,863	1,751	1,752	30,683	22,579	23,835
$R_\sigma$	1,214	1,292	1,291	1,029	1,399	1,325
$A_d$	1,903	1,171	1,170	28,285	14,471	13,947
$E_d$	2,344	1,451	1,446	35,047	18,321	17,602
$I_c$	0,200	0,435	0,417	0,118	0,716	0,753
$r$	0,367	0,767	0,769	0,367	0,821	0,834
Escores	2,000	5,000	8,000	1,000	0,000	14,000

Tabela 6.10: Assim como na Tabela 6.1, porém, para a localidade de Barroquinha.

Enquanto isso, para a direção, a Figura 6.10 mostra que o modelo acerta a fase do ciclo diário observado, produzindo algum viés e, mais relevante que isso, negligenciando uma característica do padrão temporal, referente aos máximos diários dos valores de direção, combinado a erros na estimativas das taxas de variação do mesmo período. Na ausência de relaxamento, resultados sem ligação com as observações são gerados a partir da metade do segundo dia.

## 6.2 Torres Anemométricas

No que se refere às Torres Anemométricas, para a localidade de Paracuru (Figura 6.11), vê-se que a velocidade do vento modelada com emprego da técnica de *nudging* central apresenta desvios significativos na maior parte do período, valendo destacar que a ausência de ciclo diário observado foi levada em conta nas simulações. Exceto pelas horas iniciais das séries, a maior diferença entre essas opções se dá pela maior variabilidade do relaxamento mais fraco, não sendo suficiente para indicar qual a melhor opção. Entretanto, quando configurado sem *nudging*, o modelo numérico chega a produzir notável acerto em alguns intervalos, produzindo, noutros intensas variações que não condizem com as observações. Quando comparados os resultados para os três níveis atmosféricos, nota-se sensível aumento do viés conforme se reduz a altitude.

Parte das considerações feitas sobre a velocidade são válidas para a direção do vento na TA de Paracuru, incluindo aquela sobre a relativa variabilidade entre as séries produzidas quando o modelo é configurado com relaxamento no centro da grade, e outra referente às intensas variações e ausência de correspondência com observações quando não aplicada a técnica de *nudging*. Os ciclos diários observados são detectados e não fica evidente qualquer efeito devido

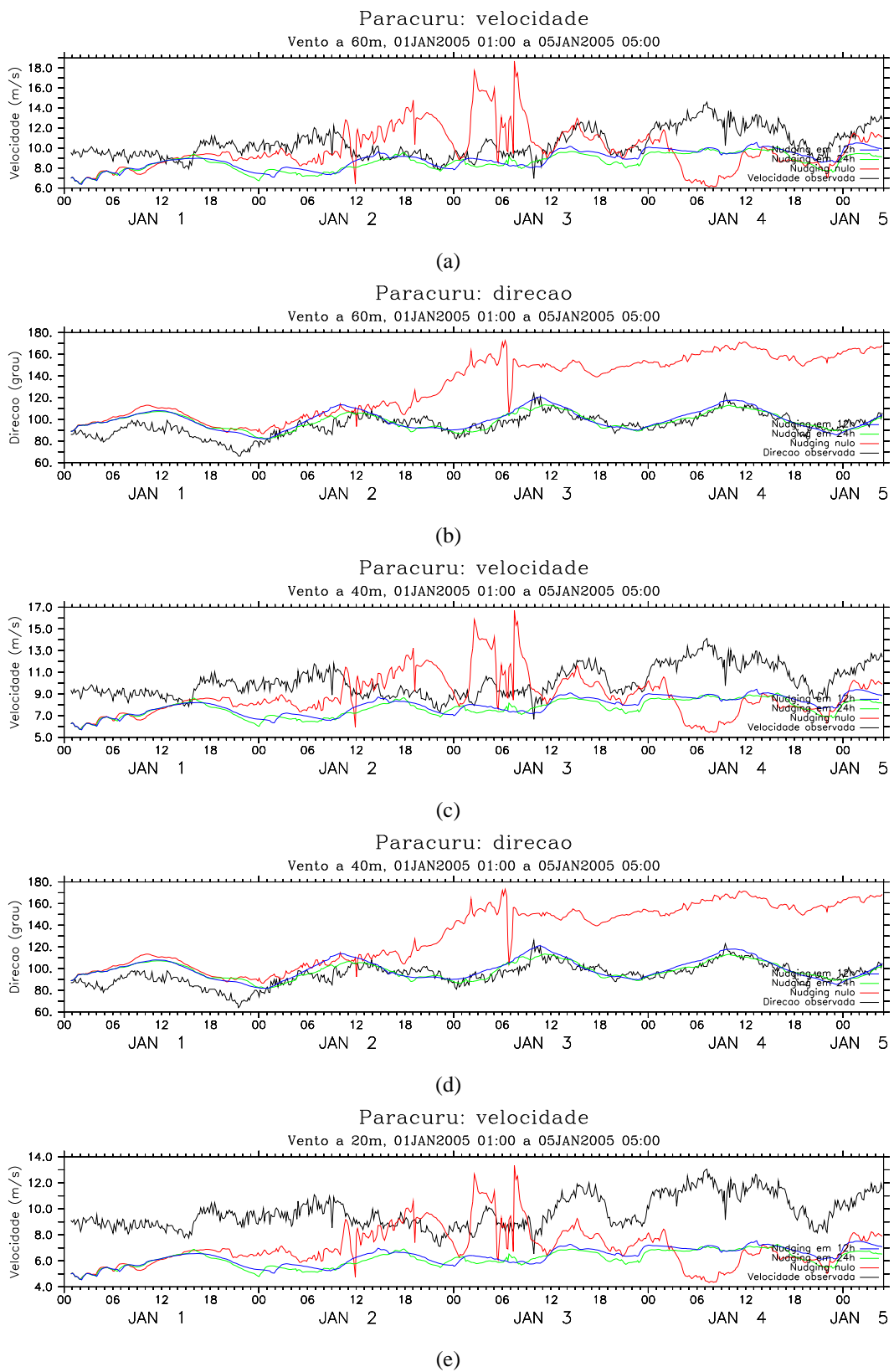


Figura 6.11: Séries temporais de velocidade do vento a (a) 60m, (c) 40m e (e) 20m, e direção a (b) 60m e (d) 40m acima do nível do solo para a localidade de **Paracuru**, onde a curva em preto representa as observações, em vermelho os resultados do modelo com escala de tempo infinita do relaxamento newtoniano, em verde para 24h e em azul para 12h.

a mudança de nível vertical.

A Tabela 6.12 confirma a melhora do viés com a elevação do nível atmosférico para a velocidade do vento, evidente na Figura 6.11. Não obstante, sem relaxamento newtoniano, são obtidos índices razoáveis, exceto pelas correlações negativas. Com vantagens pequenas para todos os índices, a melhor opção apontada para a velocidade é escala de tempo em 12h. Para a direção do vento, a ausência do *nudging* leva a elevado viés, depreciando os demais índices que dele dependem. Mesmo assim são conseguidos razoáveis índices de correlação. De maneira geral, para ambas as variáveis, a utilização de uma menor escala de tempo para o relaxamento newtoniano no centro da grade leva a pequenas, porém significativas, melhoras nos índices, fazendo desta a opção mais adequada para a localidade de Paracuru.

		$b$	$A$	$E$	$\sigma_{\psi}$	$\sigma_{\phi}$	$R_{\sigma}$	$A_d$	$E_d$	$I_c$	$r$	Escores	
60m	Vel.	Inf.	-0,60	2,20	2,90	1,42	2,15	0,66	2,03	2,80	0,28	-0,21	2
		24h	-1,88	1,94	2,24	1,42	0,84	1,69	0,99	1,20	0,50	0,53	0
		12h	-1,62	1,71	2,03	1,42	0,93	1,52	0,99	1,20	0,54	0,54	13
	Dir.	Inf.	36,25	36,29	42,67	9,86	27,03	0,36	21,05	22,50	0,32	0,60	0
		24h	3,33	5,94	7,92	9,86	7,63	1,29	5,70	7,17	0,79	0,69	3
		12h	4,70	6,64	8,39	9,86	9,13	1,08	5,61	6,93	0,81	0,74	12
40m	Vel.	Inf.	-1,32	2,40	2,96	1,37	1,92	0,72	1,88	2,59	0,30	-0,21	2
		24h	-2,46	2,48	2,73	1,37	0,76	1,80	0,97	1,18	0,46	0,52	0
		12h	-2,23	2,25	2,52	1,37	0,84	1,64	0,96	1,16	0,49	0,54	13
	Dir.	Inf.	36,69	36,73	43,14	9,75	27,23	0,36	21,23	22,69	0,31	0,61	0
		24h	3,38	6,02	8,01	9,75	7,72	1,26	5,78	7,23	0,78	0,68	3
		12h	4,80	6,78	8,54	9,75	9,28	1,05	5,70	7,03	0,80	0,73	12
20m	Vel.	Inf.	-2,70	3,10	3,54	1,23	1,53	0,82	1,56	2,14	0,30	-0,18	4
		24h	-3,60	3,60	3,75	1,23	0,61	2,04	0,86	1,03	0,37	0,55	0
		12h	-3,42	3,42	3,58	1,23	0,67	1,85	0,85	1,01	0,39	0,57	11

Tabela 6.12: Intercomparação estatística das opções de relaxamento newtoniano para a TA de **Paracuru**, com resultados do Viés estatístico ( $b$ ), Erro Absoluto Médio ( $A$ ), Erro Quadrático Médio ( $E$ ), Desvios Padrão observado ( $\sigma_{\psi}$ ) modelado ( $\sigma_{\phi}$ ) e a razão entre eles ( $R_{\sigma}$ ), Erro Absoluto Médio dos desvios ( $A_d$ ), Erro Quadrático Médio dos desvios ( $E_d$ ), Índice de Concordância ( $I_c$ ) e Correlação ( $r$ ) entre observações de velocidade do vento em três níveis verticais (60m, 40m e 20m acima da superfície) e direção em dois (60m e 40m).

A maior divergência entre os resultados das simulações equipadas com a técnica do relaxamento newtoniano no centro da grade fica por conta da maior variabilidade relativa a uma maior escala de tempo, como se vê na Figura 6.12 para a localidade de Camocim, seja qual for a variável ou o nível atmosférico considerados. Se este efeito traz algum ganho de desempenho, não é pelos gráficos que isso fica evidente. Contudo, fica claro que a ausência da técnica leva



às maiores discordâncias com as observações, especialmente pelo intervalo entre 1200Z do segundo dia e 0600Z do terceiro. No que diz respeito à mudança de nível vertical, não se pode ter certeza dos efeitos sobre os índices estatísticos.

		$b$	$A$	$E$	$\sigma_{\psi}$	$\sigma_{\phi}$	$R_{\sigma}$	$A_d$	$E_d$	$I_c$	$r$	Escores	
60m	Vel.	Inf.	-2,20	2,99	3,83	3,67	2,37	1,55	2,57	3,13	0,65	0,53	0
		24h	-2,16	2,64	3,05	3,67	2,35	1,56	1,75	2,16	0,77	0,83	1
		12h	-2,20	2,55	2,98	3,67	2,38	1,54	1,64	2,01	0,79	0,86	14
	Dir.	Inf.	30,25	36,15	46,57	26,56	32,66	0,81	30,55	35,41	0,52	0,30	0
		24h	-9,72	11,91	17,22	26,56	21,29	1,25	10,46	14,21	0,87	0,85	0
		12h	-6,87	9,50	13,40	26,56	22,75	1,17	8,14	11,50	0,92	0,90	15
40m	Vel.	Inf.	-2,18	2,99	3,83	3,70	2,28	1,62	2,61	3,15	0,65	0,53	0
		24h	-2,12	2,67	3,11	3,70	2,27	1,63	1,89	2,27	0,76	0,81	1
		12h	-2,16	2,57	3,03	3,70	2,30	1,61	1,78	2,12	0,78	0,85	14
	Dir.	Inf.	30,39	36,95	47,38	27,46	32,96	0,83	31,28	36,35	0,52	0,29	1
		24h	-9,90	12,33	18,12	27,46	21,76	1,26	11,01	15,18	0,86	0,83	0
		12h	-6,92	9,87	14,13	27,46	23,29	1,18	8,67	12,32	0,92	0,89	14
20m	Vel.	Inf.	-1,79	2,80	3,54	3,61	2,13	1,69	2,57	3,05	0,66	0,54	0
		24h	-1,70	2,46	2,86	3,61	2,13	1,70	1,96	2,29	0,77	0,80	1
		12h	-1,74	2,38	2,77	3,61	2,15	1,68	1,85	2,15	0,79	0,84	14

Tabela 6.14: Intercomparação estatística das opções de relaxamento newtoniano para a TA de **Camocim**, com resultados do Viés estatístico ( $b$ ), Erro Absoluto Médio ( $A$ ), Erro Quadrático Médio ( $E$ ), Desvios Padrão observado ( $\sigma_{\psi}$ ) modelado ( $\sigma_{\phi}$ ) e a razão entre eles ( $R_{\sigma}$ ), Erro Absoluto Médio dos desvios ( $A_d$ ), Erro Quadrático Médio dos desvios ( $E_d$ ), Índice de Concordância ( $I_c$ ) e Correlação ( $r$ ) entre observações de velocidade do vento em três níveis verticais (60m, 40m e 20m acima da superfície) e direção em dois (60m e 40m).

Pelas correlações mais baixas e medidas de erro significativamente maiores, o modelo sem relaxamento newtoniano se faz definitivamente inferior às demais opções, seja para a velocidade ou direção do vento, conforme se pode conferir pela Tabela 6.14 com as estimativas estatísticas para a localidade de Camocim. Dentre as opções de escalas de tempos finitas, sensíveis melhoras nos índices são obtidas quando se aplica um valor menor, referente ao *nudging* central mais forte, implicando na aquisição de maior quantidade de escores. Estas considerações valem para ambas as variáveis, em qualquer nível atmosférico.

Para a velocidade do vento, a Tabela 6.14 acusa que elevação do nível vertical leva a piora do viés ao mesmo tempo em que as correlações melhoram, permitindo supor que o modelo numérico é mais habilidoso ao estimar campos de vento em níveis superiores e que a interpolação está mais ajustada para os níveis mais próximos da superfície, ao menos para esta localidade, sendo estas considerações válidas também para a direção.



## 6.3 Discussões complementares

De acordo com a Tabela 6.15, não restam dúvidas que o relaxamento feito em escala de tempo de 12h no centro da grade é mais adequado para representação dos campos de vento pelo modelo numérico.

Localidade	Velocidade	Direção
Beberibe	12h	24h
Aquiraz	12h	–
Maranguape	12h	12h
Fortaleza	12h	24h
Caucaia	12h	12h
São Gonçalo do Amarante	12h	12h
Pacajus	12h	12h
Acaraú	12h	24h
Granja	12h	12h
Barroquinha	12h	12h

Tabela 6.15: Opção de escala de tempo do relaxamento newtoniano com maior quantidade de escores, por localidade (PCD) e variável.

Todavia, é bom lembrar que foram pequenas as diferenças entre os índices obtidos com a opção de *nudging* mais fraco, significando que esta não é uma opção ruim, mas apenas não é a melhor dentre as testadas aqui.

Em síntese, estes testes permitem verificar que o aumento da variabilidade, consequência da menor intensidade do relaxamento no centro da grade, não é convertido em aumento de desempenho do modelo. Isto não elimina a possibilidade de obtenção de melhores resultados com um valor intermediário para a escala de tempo, e nada indica sobre a utilização de valores menores que o considerado melhor.

Em adição, fica constatada a importância desta técnica, visto que, sem ela, o modelo numérico exibe comportamentos certas vezes difíceis de aceitar. Tratando-se de previsões precisas, esta se faz, particularmente em relação às demais avaliadas, uma opção impraticável.

## 7 *Conclusões*

De acordo com o apresentado nos Capítulos 1, 2 e 3, este trabalho tem como proposta a determinação das melhores configurações do modelo RAMS 6.0 para previsões de vento, visando a geração de Energia Eólica, fazendo-se necessária a limitação da avaliação para algumas opções de alguns parâmetros, dada a grande quantidade de possíveis configurações.

Sendo o espaçamento da grade horizontal, a parametrização de turbulência e a escala de tempo do relaxamento newtoniano os parâmetros examinados, foi desenvolvido e aplicado um método de intercomparação estatística, tendo em vista a escolha criteriosa e objetiva da melhor opção testada em cada conjunto de simulações, cujos resultados são apresentados nos Capítulos 4, 5 e 6. Pode-se ainda afirmar que o método de intercomparação passou por validação, no momento em que os escores atribuídos por ele, para cada configuração do modelo, concordam, em geral, com a análise qualitativa feita com os gráficos das séries temporais.

Os testes de sensibilidade ao espaçamento de grade horizontal, apresentados no Capítulo 4, se mostraram eficazes ao apontar objetivamente que grades mais finas têm impacto positivo sobre a qualidade das representações feitas pelo modelo numérico, não somente por se tratar de uma rede mais densa de informações sobre os fenômenos estudados, mas porque a modelagem de determinados processos físicos (convecção, interação do escoamento atmosférico com a topografia e desenho da costa, por exemplo) se beneficiam da alta resolução. Alguns aspectos revelam que a Física é resolvida com mais precisão – o que fica evidente com os resultados para as Torres Anemométricas.

Outro ponto importante relacionado à resolução da grade está associado à avaliação estatística com uso das observações. Enquanto feita com as PCDs, a comparação não torna tão nítida a vantagem da utilização de grades de resolução maior, fazendo com que, devido o significativo aumento do custo computacional, aparentemente não se justifique o seu uso em previsões operacionais. Entretanto, a mesma estatística feita com as TAs deixa claro o efeito positivo obtido com a redução do espaçamento da grade horizontal.

Esta é uma constatação importante se levada em conta a possibilidade de testes com grades

ainda mais finas. Na medida em que as PCDs não são suficientemente conclusivas em apontar como melhor a grade espaçada em 1Km, é de se considerar a necessidade de observações com maior qualidade, no que se refere, principalmente, à resolução temporal dos registros.

Com os testes dos esquemas de turbulência, pôde-se verificar que, para o litoral, a parametrização proposta por Smagorinsky leva o modelo numérico aos melhores resultados. Paralelamente, as avaliações indicaram que a parametrização formulada por Mellor e Yamada (1974, 1982) parece ser responsável pela melhor representação conforme se afasta do litoral. Entretanto, seriam necessárias mais oportunidades para se chegar a uma conclusão definitiva. É possível que tais discrepâncias estejam relacionadas a habilidade dos esquemas de fechamento de turbulência em representar a camada limite atmosférica em diferentes condições de estabilidade (convectiva e estável sobre o continente, aproximadamente neutra sobre o oceano).

Quanto aos testes de sensibilidade à escala de tempo do relaxamento newtoniano, o modelo numérico mostra-se dependente desta técnica, no que diz respeito a representações mais próximas dos fenômenos estudados. A ausência de *nudging* central leva a resultados que muito divergem das observações, mostrando a necessidade do termo adicional nas equações do modelo. Com isso, também se fez possível a escolha de um entre dois valores para a escala de tempo, na medida em que um relaxamento mais fraco levava a maior variabilidade, que não se converteu em ganho de performance. Tais testes não são suficientes para determinação da melhor configuração dentre todas as possíveis, mas fornecem um indicativo geral do benefício desta técnica, juntamente com o *nudging* lateral, para manter o modelo produzindo resultados realistas.

Dentre os parâmetros avaliados, pode-se identificar a turbulência como o de maior efeito sobre os resultados do modelo numérico. Vê-se que os resultados produzidos pelas diferentes opções usadas nos demais parâmetros levam a representações cujas diferenças entre si nem sempre são tão evidentes. Isto pode ser explicado se considerado que a parametrização de turbulência afeta diretamente a Física do modelo.

Com a determinação das melhores opções para cada um dos parâmetros estudados, pode-se utilizar o modelo configurado para uma análise e discussão dos campos de vento produzidos com uso de tais configurações, feita em seguida. Uma listagem das configurações é dada integralmente no Apêndice A.

Nas Figuras 7.1, 7.2, 7.3 e 7.4 são apresentados os mapas de cores da intensidade do vento, acompanhados de vetores indicando a direção, mapas de contorno do relevo e limites políticos dos municípios. Os gráficos correspondem às médias ao longo dos quatro dias, para os horários 0300Z e 0600Z (7.1), 0900Z e 1200Z (7.2), 1500Z e 1800Z (7.3), 2100Z e 2400Z (7.4), dando

uma idéia do padrão de circulação diário médio do período simulado, sobre a Grade 3 do modelo.

Sobre o oceano, em média, observa-se que a variação da direção do vento é da ordem de  $45^\circ$ , enquanto a velocidade varia entre 6m/s e 9m/s, apresentando, em geral, pouca variabilidade espacial. Ao longo da faixa litorânea se verifica acentuado gradiente da intensidade do vento, associado à mudança do comprimento de rugosidade, o que nem sempre é tão claro para a direção. No continente, é nítida a influência da topografia sobre o campo, que se constata pela variabilidade espacial das variáveis em questão.

Pode-se identificar o sistema de brisa afetando a direção do vento, primariamente regida pelos Alísios. Este é o fenômeno responsável pelos ventos de leste, enquanto aquele leva às variações em torno do eixo longitudinal. Convém destacar o efeito da topografia, ficando clara a correspondência entre elevação do terreno e intensidade do vento em certos momentos do dia.

Para a Grade 4, as Figuras 7.5 e 7.6 mostram um intervalo bem maior de variação da direção do vento, dado pela configuração local, na qual a faixa litorânea é, aproximadamente, paralela aos Alísios. Desta forma, as diferenças de temperatura entre continente e oceano, que variam ao longo do dia, são responsáveis pelo sistema de brisa, que dá sua contribuição ao padrão de circulação de grande escala. Notadamente, parece pequena a influência da topografia sobre esta variável.

Por outro lado, a velocidade mostra-se mais sensível aos efeitos do relevo, na medida em que as maiores alterações do padrão espacial coincidem com a faixa litorânea, quando não com as regiões onde são mais intensas as irregularidades da topografia.

Faz-se necessário destacar que, para as duas grades, os máximos de intensidade ocorrem sobre o continente, em diferentes horários. Na Grade 4, são verificados na faixa litorânea, às 1800Z, enquanto na Grade 3, ocorrem sobre as áreas mais elevadas, onde o padrão se mantém desde as 0300Z até as 0900Z.

Os resultados também reforçam a importância da modelagem numérica como instrumento na implementação e manutenção de energias alternativas, em especial a eólica. Este trabalho dá um indício do que seria um par modelo-configuração satisfatório, mas deixa espaço para avanços, na medida em que muitos aspectos não foram explorados, dentre eles, os parâmetros não avaliados.

É perfeitamente plausível que diferentes opções para os parâmetros não examinados aqui possam resultar em melhoras no desempenho do modelo, podendo ser o caso dos dados utilizados para a inicialização do modelo (caracterização da superfície e dados de grande escala),

grade vertical do modelo, ou mesmo das demais parametrizações, como convecção e radiação, servindo de indicação para trabalhos futuros.

Outras possibilidades incluem a incorporação dos dados observados – os mesmos usados nas avaliações – como condições de fronteira espaço-temporal, por meio do relaxamento newtoniano, e assimilação de dados provenientes de outras fontes, como satélites ou radar. A estatística pode ser estendida, por meio de técnicas de correção da saída do modelo, para obtenção de melhoras nos resultados. Com os testes das parametrizações de turbulência, fica a idéia de que o emprego de previsão por conjunto melhoraria a distribuição espacial do acerto. Todas essas são possibilidades que, devidamente arranjadas, levariam a uma excelente ferramenta operacional de previsão de ventos para geração de energia eólica.

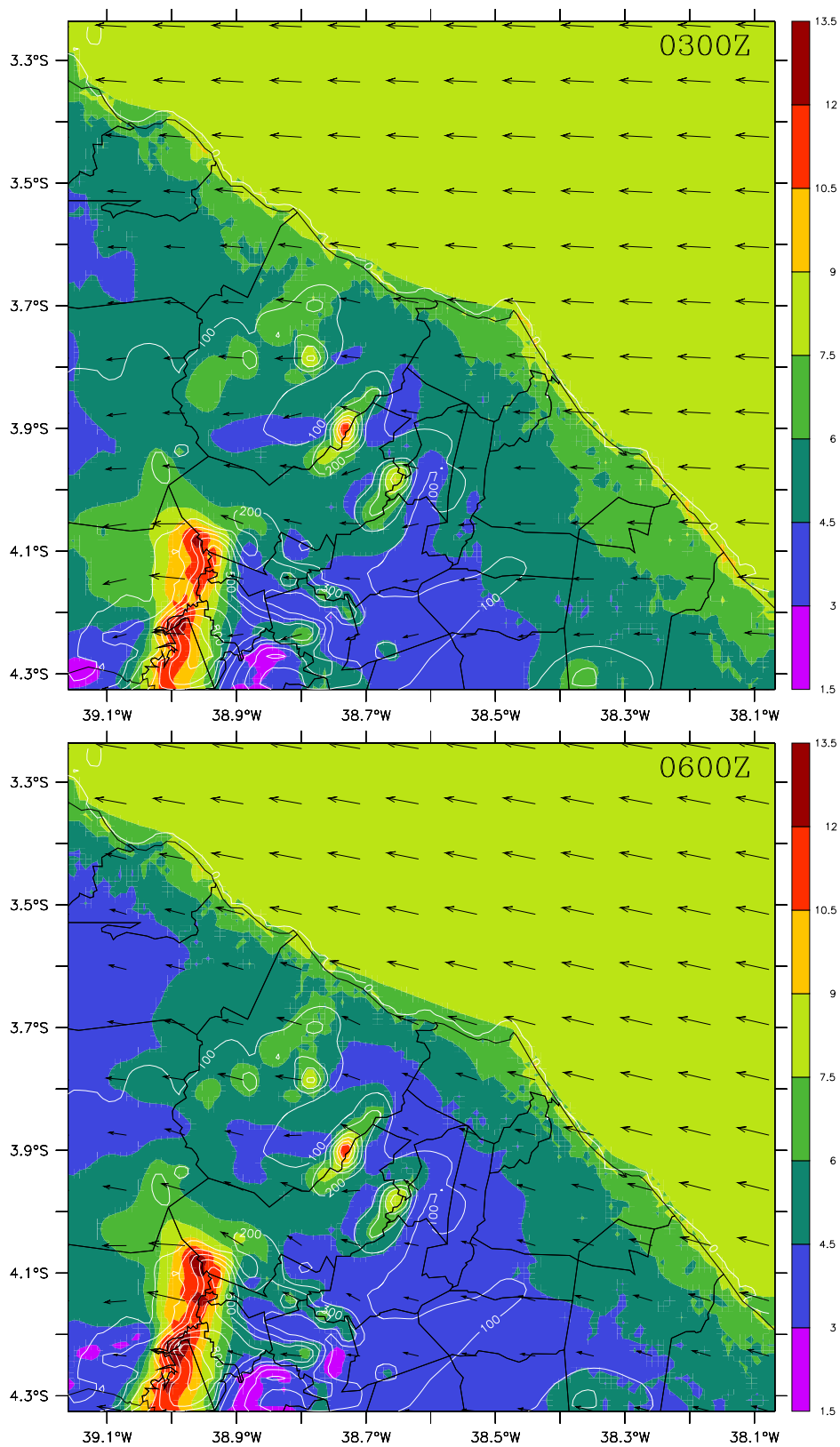


Figura 7.1: Campo de vento a 60m acima da superfície para a **Grade 3**, onde as cores indicam a intensidade, os vetores a direção, as curvas de nível da topografia são dadas em linha branca e divisões políticas em linha preta, referente a médias integradas para 0300Z (painel superior) e 0600Z (inferior) ao longo dos quatro dias simulados.

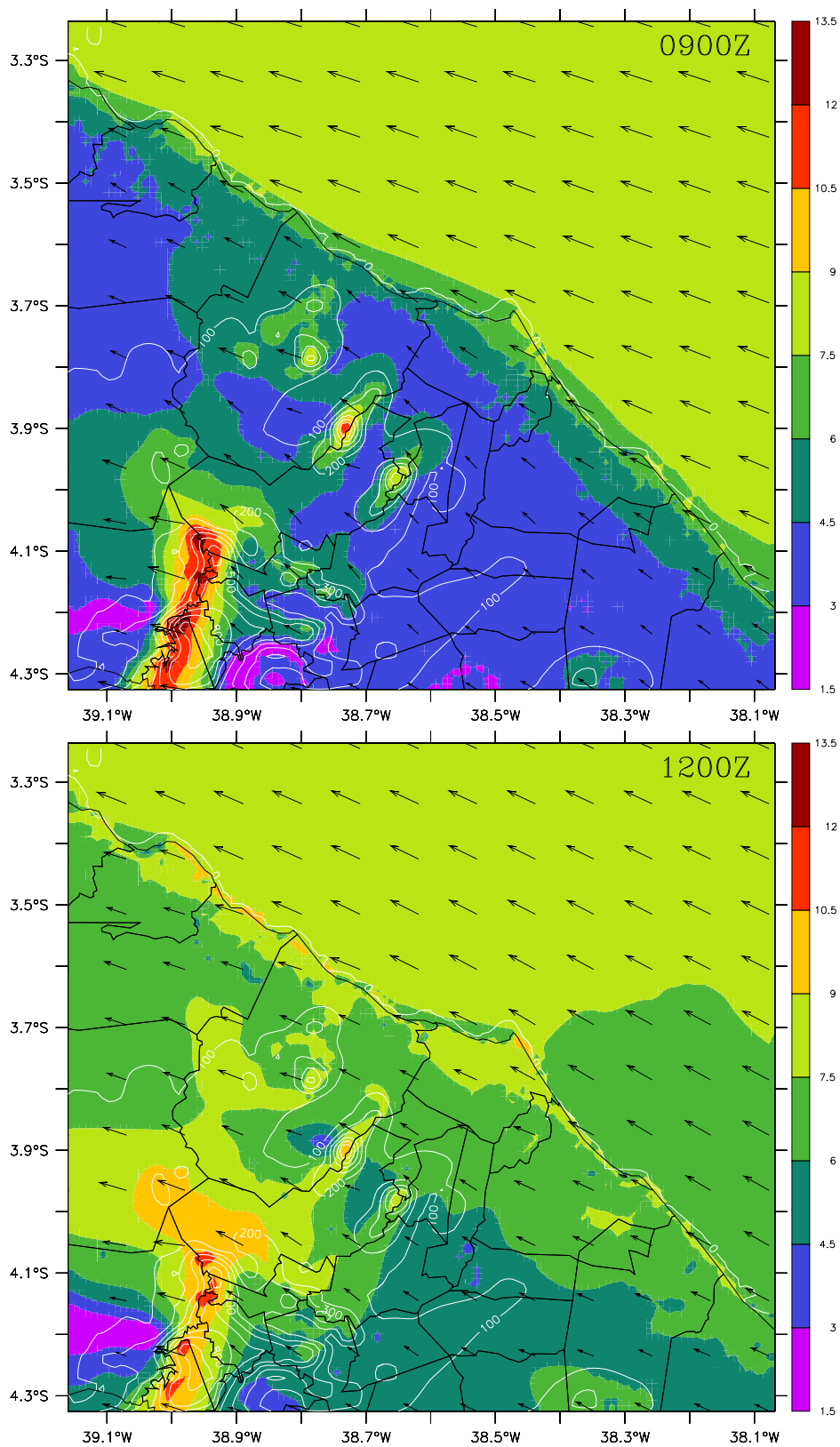


Figura 7.2: Campo de vento a 60m acima da superfície para a **Grade 3**, onde as cores indicam a intensidade, os vetores a direção, as curvas de nível da topografia são dadas em linha branca e divisões políticas em linha preta, referente a médias integradas para 0900Z (painel superior) e 1200Z (inferior) ao longo dos quatro dias simulados.

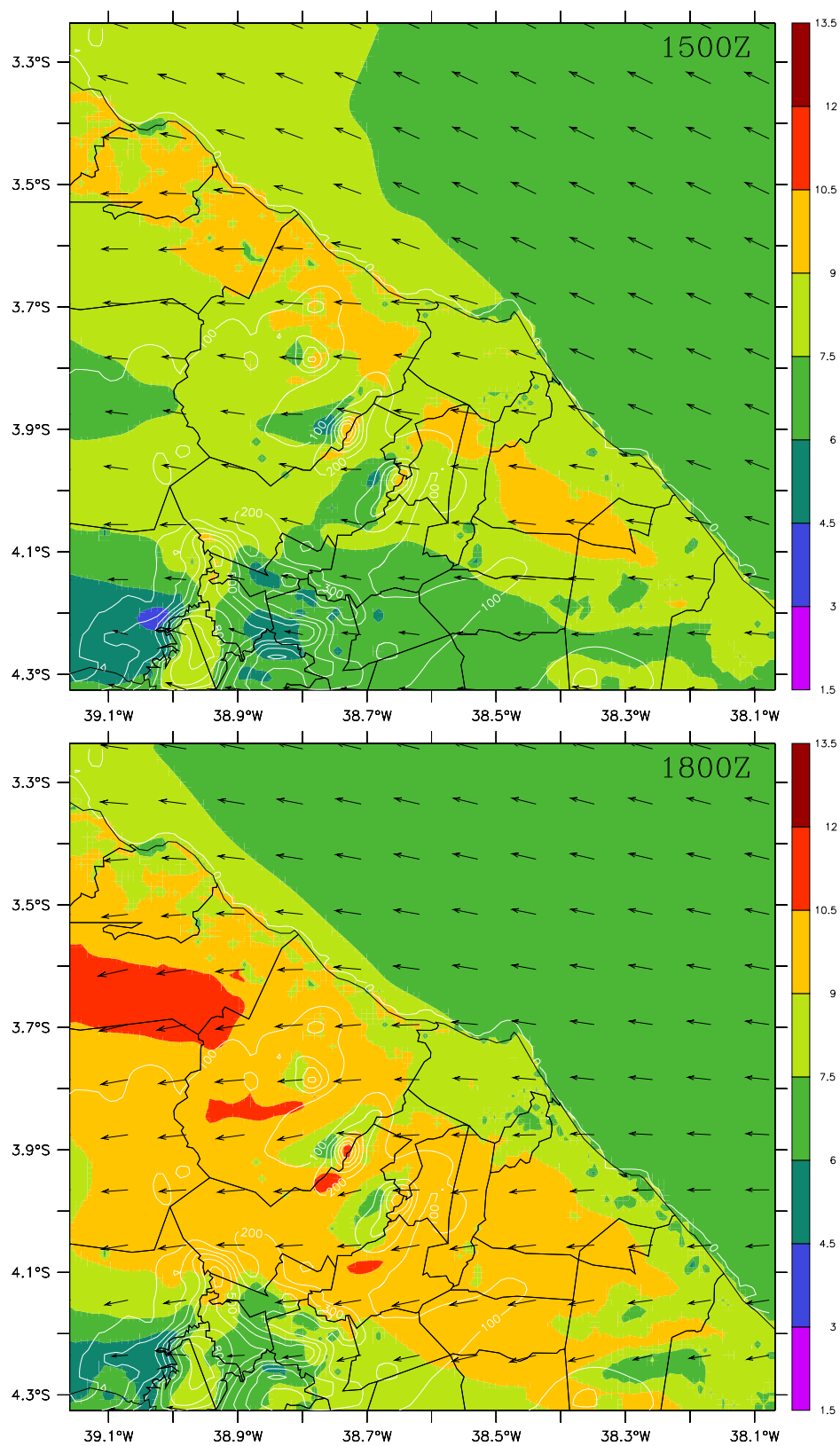


Figura 7.3: Campo de vento a 60m acima da superfície para a **Grade 3**, onde as cores indicam a intensidade, os vetores a direção, as curvas de nível da topografia são dadas em linha branca e divisões políticas em linha preta, referente a médias integradas para 1500Z (painel superior) e 1800Z (inferior) ao longo dos quatro dias simulados.



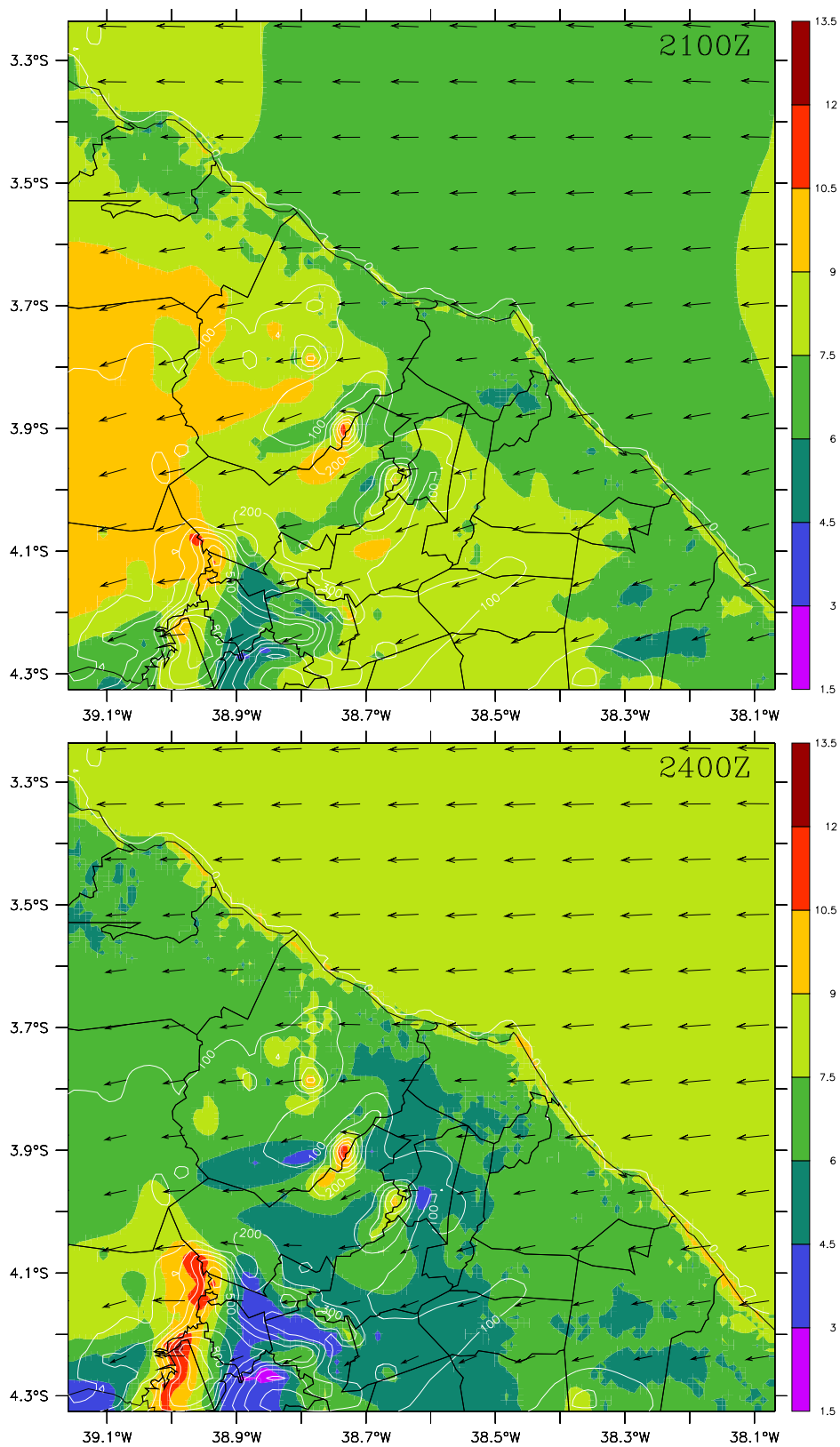


Figura 7.4: Campo de vento a 60m acima da superfície para a **Grade 3**, onde as cores indicam a intensidade, os vetores a direção, as curvas de nível da topografia são dadas em linha branca e divisões políticas em linha preta, referente a médias integradas para 2100Z (painel superior) e 2400Z (inferior) ao longo dos quatro dias simulados.

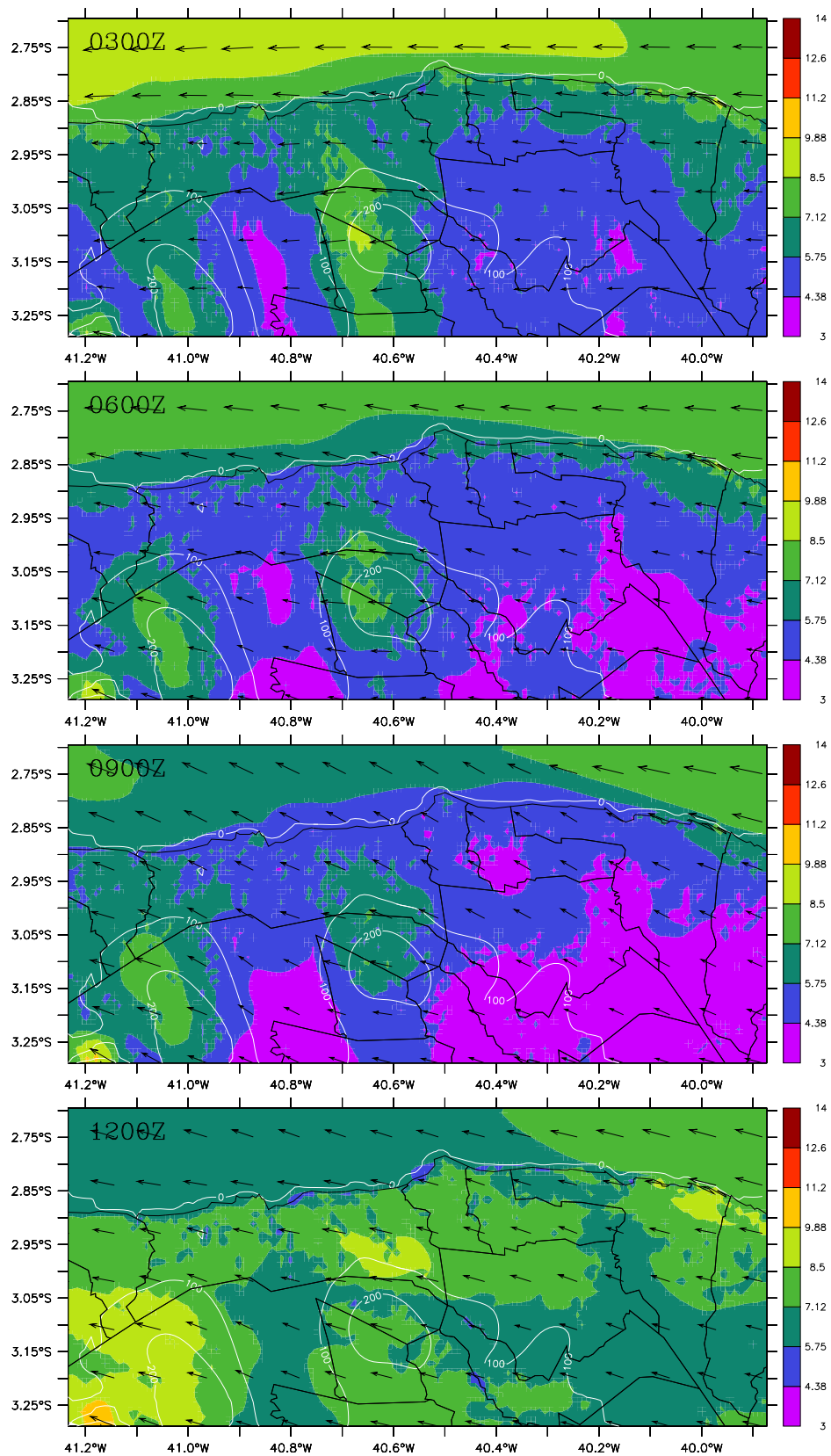


Figura 7.5: Campo de vento a 60m acima da superfície para a **Grade 4**, onde as cores indicam a intensidade, os vetores a direção, as curvas de nível da topografia são dadas em linha branca e divisões políticas em linha preta, referente a médias integradas, respectivamente de cima para baixo, para 0300Z, 0600Z, 0900Z e 1200Z, ao longo dos quatro dias simulados.

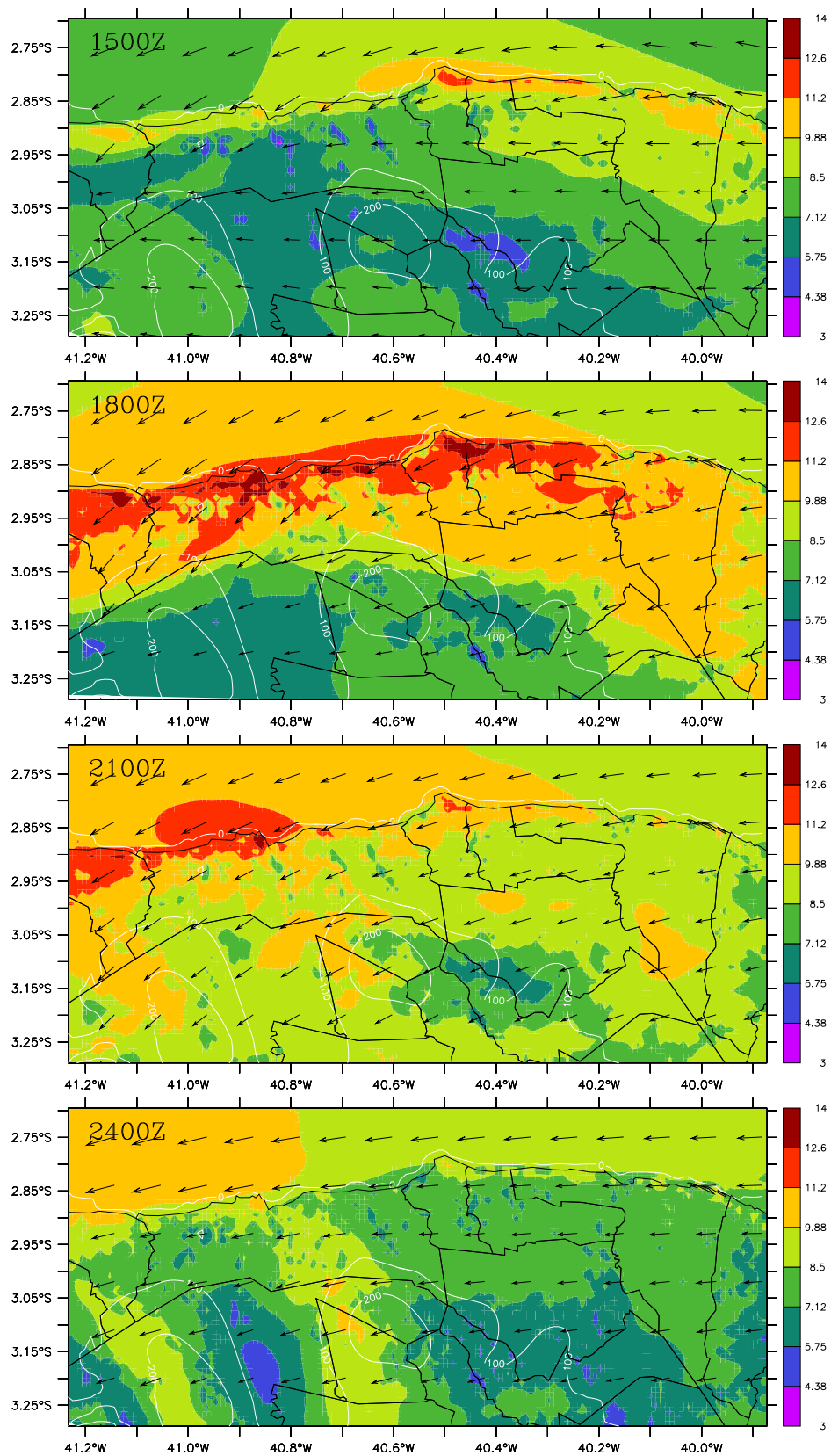


Figura 7.6: Campo de vento a 60m acima da superfície para a **Grade 4**, onde as cores indicam a intensidade, os vetores a direção, as curvas de nível da topografia são dadas em linha branca e divisões políticas em linha preta, referente a médias integradas, respectivamente de cima para baixo, para 1500Z, 1800Z, 2100Z e 2400Z, ao longo dos quatro dias simulados.

## *Referências Bibliográficas*

- ALVES, J. M. et al. Uma aplicação da técnica de downscaling dinâmico no setor norte da região nordeste. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2003.
- AMARANTE, O. *Estado do Ceará: Atlas do Potencial Eólico, Ceará*. [S.l.]: Ceará, 2001.
- AMARANTE, O. et al. *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, Brasília*. [S.l.]: Brasil, 2001.
- ANDRÉ, J. et al. Modeling the 24-Hour Evolution of the Mean and Turbulent Structures of the Planetary Boundary Layer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, American Meteorological Society, v. 35, n. 10, p. 1861–1883, 1978.
- BLACK, T. The New NMC Mesoscale Eta Model: Description and Forecast Examples. *Weather and Forecasting*, American Meteorological Society, v. 9, n. 2, p. 265–278, 1994.
- BMC, C. *Relatório Técnico: Projeto Camocim - Instalação e comissionamento de Torre Anemométrica No. 8551*. [S.l.], 2004.
- BMC, C. *Relatório Técnico: Projeto Paracuru - Instalação e comissionamento de Torre Anemométrica No. 8550*. [S.l.], 2004.
- BUCKLEY, R.; WEBER, A.; WEBER, J. Statistical comparison of Regional Atmospheric Modelling System forecasts with observations. *Meteorological Applications*, Cambridge Univ. Press, v. 11, n. 01, p. 67–82, 2004.
- CARVALHO, P. *Geração eólica*. [S.l.]: Imprensa Universitária, 2003.
- CASTELLI, S.; FERRERO, E.; ANFOSSI, D. Turbulence Closures In Neutral Boundary Layer Over Complex Terrain. *Boundary-Layer Meteorology*, Springer, v. 100, n. 3, p. 405–419, 2001.
- CLARK, T.; FARLEY, R. Severe Downslope Windstorm Calculations in Two and Three Spatial Dimensions Using Anelastic Interactive Grid Nesting: A Possible Mechanism for Gustiness. *Journal of the Atmospheric Sciences*, American Meteorological Society, v. 41, n. 3, p. 329–350, 1984.
- COSTA, A. A.; MENDES, K. C. Estudo da circulação na camada-limite de uma região serrana. In: METEOROLOGIA, I. C. B. de (Ed.). *Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Campos do Jordão, RJ: SBMet, 1996.
- COSTA, A. A.; MENDES, K. C.; VITORINO, M. I. A formação de sistemas convectivos de mesoescala sobre uma região serrana no nordeste brasileiro. In: METEOROLOGIA, I. C. B. de (Ed.). *Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Campos do Jordão, RJ: SBMet, 1996.

- COSTA, A. A.; VITORINO, M. I.; SILVA, R. R. Sistemas convectivos de mesoescala. i - uma análise sinótica. In: METEOROLOGIA, I. C. B. de (Ed.). *Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Campos do Jordão, RJ: SBMet, 1996.
- COTTON, W. et al. RAMS 2001: Current status and future directions. *Meteorology and Atmospheric Physics*, Springer, v. 82, n. 1, p. 5–29, 2003.
- DAVIES, H. A lateral boundary formulation for multi-level prediction models. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Royal Meteorological Society, v. 102, n. 432, p. 405–418, 1976.
- DAVIES, H. Limitations of Some Common Lateral Boundary Schemes used in Regional NWP Models. *Monthly Weather Review*, American Meteorological Society, v. 111, n. 5, p. 1002–1012, 1983.
- DEARDORFF, J. Stratocumulus-capped mixed layers derived from a three-dimensional model. *Boundary-Layer Meteorology*, Springer, v. 18, n. 4, p. 495–527, 1980.
- FOCKEN, U.; LANGE, M.; WALDL, H. Previento—regional wind power prediction with risk control. *Proceedings of the Global Wind Power Conference, Paris*, v. 2, n. 5.4, 2002.
- GIEBEL, G. et al. State-of-the-Art on Methods and Software Tools for Short-Term Prediction of Wind Energy Production. *Proc. of the 2003 European Wind Energy Association Conference*, p. 16–19, 2003.
- GRELL, G. et al. *A Description of the Fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model:: MM5*. [S.l.]: National Center for Atmospheric Research. Mesoscale and Microscale Meteorology Division, 1995.
- HANKIN, S. et al. *FERRET User's Guide*. 6.00. ed. [S.l.], Aug. 2006.
- HARRINGTON, J. The effects of radiative and microphysical processes on simulated warm and transition season arctic stratus. PhD. Colorado State University, 1997.
- HELFAND, H.; LABRAGA, J. Design of a Nonsingular Level 2.5 Second-Order Closure Model for the Prediction of Atmospheric Turbulence. *Journal of the Atmospheric Sciences*, American Meteorological Society, v. 45, n. 2, p. 113–132, 1988.
- HILL, G. Factors Controlling the Size and Spacing of Cumulus Clouds as Revealed by Numerical Experiments. *Journal of the Atmospheric Sciences*, American Meteorological Society, v. 31, n. 3, p. 646–673, 1974.
- JOLLIFFE, I.; STEPHENSON, D. *Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*. [S.l.]: John Wiley and Sons, 2003.
- JÖRGENSEN, J.; MOEHRLEN, C.; MCKEOGH, E. *A New Generation Operational On-and Offshore Numerical Prediction System*. [S.l.]: Talk, 2002.
- KEYSER, D.; ANTHES, R. The Applicability of a Mixed-Layer Model of the Planetary Boundary Layer to Real-Data Forecasting. *Monthly Weather Review*, American Meteorological Society, v. 105, n. 11, p. 1351–1371, 1977.

- LILLY, D. On the numerical simulation of buoyant convection. *Tellus*, v. 14, n. 2, p. 148–172, 1962.
- LIMA, S. M. *Avaliação de duas parametrizações de difusão turbulenta em um evento de linha de instabilidade utilizando o modelo atmosférico RAMS*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
- MARIA, P. H. S.; COSTA, A. A.; SOMBRA, S. S. Simulação de ventos em alta resolução no litoral do ceará. In: METEOROLOGIA, S. B. de (Ed.). *XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia*. [S.l.: s.n.], 2006.
- MELLOR, G.; YAMADA, T. A hierarchy of turbulence closure models for atmospheric boundary layers. *J. Atmos. Sci*, v. 31, p. 1791–1806, 1974.
- MELLOR, G.; YAMADA, T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, v. 20, p. 851–875, 1982.
- MENDES, F.; FILHO, J. A.; SAKAMOTO, M. A rede de plataformas automáticas de coleta de dados da funceme. Coletado em [www.funceme.br](http://www.funceme.br), a 12 de maio de 2006. 2004.
- MESINGER, F.; ARAKAWA, A. Numerical methods used in atmospheric models, volume 1. *Global Atmospheric Research Program World Meteorological Organization, Geneva (Switzerland)*, 1976.
- MONCUNILL, D. F. et al. Uma breve descrição do sistema de previsão climática regionalizada (downscaling dinâmico) implantado na funceme. In: METEOROLOGIA, X. C. B. de (Ed.). *Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Foz do Iguaçu: SBMet, 2002.
- PIELKE, R. *Mesoscale Meteorological Modeling: an introductory survey*. [S.l.]: Academic, 2001.
- PIELKE, R. et al. A comprehensive meteorological modeling system—RAMS. *Meteorology and Atmospheric Physics*, Springer, v. 49, n. 1, p. 69–91, 1992.
- SÁNCHEZ, I. et al. SIPREÓLICO-A Wind Power Prediction System Based on Flexible Combination of Dynamic Models. Application to the Spanish Power System. *Poster on the World Wind Energy Conference in Berlin, Germany, June, 2002*.
- SILVA, R. R. et al. Tuning rams for northeast brazil. In: CONFERENCE 7th A. M. (Ed.). *Proceedings of the 7th AMS Mesoscale Conference*. [S.l.: s.n.], 1996.
- SILVA, R. R. et al. A experiência da funceme na utilização do rams como ferramenta de previsão numérica de tempo. In: METEOROLOGIA, I. C. B. de (Ed.). *Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Campos do Jordão, RJ: SBMet, 1996.
- SKAMAROCK, W. et al. A Description of the Advanced Research WRF Version 2. *NCAR Tech Notes-468+ STR*, 2005.
- SMAGORINSKY, J. GENERAL CIRCULATION EXPERIMENTS WITH THE PRIMITIVE EQUATIONS. *Monthly Weather Review*, v. 91, n. 3, p. 99–164, 1963.
- STEYN, D.; MCKENDRY, I. Quantitative and Qualitative Evaluation of a Three-Dimensional Mesoscale Numerical Model Simulation of a Sea Breeze in Complex Terrain. *Monthly Weather Review*, American Meteorological Society, v. 116, n. 10, p. 1914–1926, 1988.

STULL, R. *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. [S.l.]: KLUWER ACADEMIC PUBL, 1988.

TREMBACK, C. *Numerical Simulation of a Mesoscale Convective Complex: Model Development and Numerical Results*. Tese (Doutorado) — COLORADO STATE UNIVERSITY, 1990.

WALKO, R. et al. Coupled Atmosphere–Biophysics–Hydrology Models for Environmental Modeling. *Journal of Applied Meteorology*, NOAA Central Library, Department of Commerce, v. 39, n. 6, p. 931–944, 2000.

WALKO, R. et al. New RAMS cloud microphysics parameterization Part I: the single-moment scheme. *Atmospheric Research*, Elsevier Science, v. 38, n. 1, p. 29–62, 1995.

WALKO, R. L.; TREMBACK, C. J. *RAMS: The Regional Atmospheric Modeling System, Technical Description*. [S.l.], 2001.

WEBER, A.; BUCKNER, M.; WEBER, J. Statistical Performance of Several Mesoscale Atmospheric Dispersion Models. *Journal of Applied Meteorology*, NOAA Central Library, Department of Commerce, v. 21, n. 11, p. 1633–1644, 1982.

WILLMOTT, C. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, American Meteorological Society, v. 63, n. 11, p. 1309–1313, 1982.

XUE, M.; DROEGEMEIER, K. K.; WONG, V. The Advanced Regional Prediction System (ARPS)—A multi-scale nonhydrostatic atmospheric simulation and prediction model. Part I: Model dynamics and verification. *Meteorology and Atmospheric Physics*, Springer, v. 75, n. 3, p. 161–193, 2000.

XUE, M.; DROEGEMEIER, K. K.; WONG, V. The Advanced Regional Prediction System (ARPS)—A multiscale nonhydrostatic atmospheric simulation and prediction tool. Part II: Model physics and applications. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 76, p. 143–165, 2001.

## *APÊNDICE A – Lista de configurações usada no modelo*

Aqui é dada a lista de configurações da maneira que é utilizada pelo modelo RAMS. Algumas modificações foram feitas para que as configurações usadas em todas as simulações pudessem ser mostradas com apenas uma lista. Estas modificações consistem da utilização simultânea das opções intercomparadas.

As linhas 26, 27 e 28 são relativas à quantidade de grades usadas no modelo, determinando sua resolução. Nas linhas 132, 133 e 134, são dadas as opções utilizadas para a intercomparação da escala de tempo do relaxamento newtoniano. As linhas 431 e 432 indicam qual parametrização de turbulência era usada.

### Listagem A.1: *Namelist* da simulação

---

```

1  !namelist
2
3  $MODEL_GRIDS
4
5  ! Simulation title (64 chars)
6  EXPNME = '',
7
8  RUNTYPE = 'INITIAL',      ! Type of run: MAKESFC, INITIAL, HISTORY,
9                          !                MAKEVFILE, MEMORY, or ERROR
10
11  TIMEUNIT = 'h',         ! 'h', 'm', 's' – Time units of TIMMAX, TIMSTR
12
13  TIMMAX = 102.0,        ! Final time of simulation
14
15  LOAD_BAL = 0,         ! Dynamic load balance flag: 1=yes, 0=no
16
17  ! Start of simulation or ISAN processing
18
19  IMONTH1 = 01,         ! Month
20  IDATE1 = 01,         ! Day
21  IYEAR1 = 2005,       ! Year
22  ITIME1 = 0000,       ! GMT of model TIME = 0.
23
24  ! Grid specifications

```



```

25
26   NGRIDS = 1,
27   NGRIDS = 2,
28   NGRIDS = 4,           ! Number of grids to run
29
30   NNX = 100,114,122,152, ! Number of x gridpoints
31   NNYP = 100,82,122,67,  ! Number of y gridpoints
32   NNZP = 32,32,32,32,    ! Number of z gridpoints
33   NZG = 11,11,11,11,    ! Number of soil layers
34   NZS = 1,1,1,1,        ! Maximum number of snow layers
35
36   NXTNEST = 0,1,2,2,    ! Grid number which is the next coarser grid
37
38 ! Coarse grid specifications
39
40   IF_ADAP = 0,
41
42   IHTRAN = 1,           ! 0-Cartesian, 1-Polar stereo, 2-Lambert-conformal
43   DELTAX = 20000.,
44   DELTAY = 20000.,     ! X and Y grid spacing
45
46   DELTAZ = 60.,        ! Z grid spacing (set to 0. to use ZZ)
47   DZRAT = 1.2893,     ! Vertical grid stretch ratio
48   DZMAX = 1000.,      ! Maximum delta Z for vertical stretch
49
50   ZZ = 0.0,           ! Vertical levels if DELTAZ = 0
51   20.0, 46.0, 80.0, 120.0, 165.0,
52   220.0, 290.0, 380.0, 480.0, 590.0,
53   720.0, 870.0, 1030.0, 1200.0, 1380.0,
54   1595.0, 1850.0, 2120.0, 2410.0, 2715.0,
55   3030.0, 3400.0, 3840.0, 4380.0, 5020.0,
56   5800.0, 6730.0, 7700.0, 8700.0, 9700.0,
57   10700., 11700., 12700., 13700., 14700., 15700., 16700.,
58   17700., 18700., 19700.,
59
60   DTLONG = 30.,       ! Coarse grid long timestep
61   NACOUST = 5,        ! Small timestep ratio
62   IDELTAT = 0         ! =0 - constant timesteps
63                       ! >0 - initial computation <0 - variable
64
65 ! Nest ratios between this grid and the next coarser grid.
66   NSTRATX = 1,4,5,5,  ! x-direction
67   NSTRATY = 1,4,5,5,  ! y-direction
68   NNDTRAT = 1,3,5,5,  ! Time
69
70   NESTZ1 = 0,         ! Contort coarser grids if negative
71   NSTRATZ1 = 3,1,3,3,3,3,2,2,2,2,1, !
72   NESTZ2 = 0,         ! Contort coarser grids if negative
73   NSTRATZ2 = 3,1,3,3,3,3,2,2,2,2,1, !
74
75
76   POLELAT = -3.55,    ! If polar, latitude/longitude of pole point
77   POLELON = -39.64,   ! If lambert, lat/lon of grid origin (x=y=0.)
78

```

```

79   STDLAT1 = 30.,           ! If polar, unused
80   STDLAT2 = 60.,           ! If lambert, standard latitudes of projection
81                                   ! stdlat1 must be <= stdlat2 (not working yet)
82
83   ! Grid point on the next coarser nest where the lower southwest
84   ! corner of this nest will start.
85   ! If NINEST or NJNEST = 0, use CENTLAT/CENTLON
86
87   NINEST  = 1,0,0,0,       ! i-point
88   NJNEST  = 1,0,0,0       ! j-point
89   NKNEST  = 1,1,1,1,       ! k-point
90
91   CENTLAT = -5.67,-3.55,-3.77,-2.98,
92   CENTLON = -40.33,-39.64,-38.62,-40.56,
93
94   NNSTTOP = 1,1,1,1,       ! Flag (0=no or 1=yes) if this
95   NNSTBOT = 1,1,1,1,       ! Nest goes the top or bottom of the
96                                   ! coarsest nest.
97
98   GRIDU   = 0.,0.,0.,0.,   ! u-component for moving grids
99   GRIDV   = 0.,0.,0.,0.,   ! v-component for moving grids
100                                   ! (not working again!)
101
102 $END
103
104 $MODEL_FILE_INFO
105
106 ! Variable initialization input
107
108   INITIAL = 2,             ! Initial fields - 1=horiz.homogeneous,
109                                   !                               2=init from varfile
110                                   !                               3=init from HFILIN
111
112
113
114 ! ----- Analysis nudging parameters -----
115   NUD_TYPE = 2,           ! =1 - nudge from history files(1-way nest)
116                                   ! =2 - nudge from varfiles
117                                   ! =0 - no analysis nudging
118
119   VARFPFX = 'isan/isan',   ! Varfile initialization file prefix
120   VWAIT1  = 0.,           ! wait between each VFILE check (s)
121   VWAITTOT = 0.,          ! total wait before giving up on a VFILE (s)
122
123   NUD_HFILE = '1',        ! se NUD_TYPE = 1
124                                   ! Header file name for history nudging files (only prefix is used)
125
126   NUDLAT  = 5,            ! Number of points in lateral bnd region
127   TNUDLAT = 1200.,        ! Nudging time scale(s) at lateral boundary
128   TNUDCENT = 86400.,      ! Nudging time scale(s) in center of domain
129   TNUDTOP = 43200.,       ! Nudging time scale (s) at top of domain
130   ZNUDTOP = 17000.,       ! Nudging at top of domain above height(m)
131
132   WT_NUDGE_GRID = 0.,0.,0.0,0.0,

```

```

133 WT_NUDGE_GRID = 1.,0.,0.0,0.0,
134 WT_NUDGE_GRID = 2.,0.,0.0,0.0, ! Relative nudging weights for active grids
135                               ! =0., turns off nudging for that grid
136
137                               ! These weights will multiply the base timescales
138                               ! to determine full nudging weight.
139                               ! (Timescales)/(WT_NUDGE_*)
140                               ! must be larger than DTLONG
141 WT_NUDGE_UV = 1.,           ! Anal nudging weight for u and v
142 WT_NUDGE_TH = 1.,           ! Anal nudging weight for theta
143 WT_NUDGE_PI = 1.,           ! Anal nudging weight for pi
144 WT_NUDGE_RT = 1.,           ! Anal nudging weight for r_tot
145
146 !-----
147
148 !----- Condensate nudging -----
149 NUD_COND = 0,               ! Only nudge total water where condensate
150                               ! exists (from previous history files)
151 COND_HFILE = '1',
152           ! Header file name for cond nudging history files (only prefix is used)
153 TCOND_BEG=0., TCOND_END=21600., ! Model time start and end of cond nudging (sec)
154 T_NUDGE_RC = 0.,           ! Cond nudging timescale for r_total
155 WT_NUDGE_GRID = 0.,        ! Relative nudging weights for active grids
156                               ! =0., turns off nudging for that grid
157 !-----
158
159 !----- Observation Data Assimilation (ODA) -----
160 IF_ODA = 0,                  ! Flag to turn on oda
161 ODA_UPAPREFIX = './obs/dp-r', ! File prefix for upper air obs
162 ODA_SFPCPREFIX = './obs/dt-s', ! File prefix for surface obs
163
164 FRQODA=300.,                ! Frequency of obs analysis
165 TODABEG=0., TODAEND=9999999., ! Model time start and end of oda (sec)
166
167 TNUDODA= 0.,                ! Nudging timescale for each grid
168 WT_ODA_GRID = 1., 0.8, 0.6, 0.6, ! Relative nudging weights for active grids
169                               ! =0., turns off nudging for that grid
170
171 WT_ODA_UV = 1.,             ! ODA nudging weight for u and v
172 WT_ODA_TH = 1.,             ! ODA nudging weight for theta
173 WT_ODA_PI = 1.,             ! ODA nudging weight for pi
174 WT_ODA_RT = 1.,             ! ODA nudging weight for r_tot
175
176 ! Following are radii that affect the "smoothness" of the analyzed fields
177 ! The SFCE and UPAE are the radii where the affect falls off to e**(-2)
178 ! The SFC0 and UPA0 are the radii where the affect falls off to 0
179 ! Values are grid dependent.
180
181 RODA_SFCE = 50000.,100.,100.,100.,
182 RODA_SFC0 = 100000.,100000.,100000.,100000.,
183 RODA_UPAE = 100000.,200.,200.,200.,
184 RODA_UPA0 = 200000.,2000.,2000.,2000.,
185
186 RODA_HGT = 3000.,3000.,3000.,3000., ! Height at which transition from SFC radii

```

```

187                                     ! to UPA radii occurs
188
189   RODA_ZFACT = 100.,100.,100.,100.,    ! Vertical factor related to dx/dz
190
191   ! - Time interpolate limit (TIL)- if the future-past obs time
192   !   is > this limit, do not use to interpolate
193   !
194   ! - Time extrapolate limit (TEL)- if past/future obs is greater than TIL,
195   !   but less than TEL, use the obs
196
197   ODA_SFC_TIL=21600.,
198   ODA_SFC_TEL=900.,
199   ODA_UPA_TIL=43200.,
200   ODA_UPA_TEL=21600.,
201   !-----
202
203   !----- Cumulus inversion tendency input -----
204   IF_CUINV = 0,
205   CU_PREFIX = './t5-C-',
206
207   TNUDCU=900.,
208   WT_CU_GRID=1., 1., .5,
209
210   TCU_BEG=0., TCU_END=7200.,
211   CU_TEL=3600.,
212   CU_TIL=21600.,
213   !-----
214
215   ! History start (if RUNTYPE='HISTORY')
216
217   HFILIN   = 'analys/an-A-2005-01-04-210000-head.txt ',
218             ! Input state file name
219
220   ! Analysis file input for assimilation (currently LEAF variables)
221
222   IPASTIN  = 0,                ! Initialize various fields from analysis file?
223             ! 1=yes, 0=no
224   PASTFN   = 'analys/an-A-2005-01-03-110000-head.txt ',
225             ! Input analysis file name
226
227   !-----
228   ICLOBBER = 1,                ! 0=stop if files exist, 1=overwrite files
229   !-----
230
231   ! Analysis file output
232
233   IOUTPUT  = 1,                ! 0=no files, 1=write files
234   AFILEPREF = 'analys/an',     ! File prefix for all analysis files
235             ! state,mean,lite,both
236
237   !-----
238   FRQSTATE = 3600.,3600.,3600.0,3600.0,    ! "state" file write frequency
239             ! can be different for each grid
240             ! works best if grids are multiples of each other

```

```

241     FRQSTATE_KEEP = 0.,      ! If > 0., frequency at which "state" files will be
242                          ! kept. Others will be written, but deleted on
243                          ! the subsequent write.
244                          ! Intended to be a mutiple of and >= FRQSTATE
245 !-----
246     FRQLITE = 600,          ! Frequency for "lite" files
247                          ! = 0 : no lite files
248     XLITE = '/0:0/',       ! nums>0 are absolute grid indexes (not yet)
249     YLITE = '/0:0/',       ! nums<0 count in from the domain edges (not yet)
250     ZLITE = '/0:0/',       ! nums=0 are domain edges (not yet)
251
252     NLITE_VARS=18,
253     LITE_VARS='USTAR', 'PATCH_ROUGH', 'CAN_TEMP',
254              'UP', 'VP', 'WP', 'THETA', 'TOPT', 'TGP', 'SCHAR', 'GSF', 'PI',
255              'RV', 'TSTAR', 'GLAT', 'GLON', 'TOPTA', 'PATCH_AREA',
256 !-----
257
258     AVGTIM = 0.,          ! Averaging time for analysis variables
259                          ! must be abs(AVGTIM) <= FRQANL
260                          ! > 0 : averaging is centered at FRQANL
261                          ! < 0 : averaging ends at FRQANL
262                          ! = 0 : no averaged files
263     FRQMEAN = 0.,        ! Frequency for "averaged" files
264 !-----
265     FRQBOTH = 0.,        ! Frequency for Both ("averaged"/"lite") files
266
267 ! Printed output controls
268
269     FRQPRT = 8640000.,    ! Printout frequency
270     INITFLD = 0,         ! Initial field print flag 0=no prnt,1=prnt
271
272 ! Input topography variables
273
274     TOPFILES = 'top/top',  ! File path and prefix for topo files.
275     SFCFILES = 'sfc/sfc',  ! File path and prefix for surface files.
276     SSTFPFX = 'sst/sst',   ! Path and prefix for sst files
277     NDVIFPFX = 'ndvi/ndvi', ! Path and prefix for sst files
278
279     ITOPTFLG = 1,1,1,1,    ! 2 – Fill data in "leaf3_init"
280     ISSTFLG = 1,0,0,0,    ! 0 – Interpolate from coarser grid
281     IVEGFLG = 1,1,1,1,    ! 1 – Read from standard Lat/Lon data file
282     ISOILFLG = 1,1,0,0,    !
283     NDVIFLG = 1,1,1,1,    !
284
285     NOFILFLG = 2,2,2,2,    ! 2 – Fill data in "leaf3_init"
286                          ! 0 – Interpolate from coarser grid
287
288     IUPDNDVI = 0,         ! 0 – No update of NDVI values during run
289     IUPDSST = 0,         ! 0 – No update of SST values during run
290                          ! 1 – Update values during run
291
292                          ! The following only apply for IxxxFLG=1
293     ITOPTFN = '/home/pauloh/wind/DEM30s/EL', '/home/pauloh/wind/DEM30s/EL',
294              '/home/pauloh/wind/DEM30s/EL', '/home/pauloh/wind/DEM30s/EL',

```

```

295  ISSTFN  = '/home/pauloh/wind/sst/S', '/home/pauloh/wind/sst/S',
296          '/home/pauloh/wind/sst/S', '/home/pauloh/wind/sst/S',
297  IVEGTFN = '/home/pauloh/wind/ogedata/GE', '/home/pauloh/wind/ogedata/GE',
298          '/home/pauloh/wind/ogedata/GE', '/home/pauloh/wind/ogedata/GE',
299  ISOILFN = '/home/pauloh/wind/FAOdata-h5/FAO', '/home/pauloh/wind/FAOdata-h5/FAO',
300          '/home/pauloh/wind/FAOdata-h5/FAO', '/home/pauloh/wind/FAOdata-h5/FAO',
301  NDVIFN  = '/home/pauloh/wind/JAN/N', '/home/pauloh/wind/JAN/N',
302          '/home/pauloh/wind/JAN/N', '/home/pauloh/wind/JAN/N',
303
304  ! Topography scheme
305
306  ITOPSFLG = 3,          ! 0 = Average Orography
307                      ! 1 = Silhouette Orography
308                      ! 2 = Envelope Orography
309                      ! 3 = Reflected Envelope Orography
310
311  TOPTENH = 1.,        ! For ITOPSFLG=1, Weighting of topo
312                      ! silhouette averaging
313                      ! For ITOPSFLG=2 or 3, Reflected Envelope
314                      ! and Envelope Orography enhancement factor
315
316  TOPTWVL = 4.,4.,4.,4., ! Topo wavelength cutoff in filter
317
318  ! Surface Roughness scheme
319
320  IZ0FLG  = 1,          ! 0 = Use veg, bare soil and water surface
321                      ! 1 = Also use subgrid scale topography
322  Z0MAX   = 2.,        ! Max zo for IZ0FLG=1
323  Z0FACT  = 0.005,     ! Subgrid scale orographic roughness factor
324
325  ! Microphysics collection tables
326
327  MKCOLTAB = 0,        ! Make table: 0 = no, 1 = yes
328  COLTABFN = 'ct2.0',
329                      ! Filename to read or write
330
331  $END
332
333  $MODEL_OPTIONS
334
335  NADDSC  = 0,          ! Number of additional scalar species
336
337  ! Numerical schemes
338
339  ICORFLG = 1,          ! Coriolis flag/2D v-component - 0=off, 1=on
340
341  IBND    = 1,          ! Lateral boundary condition flags
342  JBND    = 1,          ! 1-Klemp/Wilhelmson, 2-Klemp/Lilly, 3-Orlanski
343                      ! 4-cyclic
344  CPHAS   = 20.,       ! Phase speed if IBND or JBND = 1
345  LSFLG   = 0,          ! Large-scale gradient flag for variables other than
346                      ! normal velocity:
347                      ! 0 = zero gradient inflow and outflow
348                      ! 1 = zero gradient inflow, radiative b.c. outflow

```

```

349          ! 2 = constant inflow , radiative b.c. outflow
350          ! 3 = constant inflow and outflow
351  NFPT      = 0,          ! Rayleigh friction – number of points from the top
352  DISTIM    = 60.,       !                    – dissipation time scale
353
354  ! Radiation parameters
355
356  ISWRTPY   = 3,          ! Shortwave radiation type
357  ILWRTPY   = 3,          ! Longwave radiation type
358          ! 0–none, 2–Mahrer/Pielke, 1–Chen, 3–Harrington
359  RADFRQ    = 1200.,     ! Freq. of radiation tendency update (s)
360  LONRAD     = 1,          ! Longitudinal variation of shortwave
361          ! (0–no, 1–yes)
362
363  ! Cumulus parameterization parameters
364
365  NNQPARM    = 1,0,0,0,   ! Convective param flag (0–off, 1–Kuo, 2–Kain–Fritsch)
366  CONFRQ     = 1200.,     ! Frequency of conv param. updates (s)
367  WCLDBS     = .001,      ! Vertical motion needed at cloud base for
368          ! to trigger convection (Kuo)
369
370  ! Surface layer and soil parameterization
371
372  NPATCH     = 3,          ! Number of patches per grid cell (min=2)
373
374  NVEGPAT    = 2,          ! Number of patches per grid cell to be
375          ! filled from
376          ! vegetation files
377          ! (min of 1, max of NPATCH–1)
378
379  ISFCL      = 1,          ! Surface layer/soil/veg model
380          ! 0–specified surface layer gradients
381          ! 1–soil/vegetation model
382
383  NVGCON     = 15,        ! Vegetation type (see below)
384
385  ! 0 Ocean          ! 11 Tundra
386  ! 1 Lakes, rivers, streams ! 12 Evergreen shrub
387  ! 2 Ice cap/glacier ! 13 Deciduous shrub
388  ! 3 Desert, bare soil ! 14 Mixed woodland
389  ! 4 Evergreen needleleaf tree ! 15 Crop/mixed farming, C3 grassland
390  ! 5 Deciduous needleleaf tree ! 16 Irrigated crop
391  ! 6 Deciduous broadleaf tree ! 17 Bog or marsh
392  ! 7 Evergreen broadleaf tree ! 18 Wooded grassland
393  ! 8 Short grass     ! 19 Urban and built up
394  ! 9 Tall grass      ! 20 Wetland evergreen broadleaf tree
395  ! 10 Semi–desert    ! 21 Very urban
396
397  PCTLCON    = 1.,        ! Constant land % if for all domain
398  NSLCON     = 6,         ! Constant soil type if for all domain
399
400  ! 1 — sand          2 — loamy sand          3 — sandy loam
401  ! 4 — silt loam     5 — loam                6 — sandy clay loam
402  ! 7 — silty clay loam 8 — clay loam          9 — sandy clay

```

```

403      ! 10 -- silty clay      11 -- clay      12 -- peat
404
405      ZROUGH = .05,          ! Constant roughness if for all domain
406      ALBEDO = .2,          ! Constant albedo if not running soil model
407      SEATMP = 298.,        ! Constant water surface temperature
408
409      DTHCON = 0.,          ! Constant sfc layer temp grad for no soil
410      DRTCON = 0.,          ! Constant sfc layer moist grad for no soil
411
412      SLZ      = -.50,-.40,-.30,-.24,-.18,-.14,-.10,-.06,-.03,-.02,-.01,
413              ! Soil grid levels
414
415      SLMSTR = 0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,
416              ! Initial soil moisture
417
418      STGOFF = 0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,
419              ! Initial soil temperature offset
420              ! from lowest atmospheric level
421      !-----
422
423      !----- Urban canopy parameterization -----
424
425      IF_URBAN_CANOPY =0,
426
427      !-----
428
429      !----- Eddy diffusion coefficient parameters -----
430
431      IDIFFK = 1,1,1,1,
432      IDIFFK = 2,2,2,2,      ! K flag:
433                          ! 1 - Horiz deform/Vert Mellor-Yamada
434                          ! 2 - Anisotropic deformation
435                          !      (horiz & vert differ)
436                          ! 3 - Isotropic deformation
437                          !      (horiz and vert same)
438                          ! 4 - Deardorff TKE (horiz and vert same)
439                          ! 5 - Silvia's TKE-l scheme (horiz and vert same)
440                          ! 6 - Silvia's TKE-eps scheme (horiz and vert same)
441
442      IHORGRAD = 1,1,1,1,      ! 1 - horiz grad frm decomposed sigma grad
443                          ! 2 - true horizontal gradient.
444                          !      Non-conserving, but allows small DZ
445      CSX      = .25,.25,.25,.25, ! Deformation horiz. K's coefficient
446      CSZ      = .25,.25,.25,.25, ! Deformation vert. K's coefficient
447      XKHKM    = 3.,3.,3.,3.,    ! Ratio of horiz K_h to K_m for deformation
448      ZKHKM    = 3.,3.,3.,3.,    ! Ratio of vert K_h to K_m for deformation
449      AKMIN    = 1.,1.,2.,2.,    ! Ratio of minimum horizontal eddy
450                          !      viscosity coefficient to typical value
451                          !      from deformation K
452      !-----
453
454      !----- Microphysics -----
455
456      LEVEL    = 3,              ! Moisture complexity level

```



```

457
458 ICLLOUD = 4,           ! Microphysics flags
459 IRAIN   = 2,           !-----
460 IPRIS   = 5,           ! 1 – diagnostic concen.
461 ISNOW   = 2,           ! 2 – specified mean diameter
462 IAGGR   = 2,           ! 3 – specified y-intercept
463 IGRAUP  = 2,           ! 4 – specified concentration
464 IHAIL   = 2,           ! 5 – prognostic concentration
465
466 CPARAM  = .3e9,        ! Microphysics parameters
467 RPARAM  = 1e-3,        !-----
468 PPARAM  = 0.,         ! Characteristic diameter, # concentration
469 SPARAM  = 1e-3,        ! or y-intercept
470 APARAM  = 1.5e-3,
471 GPARAM  = 1e-3,
472 HPARAM  = 3e-3,
473
474 GNU     = 2.,2.,2.,2.,2.,2.,2., ! Gamma shape parms for
475                                     ! cld rain pris snow aggr graup hail
476 !-----
477
478 $END
479
480 $MODEL_SOUND
481
482 !-----
483 ! Sounding specification
484 !-----
485
486 ! Flags for how sounding is specified
487
488 IPSFLG  = 1,           ! Specifies what is in PS array
489                                     ! 0–pressure(mb) 1–heights(m)
490                                     ! PS(1)=sfc press(mb)
491
492 ITSFLG  = 0,           ! Specifies what is in TS array
493                                     ! 0–temp(C) 1–temp(K) 2–pot. temp(K)
494
495 IRTSFLG = 3,           ! Specifies what is in RTS array
496                                     ! 0–dew pnt.(C) 1–dew pnt.(K)
497                                     ! 2–mix rat(g/kg)
498                                     ! 3–relative humidity in %,
499                                     ! 4–dew pnt depression(K)
500
501 IUSFLG  = 0,           ! Specifies what is in US and VS arrays
502                                     ! 0–u,v component(m/s)
503                                     ! 1–umoms–direction, vmoms–speed
504
505 HS      = 0.,
506
507 PS = 1010.,1000.,2000.,3000.,4000.,6000.,8000.,11000.,15000.,20000.,25000.,
508
509 TS = 25., 18.5, 12., 4.5, -11., -24., -37., -56.5, -56.5, -56.5, -56.5,
510

```

```

511   RTS = 70.,70.,70.,70.,20.,20.,20.,20.,10.,10.,10.,
512
513   US = 2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,
514   US = 10.,10.,10.,10.,10.,10.,10.,10.,10.,10.,10.,
515   US = 0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,
516   US = 3.,3.,3.,3.,3.,3.,3.,3.,3.,3.,3.,3.,
517
518   VS = 3.,3.,3.,3.,3.,3.,3.,3.,3.,3.,3.,
519   VS = 2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,2.5,
520   VS = 0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,
521
522   $END
523
524
525   $MODEL_PRINT
526
527   !-----
528   ! Specifies the fields to be printed during the simulation
529   !-----
530
531   NPLT      = 1,                ! Number of fields printed at each time
532                                   ! for various cross-sections (limit of 50)
533
534   IPLFLD    = 'UP', 'THP', 'THETA', 'RT', 'TOTPRE',
535                                   ! Field names – see table below
536
537   ! PLFMT(1) = '0PF7.3',        ! Format spec. if default is unacceptable
538
539   IXSCTN    = 3,3,3,3,3,3,
540                                   ! Cross-section type (1=XZ, 2=YZ, 3=XY)
541
542   ISBVAL    = 2,2,2,2,2,2,2,
543                                   ! Grid-point slab value for third direction
544
545   ! The following variables can also be set in the namelist: IAA,
546   ! IAB, JOA, JOB, NAAVG, NOAVG, PLTIT, PLCONLO, PLCONHI, and PLCONIN.
547
548   ! 'UP'      – UP(M/S)          'RC'      – RC(G/KG)          'PCPT' – TOTPRE
549   ! 'VP'      – VP(M/S)          'RR'      – RR(G/KG)          'TKE'  – TKE
550   ! 'WP'      – WP(CM/S)         'RP'      – RP(G/KG)          'HSCL' – HL(M)
551   ! 'PP'      – PRS(MB)          'RA'      – RA(G/KG)          'VSCL' – VL(M)
552   ! 'THP'     – THP(K)
553   ! 'THETA'   – THETA(K)         'RL'      – RL(G/KG)          'TG'   – TG (K)
554   ! 'THVP'    – THV'(K)          'RI'      – RI(G/KG)          'SLM'  – SLM (PCT)
555   ! 'TV'      – TV(K)            'RCOND'   – RD(G/KG)          'CONPR' – CON RATE
556   ! 'RT'      – RT(G/KG)         'CP'      – NPRIS             'CONP' – CON PCP
557   ! 'RV'      – RV(G/KG)         'RTP'     – RT'(G/KG)         'CONH' – CON HEAT
558   !                                                    'CONM' – CON MOIS
559   ! 'THIL'    – Theta-il (K)     'TEMP'    – temperature (K)
560   ! 'TVP'     – Tv' (K)          'THV'     – Theta-v (K)
561   ! 'RELHUM'  – relative humidity (%)          'SPEED' – wind speed (m/s)
562   ! 'FTHRD'   – radiative flux convergence (??)
563   ! 'MICRO'   – GASPRC
564   ! 'ZO'      – ZO (M)           'ZI'      – ZI (M)           'ZMAT' – ZMAT (M)

```

```

565 !      'USTARL'–USTARL(M/S)  'USTARW'–USTARW(M/S)  'TSTARL'–TSTARL (K)
566 !      'TSTARW'–TSTARW(K)   'RSTARL'–RSTARL(G/G)  'RSTARW'–RSTARW(G/G)
567 !      'UW'   – UW (M*M/S*S)                'VW'   – VW (M*M/S*S)
568 !      'WFZ'  – WFZ (M*M/S*S)                'TFZ'  – TFZ (K*M/S)
569 !      'QFZ'  – QFZ (G*M/G*S)                'RLONG'– RLONG
570 !      'RSHORT'–RSHORT
571
572 $END
573
574 $ISAN_CONTROL
575
576 !-----
577 ! Isentropic control
578 !-----
579
580 ISZSTAGE = 1,      ! Main switches for isentropic–sigz
581 IVRSTAGE = 1,      !   "varfile" processing
582
583 ISAN_INC = 0600,   ! ISAN processing increment (hmmm)
584                   !   range controlled by TIMMAX,
585                   !   IYEAR1,...,ITIME1
586
587 GUESS1ST = 'PRESS', ! Type of first guess input– 'PRESS', 'RAMS'
588
589 I1ST_FLG = 1,      ! What to do if first guess file should be
590                   ! used but does not exist.
591                   ! 1=I know it may not be there,
592                   !   skip this data time
593                   ! 2=I screwed up, stop the run
594                   ! 3=interpolate first guess file from
595                   !   nearest surrounding times, stop if unable
596                   !   (not yet available)
597
598 IUPA_FLG = 3,      ! UPA–upper air, SFC–surface
599 ISFC_FLG = 3,      ! What to do if other data files should be
600                   ! used, but does not exist.
601                   ! 1 = I know it may not be there,
602                   !   skip this data time
603                   ! 2 = I screwed up, stop the run
604                   ! 3 = Try to continue processing anyway
605
606 ! Input data file prefixes
607
608 IAPR   = '/home/pauloh/wind/dp/dp', ! Input press level dataset
609 IARAWI = '', ! Archived rawinsonde file name
610 IASRFCE = '', ! Archived surface obs file name
611
612 ! File names and dispose flags
613
614 VARPFX = 'isan/isan', ! isan file names prefix
615 IOFLGISZ = 0,      ! Isen–sigz file flag: 0 = no write, 1 = write
616 IOFLGVAR = 1,      ! Var file flag: 0 = no write, 1 = write
617
618 $END

```

```

619
620 $ISAN_ISENTROPIC
621
622 !-----
623 ! Isentropic and sigma-z processing
624 !-----
625
626 !-----
627 ! Specify isentropic levels
628 !-----
629
630 NISN      = 43,           ! Number of isentropic levels
631 LEVTH     = 280,282,284,286,288,290,292,294,296,298,300,303,306,309,312,
632           315,318,321,324,327,330,335,340,345,350,355,360,380,400,420,
633           440,460,480,500,520,540,570,600,630,670,700,750,800,
634
635 !-----
636 ! Analyzed grid information:
637 !-----
638
639 NIGRIDS   = 1,           ! Number of RAMS grids to analyze
640
641 TOPSIGZ   = 20000.,     ! Sigma-z coordinates to about this height
642
643 HYBBOT    = 4000.,     ! Bottom (m) of blended sigma-z/isentropic
644                    ! layer in varfiles
645 HYBTOP    = 6000.,     ! Top (m) of blended sigma-z/isentropic layr
646
647 SFCINF    = 1000.,     ! Vert influence of sfc observation analysis
648
649 SIGZWT    = 1.,        ! Weight for sigma-z data in varfile:
650                    ! 0.= no sigz data,
651                    ! 1.=full weight from surface to HYBBOT
652
653 NFEEDVAR  = 1,         ! 1=feed back nested grid varfile, 0=don't
654
655 !-----
656 ! Observation number limits:
657 !-----
658
659 MAXSTA    = 150,       ! maximum number of rawinsondes
660                    ! (archived + special)
661 MAXSFC    = 1000,     ! maximum number of surface observations
662
663 NOTSTA    = 0,        ! Number of stations to be excluded
664 NOTID     = 'r76458', ! Station ID's to be excluded
665                    ! Prefix with 'r' for rawinsonde,
666                    !           's' for surface
667
668 USED_FILE = 'none',   ! Filename prefix to output stations actually
669                    ! used in the analysis
670
671 IOBSWIN   = 1800,     ! Window (seconds) around analysis time. Obs
672                    ! outside this window will not be used.

```

```
673
674 STASEP = .1,      ! Minimum sfc station separation in degrees.
675                ! Any surface obs within this distance
676                ! of another obs will be thrown out
677                ! unless it has less missing data,
678                ! in which case the other obs will be
679                ! thrown out.
680
681
682 IGRIDFL = 4,      ! Grid flag=0 if no grid point, only obs
683                ! 1 if all grid point data and obs
684                ! 2 if partial grid point and obs
685                ! 3 if only grid data
686                ! 4 all data... fast
687
688
689 GRIDWT = .01,.01, ! Relative weight for the gridded press data
690                ! compared to the observational data in
691                ! the objective analysis
692
693
694 GOBSEP = 5.,      ! Grid-observation separation (degrees)
695 GOBRAD = 5.,      ! Grid-obs proximity radius (degrees)
696
697 WVLNTH = 1200.,900., ! Used in S. Barnes objective analysis.
698                ! Wavelength in km to be retained to the
699                ! RESPON % from the data to the upper air
700                ! grids.
701 SWVLNTH = 750.,300., ! Wavelength for surface objective analysis
702
703 RESPON = .90,.9,  ! Percentage of amplitude to be retained.
704
705 $END
```

---

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)