



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/12.03.17.04-TDI

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES
METEOROLÓGICAS E DE CONFORTO TÉRMICO NO
DESEMPENHO ESPORTIVO: ANÁLISE
PROGNÓSTICA DO TEMPO APLICADA À
MARATONA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO**

Mariana Pallotta

Dissertação do Mestrado do curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelos Drs. Dirceu Luis Herdies, e Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves, aprovada em 17 de dezembro de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3D5RLHH>>

INPE
São José dos Campos
2012

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):

Presidente:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivéca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/12.03.17.04-TDI

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES
METEOROLÓGICAS E DE CONFORTO TÉRMICO NO
DESEMPENHO ESPORTIVO: ANÁLISE
PROGNÓSTICA DO TEMPO APLICADA À
MARATONA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO**

Mariana Pallotta

Dissertação do Mestrado do curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelos Drs. Dirceu Luis Herdies, e Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves, aprovada em 17 de dezembro de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3D5RLHH>>

INPE
São José dos Campos
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pallotta, Mariana.

P179e

Estudo da influência das condições meteorológicas e de conforto térmico no desempenho esportivo: análise prognóstica do tempo aplicada à maratona da cidade do Rio de Janeiro / Mariana Pallotta. – São José dos Campos : INPE, 2012.

xxvi + 141 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/12.03.17.04-TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

Orientadores : Drs. Dirceu Luis Herdies, e Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves.

1. desempenho esportivo. 2. conforto térmico. 3. análise climatológica. 4. prognósticos de tempo . I.Título.

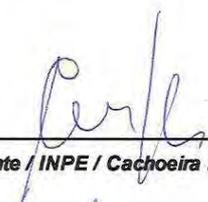
CDU 551.586

Copyright © 2012 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2012 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em
Meteorologia

Dr. Carlos Frederico de Angelis



Presidente / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Dirceu Luis Herdies



Orientador(a) / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Luis Gustavo Gonçalves de
Gonçalves



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Marcelo Enrique Seluchi



Convidado(a) / CEMADEN / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Fábio Luiz Teixeira Gonçalves



Convidado(a) / USP / São Paulo - SP

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): **Mariana Pallotta**

São José dos Campos, 17 de Dezembro de 2012

“Se a princípio, a ideia não é absurda então não há esperança para ela.”

Albert Einstein

*A meus pais, Sergio e Lidia, aos quais devo todas as
minhas conquistas, por todo apoio e infinito amor.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a *Deus*, pelo dom da vida, por sempre me guiar pelos caminhos corretos e por colocar ao meu lado pessoas tão maravilhosas.

A meus pais que tanto amo, *Lidia* e *Sergio*, aos quais devo todas as minhas conquistas. Por toda a luta e incentivo para que eu tivesse uma boa formação e por me ensinarem a sempre buscar ser uma pessoa melhor. Por todo apoio que me deram a vida toda e a confiança que sempre puseram em mim. O amor e carinho incondicional de vocês preenchem a minha vida.

A meus orientadores, *Dr. Dirceu Luis Herdies* e *Dr. Luis Gustavo Gonçalves de Gonçalves*, por me darem a chance de pesquisar este tema tão inovador que é a meteorologia aplicada ao esporte. Pela dedicação que tiveram por mim ao longo deste ano, pelas oportunidades de aprendizado que me concederam e por confiarem tanto em mim.

Ao *Philipp*, por ser este companheiro tão maravilhoso. Pela paciência, por todo o incentivo e pela enorme ajuda que me deu ao longo deste período, incondicionalmente. Seu amor e carinho fazem cada um dos meus dias mais feliz.

A meu irmão, *Pedro*, pelo companheirismo e amizade de uma vida toda e por sempre torcer por mim.

Ao Professor *Dr. Alessandro Pezzoli* por me ajudar com os primeiros passos da pesquisa a cerca da meteorologia aplicada ao esporte, pela oportunidade única de participar dos trabalhos no LII Campeonato Mundial de Pentatlo Moderno e pela chance que me deu em seguir nesta área de pesquisa.

Ao Professor *Dr. Fábio Luís Teixeira Gonçalves* por me apresentar ao mundo da pesquisa na iniciação científica e pelas contribuições que deu a este trabalho.

Aos membros da banca do Exame de Proposta, Professores *Dr. Manoel Alonso Gan* e *Dr. Carlos Frederico Angelis*, pelas sugestões e críticas que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

À coordenadora do curso de Pós-Graduação em Meteorologia, Professora *Dra. Maria Paulete Pereira Martins*, pelo incentivo dado a essa pesquisa.

Ao Professor *Dr. Valdir Inocentinni*, pelo telefonema que me deu a oportunidade de realizar o exame de ingresso ao Mestrado, já que eu não havia recebido o informe por email.

Aos colegas *Dr. Helber Gomes* e *Dr. Mário Francisco Leal de Quadro*, pela enorme ajuda com as simulações do WRF.

Às secretárias do Departamento de Pós-Graduação em Meteorologia, *Simone* e *Luana*, e à secretaria do Departamento de Meteorologia, *Márcia*, por todo o auxílio.

Ao amigos, *Érica*, *Murilo*, *Renata*, *Juliana* e *Ludmila*, que mesmo com a distância continuam ao meu lado e torcendo por mim.

Aos colegas da turma de Mestrado em Meteorologia de 2011, o companheirismo de vocês tornou nosso curso muito mais agradável e divertido.

Ao *Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE)*, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado em Meteorologia.

Ao *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)* pela concessão da bolsa de Mestrado e apoio financeiro.

À *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)*, pelo auxílio financeiro para participação em eventos.

RESUMO

Atualmente há um crescente interesse na influência e nos impactos do tempo e clima na vida humana. A análise das condições meteorológicas tem se mostrado uma ferramenta útil quando direcionada especificamente aos esportes. Sua interferência atua como um diferencial no planejamento de treinos e estratégias de prova, principalmente para esportes praticados ao ar livre. Este estudo teve como objetivo principal desenvolver análises climatológicas, prognósticos de tempo e avaliações de conforto térmico direcionados para o esporte, e espera-se que seus resultados possam auxiliar o desenvolvimento de produtos e serviços meteorológicos a serem aplicados nos Jogos Olímpicos de 2016, sediado na cidade do Rio de Janeiro. A análise do serviço meteorológico no LII Campeonato Mundial de Pentatlo Moderno mostrou que a rotina de trabalhos ao longo dos dias de competição é essencial para compreender como as condições de tempo influenciam o esporte. Os boletins meteorológicos divulgados e a consultoria durante o evento foram no todo bem sucedidos. Os resultados referentes à análise climatológica na cidade do Rio de Janeiro, para o período de interesse devido à realização dos Jogos Olímpicos, mostraram que não são esperadas situações extremas de tempo, principalmente tempestades ou temperaturas extremamente baixas. A avaliação do conforto térmico na situação média não indicou nos meses de julho, agosto e setembro desconforto extremo nem para o frio nem para o calor. Para as situações de máxima e mínima, os meses de julho e setembro se destacam, o primeiro pelo extremo estresse ao frio e o segundo tanto pelo extremo estresse ao calor quanto para o frio. O uso de prognósticos de tempo aplicados ao esporte se mostrou eficiente para o caso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro, principalmente devido à alta resolução espacial. As simulações do WRF para as três maratonas estudadas apresentaram bons resultados para temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa. Por outro lado, o prognóstico do vento apresentou um padrão de superestimativa da situação real em todos os casos. Foi possível concluir que o WRF fornece, no geral, simulações mais representativas a partir de 36h de antecedência, sendo que com 18h de integração elas se mostraram ainda melhores, descrevendo eficientemente a situação sinótica que viria a ser encontrada. A avaliação das condições meteorológicas e de conforto térmico em pontos específicos do percurso da maratona mostrou que há diferenças significativas entre as etapas da prova, o que torna possível traçar a estratégia de competição de acordo com o conforto térmico. Foi possível concluir que há relação entre uma situação termicamente mais confortável (desconfortável) e o melhor (pior) tempo na Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.

STUDY OF WEATHER AND THERMAL COMFORT INFLUENCE ON SPORT PERFORMANCE: PROGNOSTIC ANALYSIS APPLIED TO RIO DE JANEIRO'S CITY MARATHON

ABSTRACT

There is nowadays a growing interest in the influence and impacts of weather and climate in human life. The weather conditions analysis shows the utility of this type of tool when applied in sports. These conditions act as a differential in strategy and training, especially for outdoor sports. This study had as aim objective develop climate analysis, weather forecast and thermal comfort evaluation targeted to sports, and hoped that the results can be used to the development of products and weather service in the Olympic Games 2016 in Rio de Janeiro City. The weather service analysis in LII Modern Pentathlon World Championships showed that the work procedure over competition days was essential to understand how the weather conditions influence sport. The weather bulletins published during the event and the weather information given to confederations were successful. The climatological analysis results in the Rio de Janeiro city, to the period of Olympic Games, shows that aren't extreme weather conditions, especially thunderstorms and extreme temperatures. The evaluation of thermal comfort in average conditions doesn't show extreme uncomfortable to July, August and September. In the situations of maximum and minimum, the months of July and September stand out, the first by extreme cold stress and the second by both the extreme heat and cold stresses. The use of weather forecast applied to the sport showed to be efficient for the case of Rio de Janeiro City Marathon, especially due to the high spatial resolution. The WRF simulations for the three marathons studied showed good results for temperature, atmospheric pressure, and relative humidity. On the other hand, the forecast of the wind showed a pattern of overestimation of the real situation in all cases. It was concluded that the WRF model provides, in general, more representative simulations from 36 hours in advance, and with 18 hours of integration they were even better, describing efficiently the synoptic situation that would be found. A review of weather conditions and thermal comfort at specific points of the marathon route showed that there are significant differences between the stages of the marathon, which makes possible to plan the competition strategy under the thermal comfort. It was concluded that a relationship between a situation more thermally comfortable (uncomfortable) and the best (worst) time in Rio de Janeiro City Marathon.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 – Fluxograma do efeito do tempo nos esportes.	10
Figura 3.1 – Localização do hipódromo Tor di Quinto em relação a província de Roma, e da província em relação à Itália.....	23
Figura 3.2 - Estação meteorológica móvel montada no local das competições. Contém sensores de temperatura e umidade, uma ventoinha para medição da velocidade do vento e uma pá para identificar sua direção. Termômetro de solo medido a temperatura na superfície e a 20 cm de profundidade.	26
Figura 3.3 - Mapa das instalações dos Jogos Olímpicos Rio 2016 onde são indicadas as regiões de competições: 1– Barra, 2– Copacabana, 3– Maracanã, 4– Deodoro.	29
Figura 3.4 - Localização das estações meteorológicas de interesse ao estudo.	30
Figura 3.5 – Representação da grade da reanálise CFSR sobre o município do Rio de Janeiro. Os círculos em preto representam a localização das estações A e B enquanto os quadrados brancos representam os pontos analisados na Etapa 3.	31
Figura 3.6 – Topografia do modelo WRF no domínio utilizado (resolução horizontal 10 km) e suas duas grades aninhadas . A grade maior tem resolução horizontal de 3 km, enquanto a grade menor, que engloba apenas parte dos estados de SP, MG e RJ, tem resolução horizontal de 1 km.....	35
Figura 3.7 - Percurso da Maratona e Meia Maratona da Cidade do Rio de Janeiro. O Ponto A marca a Praça do Pontal (largada da Maratona), B a Praia do Pepe (largada da Meia Maratona), C a Praia de Copacabana e D o Aterro do Flamengo (chegada das duas provas).	36
Figura 3.8 – Topografia do modelo e pontos de análise ao longo do percurso da Maratona (quadrados brancos), numerados de 1 à 4 e denominados, da esquerda para a direita, como: Largada da Maratona, Largada da Meia Maratona, Ipanema e Chegada. Pontos em preto marcam a posição das estações meteorológicas, sendo à direita a estação A e à esquerda estação B.	39
Figura 4.1 - Gráficos comparativos da previsão (previsto) com os dados observados (Observado) ao longo do dia (hora local) para temperatura do ar nos dias (a) 07/05/2012; (b) 08/05/2012; (c) 09/05/2012; (d) 10/05/2012; (e) 11/05/2012.....	45
Figura 4.2 - Gráficos comparativos da previsão (previsto) com os dados observados (Observado) ao longo do dia (hora local) para	

temperatura aparente nos dias (a) 07/05/2012; (b) 08/05/2012; (c) 09/05/2012; (d) 10/05/2012; (e) 11/05/2012.....	46
Figura 4.3 - Gráficos comparativos da previsão (previsto) com os dados observados (Observado) ao longo do dia (hora local) para velocidade do vento nos dias (a) 07/05/2012; (b) 08/05/2012; (c) 09/05/2012; (d) 10/05/2012; (e) 11/05/2012.....	47
Figura 4.4 - Gráficos comparativos da previsão (previsto) com os dados observados (Observado) ao longo do dia (hora local) para umidade relativa do ar nos dias (a) 07/05/2012; (b) 08/05/2012; (c) 09/05/2012; (d) 10/05/2012; (e) 11/05/2012.....	48
Figura 5.1 - Distribuição da precipitação total anual média no período de 1997 a 2006 para o município do Rio de Janeiro.	54
Figura 5.2 - Distribuição da precipitação no período de 1997 a 2006 para o município do Rio de Janeiro em totais mensais médios no (a) inverno (JJA) e (b) primavera (SON).	54
Figura 5.3 - Médias mensais (2003-2011) do ciclo diário para a cidade do Rio de Janeiro para (a) Temperatura do Ar (°C); (b) Umidade Relativa do Ar (%); (c) Velocidade do Vento (m/s); (d) Pressão Reduzida ao Nível do Mar (hPa).....	56
Figura 5.4 - Precipitação acumulada mensal média (2003-2011), em mm, para os meses de julho, agosto e setembro na estação A (preto), estação B (vermelho) e média entre A e B (azul).	58
Figura 6.1 - Gráficos comparativos da simulação do WRF (resolução 1km, 18hs de integração) com os dados observados da Estação B, referentes ao dia 28/06/2009 para: (a) temperatura do ar, em °C; (b) umidade relativa do ar, em %; (c) velocidade do vento, em m/s; (d) pressão atmosférica ao nível da estação, em hPa.	80
Figura 6.2 - Gráficos comparativos da simulação do WRF (resolução 1km, 18hs de integração) com os dados observados da Estação B, referentes ao dia 18/07/2010 para: (a) temperatura do ar, em °C; (b) umidade relativa do ar, em %; (c) velocidade do vento, em m/s; (d) pressão atmosférica ao nível da estação, em hPa.	83
Figura 6.3 - Gráficos comparativos da simulação do WRF (resolução 1km, 18hs de integração) com os dados observados da Estação B, referentes ao dia 17/07/2011 para: (a) temperatura do ar, em °C; (b) umidade relativa do ar, em %; (c) velocidade do vento, em m/s; (d) pressão atmosférica ao nível da estação, em hPa.	86
Figura 6.4 - Cartas Sinóticas referentes às 12Z do dia 28/06/2009 em (a) altos níveis (250 hPa); (b) níveis médios (500 hPa); (c) superfície; e (d) a imagem no canal do infravermelho do satélite GOES 10 realçada para temperatura do topo de nuvens.	90

Figura 6.5 - Simulações do modelo WRF para o dia 28/06/09 às 12Z, na resolução de 3km com 60, 36 e 18 horas de integração para (a) temperatura do ar à 2 m, em °C; (b) umidade relativa do ar à 2 m; (c) pressão reduzida ao nível do mar, em hPa e (d) velocidade do vento à 10 m, em m/s.	92
Figura 6.6 - Simulações do modelo WRF para o dia 28/06/09 às 12Z, na resolução de 1km com 60, 36 e 18 horas de integração para (a) temperatura do ar à 2 m, em °C; (b) umidade relativa do ar à 2 m e (c) velocidade do vento à 10 m, em m/s	96
Figura 6.7 - Cartas Sinóticas referentes às 12Z do dia 18/07/2010 em (a) altos níveis (250 hPa); (b) níveis médios (500 hPa); (c) superfície; e (d) a imagem no canal do infravermelho do satélite GOES 12 realçada para temperatura do topo de nuvens.	104
Figura 6.8 - Simulações do modelo WRF para o dia 18/07/10 às 12Z, na resolução de 3km com 60, 36 e 18 horas de integração para (a) temperatura do ar à 2 m, em °C; (b) umidade relativa do ar à 2 m; (c) pressão reduzida ao nível do mar, em hPa e (d) velocidade do vento à 10 m, em m/s.	106
Figura 6.9 - Simulações do modelo WRF para o dia 18/07/10 às 12Z, na resolução de 1km com 60, 36 e 18 horas de integração para (a) temperatura do ar à 2 m, em °C; (b) umidade relativa do ar à 2 m e (c) velocidade do vento à 10 m, em m/s.	110
Figura 6.10 - Cartas Sinóticas referentes às 12Z do dia 17/07/2011 em (a) altos níveis (250 hPa); (b) níveis médios (500 hPa); (c) superfície; e (d) a imagem no canal do infravermelho do satélite GOES 12 realçada para temperatura do topo de nuvens.	118
Figura 6.11 - Simulações do modelo WRF para o dia 17/07/11 às 12Z, na resolução de 3km com 60, 36 e 18 horas de integração para (a) temperatura do ar à 2 m, em °C; (b) umidade relativa do ar à 2 m; (c) pressão reduzida ao nível do mar, em hPa e (d) velocidade do vento à 10 m, em m/s.	121
Figura 6.12 - Simulações do modelo WRF para o dia 17/07/11 às 12Z, na resolução de 1km com 60, 36 e 18 horas de integração para (a) temperatura do ar à 2 m, em °C; (b) umidade relativa do ar à 2 m e (c) velocidade do vento à 10 m, em m/s.	123

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Avaliação subjetiva da influência de parâmetros meteorológicos em uma série de esportes, classificada de 1 à 5, do menor para o maior, em leve, pequena, perceptível, importante e grande.	8
Tabela 2.2 - Divisão das modalidades esportivas de acordo com o ambiente no qual elas são praticadas.	9
Tabela 2.3 - Distribuição das zonas de conforto/desconforto de acordo com o índice de Temperatura Efetiva, para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas.....	17
Tabela 2.4 - Distribuição das zonas de conforto/desconforto de acordo com a Temperatura Equivalente Fisiológica, para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas.	19
Tabela 2.5 - Distribuição das zonas de conforto/desconforto de acordo com o Voto Médio Previsto, para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas.	20
Tabela 3.1 - Exemplo da tabela previsão horária divulgada nos boletins. Contém prognósticos dos seguintes parâmetros: cobertura de nuvens, precipitação, risco de chuva, temperatura, temperatura aparente, grau de estresse fisiológico, umidade relativa, direção e velocidade do vento	25
Tabela 3.2 - Características das estações meteorológicas utilizadas no estudo. INMET- Instituto Nacional de Meteorologia; Alerta Rio- Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro.....	29
Tabela 3.3 - Distribuição das zonas de conforto/desconforto de acordo com a Temperatura Efetiva, Temperatura Efetiva em função do Vento, Temperatura Equivalente Fisiológica e Voto Médio Previsto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas. Apresenta escala de cores e siglas para facilitar a classificação.....	33
Tabela 3.4 - Modelo de apresentação da análise do conforto térmico. As palavras em vermelho são condicionais, ou seja, dependem da característica da análise em questão.....	33
Tabela 3.5 - Classificação das configurações das simulações do WRF de acordo com o tempo de integração e as condições iniciais utilizadas na Maratona 2009 (28/06/09), Maratona 2010 (18/07/10) e Maratona 2011 (17/07/11).....	35
Tabela 3.6 - Modelo de apresentação da análise do conforto térmico para as Maratonas estudadas. As palavras em vermelho são condicionais, ou seja, dependem da característica da análise em questão.	40

Tabela 4.1 - Coeficientes de correlação entre previsão e observação para temperatura (T), velocidade do vento (V), umidade relativa (UR) e temperatura aparente (TA) de 07 à 11 de maio de 2012. Valores em verde representam correlação alta, em amarelo correlação moderada e em vermelho correlação baixa.....	44
Tabela 4.2 - Valores do Viés para comparações entre previsão e observação para temperatura (T), velocidade do vento (V), umidade relativa (UR) e de 07 à 11 de maio de 2012.....	49
Tabela 4.3 - Valores de correlação e viés para comparações entre previsão e observação com dados coletados no local de competição (52 CPM) e com dados observados na estação Roma Urbe (Urbe), para temperatura de 07 à 11 de maio de 2012. Valores em verde representam correlação alta, em amarelo correlação moderada e em vermelho correlação baixa.....	50
Tabela 5.1 - Médias para os meses de julho, agosto e setembro de temperatura do ar (T) em °C, umidade relativa (UR) em %, pressão reduzida ao nível médio do mar (PNMM) em hPa, velocidade do vento (V) em m/s e precipitação acumulada (Prec) em mm.....	59
Tabela 5.2 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v , TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para o período da noite (00Z) e madrugada (06Z) no mês de julho.....	63
Tabela 5.3 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v , TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para o período da manhã (12Z) e tarde (18Z) no mês de julho. ...	64
Tabela 5.4 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v , TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para o período da noite (00Z) e madrugada (06Z) no mês de agosto.....	65
Tabela 5.5 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v , TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para o período da manhã (12Z) e tarde (18Z) no mês de agosto.	66
Tabela 5.6 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v , TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para o período da noite (00Z) e madrugada (06Z) no mês de setembro.....	67
Tabela 5.7 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v , TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para o período da manhã (12Z) e tarde (18Z) no mês de setembro.....	68
Tabela 5.8 - Sensação térmica média estimada pela Temperatura Aparente (TA) em °C e os prováveis graus de estresse fisiológicos a serem	

enfrentados nas médias das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z para julho, agosto e setembro.	70
Tabela 5.9 - Temperaturas máxima e mínima (°C) do período de 2003 à 2011 para os meses de julho, agosto e setembro e suas respectivas data, hora e medidas de umidade relativa (UR em %) e vento (V em m/s).....	71
Tabela 5.10 - Comparação entre os valores de temperaturas máxima e mínima (°C) obtidos na Estação A (INMET), Estação B (Alerta Rio) e na estação meteorológica do aeródromo Santos Dummont (SBRJ) .	72
Tabela 5.11 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v , TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as temperaturas máxima e mínima do mês de julho ao longo do período 2003 à 2011.....	76
Tabela 5.12 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v , TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as temperaturas máxima e mínima do mês de agosto ao longo do período 2003 à 2011.....	77
Tabela 5.13 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v , TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as temperaturas máxima e mínima do mês de setembro ao longo do período 2003 à 2011.....	78
Tabela 6.1 - Valores dos coeficientes de correlação, viés e erro médio quadrático para comparações entre a simulação do WRF (resolução 1km, 18hs de integração) e as observações nas estações A e B, referentes ao dia 28/06/2009 para temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (V) e pressão ao nível da estação (P).	80
Tabela 6.2 - Valores dos coeficientes de correlação, viés e erro médio quadrático para comparações entre a simulação do WRF (resolução 1km, 18hs de integração) e as observações nas estações A e B, referentes ao dia 18/07/2010 para temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (V) e pressão ao nível da estação (P).	83
Tabela 6.3 - Valores dos coeficientes de correlação, viés e erro médio quadrático para comparações entre a simulação do WRF (resolução 1km, 18hs de integração) e as observações nas estações A e B, referentes ao dia 17/07/2011 para temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (V) e pressão ao nível da estação (P).	86
Tabela 6.4 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE_v , TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 09Z o dia 28/06/09 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.	99

Tabela 6.5 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE _V , TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 12Z o dia 28/06/09 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro	100
Tabela 6.6 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE _V , TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 15Z o dia 28/06/09 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.	101
Tabela 6.7 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE _V , TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 09Z o dia 18/07/10 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.	113
Tabela 6.8 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE _V , TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 12Z o dia 18/07/10 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.	114
Tabela 6.9 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE _V , TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 15Z o dia 18/07/10 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.	115
Tabela 6.10 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE _V , TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 09Z o dia 17/07/11 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.	126
Tabela 6.11 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE _V , TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 12Z o dia 17/07/11 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.	127
Tabela 6.12 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE _V , TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 15Z o dia 17/07/11 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.	128
Tabela 6.13 - Relação entre a média dos cinco melhores tempos (T ₅) e o melhor tempo (T ₁) das edições de 2009, 2010 e 2011 da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro com a tendência do desempenho de prova (TDP) estipulada.	131

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
BA	Bahia
CFSR	<i>Climate Forecast System Reanalysis</i>
CFT	Confortável
CP	Correlação de Pearson
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DSA	Divisão de Satélites Ambientais
EEC	Extremo Estresse ao Calor
EEF	Extremo Estresse ao Frio
EMC	Estresse Moderado ao Calor
EMF	Estresse Moderado ao Frio
ES	Espírito Santo
EQM	Erro Quadrático Médio
FEC	Forte Estresse ao Calor
FEF	Forte Estresse ao Frio
GPT	Grupo de Previsão de Tempo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JAS	Julho-Agosto-Setembro
JJA	Junho-Julho-Agosto
LEC	Ligeiro Estresse ao Calor
LEF	Ligeiro Estresse ao Frio
MEMI	<i>Munich Energy-balance Model for Individuals</i>
METAR	<i>Meteorological Aerodrome Report</i>
MG	Minas Gerais
MR	Modelo de Rayman
MT	Mato Grosso
NCAR	<i>National Center for Atmospheric Research</i>
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
NMM	<i>Nonhydrostatic Meso-Scale Modelling</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>

P	Pressão Atmosférica
PNMM	Pressão Atmosférica Reduzida ao Nível do Mar
RJ	Rio de Janeiro
RS	Rio Grande do Sul
SBGL	Aeroporto de Galeão – Rio de Janeiro
SBRJ	Aeroporto Santos Dummont – Rio de Janeiro
SC	Santa Catarina
SF	Sistema Frontal
SON	Setembro-Outubro-Novembro
SP	São Paulo
T	Temperatura do Ar
TDP	Tendência do Desempenho de Prova
TE	Temperatura Efetiva
TEF	Temperatura Equivalente Fisiológica
TEP	Temperatura Efetiva Padrão
TE _v	Temperatura Efetiva em função do Vento
TO	Tocantins
UR	Umidade Relativa
V	Vento
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
VMP	Voto Médio Previsto
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
WRF	<i>Weather Research and Forecasting</i>
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Motivação	1
1.2	Visão Geral	2
1.3	Objetivos	4
1.3.1	Objetivos Específicos	4
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1	O Impacto das Condições Meteorológicas nas Modalidades Esportivas	7
2.2	Conforto Térmico Humano	11
2.3	Índices de Conforto Térmico	13
2.3.1	Temperatura Efetiva (TE)	16
2.3.2	Temperatura Efetiva em Função do Vento (TE_v)	17
2.3.3	Temperatura Equivalente Fisiológica (TEF)	18
2.3.4	Voto Médio Previsto (VMP)	19
2.3.5	Temperatura Efetiva Padrão (TEP*)	21
3	METODOLOGIA	23
3.1	Etapa 1: Análise do Serviço Meteorológico no LII Campeonato Mundial de Pentatlo Moderno	23
3.1.1	Rotina e Métodos do Serviço Meteorológico	23
3.1.2	Análise dos Dados e Validação das Previsões	26
3.2	Etapa 2: Estudo Climatológico e de Conforto Térmico da Cidade do Rio de Janeiro	28
3.2.1	Análise Climatológica da Área de Interesse	28
3.2.2	Avaliação do Conforto Térmico	32
3.3	Etapa 3: Análise Prognóstica do Tempo Aplicada ao Esporte	34
3.3.1	O Modelo WRF	34
3.3.2	Estudo de Caso: Maratona da Cidade do Rio de Janeiro	36
4	ANÁLISE DO SERVIÇO METEOROLÓGICO NO LII CAMPEONATO MUNDIAL DE PENTATLO MODERNO	43
5	ESTUDO CLIMATOLÓGICO E DE CONFORTO TÉRMICO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO	51
5.1	Aspectos Gerais e Sistemas Meteorológicos Atuantes	51

5.2	Análise Climatológica	55
5.3	Avaliação do Conforto Térmico.....	59
5.3.1	Situação Média.....	59
5.3.2	Situação de Máximas e Mínimas.....	71
6	ANÁLISE PROGNÓSTICA DO TEMPO APLICADA AO ESPORTE.....	79
6.1	Validação das Simulações do WRF.....	79
6.2	Maratona 2009.....	88
6.2.1	Análise Sinótica.....	88
6.2.2	Simulações WRF.....	90
6.2.3	Avaliação do Conforto Térmico	97
6.3	Maratona 2010.....	102
6.3.1	Análise Sinótica.....	102
6.3.2	Simulações WRF.....	104
6.3.3	Avaliação do Conforto Térmico	111
6.4	Maratona 2011.....	117
6.4.1	Análise Sinótica.....	117
6.4.2	Simulações WRF.....	118
6.4.3	Avaliação do Conforto Térmico	124
6.5	Relação entre os Tempos de Prova e as Condições de Conforto Térmico....	130
7	CONCLUSÕES	133
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Atualmente há um crescente interesse na influência e nos impactos do tempo e clima na vida humana. Essa relação se manifesta de forma determinística na coloração dos cabelos, da pele e na formação facial, em situações corriqueiras, como a relação da vestimenta com a temperatura, e também de maneira indireta, influenciando o comportamento humano e os diversos tipos de atividades praticadas pelo homem.

A análise das condições meteorológicas tem se mostrado uma ferramenta útil quando direcionada especificamente aos esportes. Sua interferência atua como um diferencial no planejamento de treinos e estratégias de prova, principalmente para esportes praticados ao ar livre, sendo cada vez mais abordada dentre as diversas frentes que desenvolvem melhores técnicas para modalidades esportivas profissionais. Thornes (1977) reconheceu em seu estudo que deveria haver uma divisão especializada em meteorologia para os esportes. Quase 30 anos depois Perry (2004) ainda justifica essa necessidade, argumentando que boa parte dos grandes eventos esportivos são realizados ao ar livre, estando sujeitos a atrasos, postergações ou cancelamentos devido às condições adversas de tempo. A interferência das condições de tempo pode ser também um fator determinante nos esportes, quando elas dão vantagem a um lado da competição como, por exemplo, o vento que pode afetar a trajetória da bola em jogo em partidas de futebol ou rugby, levando a uma vantagem desigual.

Estudos relacionando a meteorologia e os esportes já são publicados há alguns anos em países como Estados Unidos, Inglaterra, Itália e Alemanha. Além disso, o uso desse tipo de recurso já é frequentemente aplicado em suas modalidades esportivas, tanto em treinos quanto em competições. O Brasil carece de estudos nesse tema, pois não existem publicações que tratem a análise das condições meteorológicas como um diferencial no desempenho de atletas. Conseqüentemente a prática é pouco difundida dentre as modalidades

esportivas do país, se restringindo apenas a modalidades específicas que dependem fortemente das condições de tempo para sua realização, tais como as provas de vela, que mesmo assim nem sempre contam com pessoal especializado.

Visando aos grandes eventos esportivos que o Brasil irá sediar nos próximos anos (Copa do Mundo de Futebol 2014 e Jogos Olímpicos 2016) é essencial que a meteorologia aplicada ao esporte se torne um tema conhecido, abordado e bem fundamentado. Assim, isso permitirá que os atletas brasileiros tenham um melhor desempenho nas competições que disputarão em casa e também que o país dê suporte às diversas delegações estrangeiras que necessitem desse tipo de serviço.

1.2 Visão Geral

A influência meteorológica em esportes como os de navegação, de voo planado e de inverno é evidente, uma vez que eles dependem fortemente das condições de tempo e clima para serem realizados. Esportes de corrida, bem como o futebol e outros, dificilmente seriam considerados dependentes das condições do tempo (SPELMANN, 1996). No entanto são em modalidades como essas que o principal tema da meteorologia no esporte vem à tona: o conforto térmico do atleta.

A maioria dos esportes está relacionada a um alto nível de atividades físicas, e isso altera o mecanismo de transferência de calor entre o corpo e a pele do atleta. Spellman (1996) disserta sobre as maratonas de corrida, que por serem extensas e demandarem grande esforço, exigem muito do corpo humano. Além da tensão física, as condições ambientais, em especial temperatura, umidade e vento, podem influenciar acentuadamente a termo regulação do corpo. Sendo assim, para que um atleta desempenhe o máximo de sua habilidade é necessário que ele esteja dentro de sua zona de conforto térmico.

O conforto térmico humano é definido como uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico (BUTERA, 1998). No entanto tal condição é um tanto imprecisa, já que varia de pessoa para pessoa de acordo

com o tipo físico, a atividade praticada e a vestimenta. Fanger (1972) é mais abrangente em sua definição, determinando que uma pessoa encontra-se termicamente confortável quando todo o calor produzido ou ganho por seu corpo for igual à quantidade de calor perdido ao meio exterior na mesma proporção, a fim de ser mantido um balanço de energia. Fatores ambientais, tais como temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e temperatura média radiante¹, influenciam diretamente o conforto térmico de um indivíduo (NEDEL, 2008).

A análise do conforto térmico humano é feita através do uso de índices biometeorológicos, ou índices de conforto térmico. Eles têm sido apresentados em diversas pesquisas (FANGER, 1932; STEADMAN, 1971; SUPING et al., 1992; BUTERA, 1998; HÖPPE, 1999; MATZARAKIS et al., 1999; NEDEL, 2008) no intuito de estimar o quanto algumas variáveis meteorológicas influenciam nos estímulos fisiológicos do corpo humano e quais são as respostas desse corpo ao ambiente no qual está inserido. Esses índices são calculados por equações empíricas, as quais consideram alguns parâmetros meteorológicos relevantes, tais como o Índice de Desconforto (THOM, 1959), Temperatura Aparente (STEADMAN, 1979), Índice Windchill (STEADMAN, 1971), Temperatura Efetiva (MISSENARD, 1937; FANGER, 1972), entre outros, ou até mesmo equações que consideram aspectos da fisiologia térmica humana, entre eles o Voto Médio Previsto (FANGER, 1932), a Temperatura Equivalente Fisiológica (HÖPPE e MAYER, 1987) e a Temperatura Efetiva Padrão (GAGGE, 1967).

Pezzoli et al. (2012) apontam em seu estudo que a avaliação das condições bioclimatológicas e do conforto térmico em esportes de competição, como ciclismo, atletismo, entre outros, tem importância fundamental no planejamento apropriado do programa de treino e do plano nutricional, além de contribuírem para uma melhor avaliação da estratégia de prova. Apesar disso, a influência

¹ Matzarakis et al. (2007) definem a temperatura média radiante como a temperatura uniforme de uma superfície circundante emitindo radiação de corpo negro, a qual resulta no mesmo ganho de energia do corpo humano dados os fluxos de radiação predominantes.

das condições meteorológicas e ambientais é geralmente desconsiderada na avaliação do desempenho em esportes ao ar livre.

1.3 Objetivos

Baseado na motivação e nos fundamentos apresentados nas seções anteriores, o presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver análises climatológicas, prognósticos de tempo e avaliações de conforto térmico direcionados ao esporte.

Desta maneira, pretende-se apresentar a meteorologia aplicada ao esporte como uma ferramenta útil na busca do melhor desempenho esportivo, de modo que possa ser utilizada por técnicos, treinadores e atletas no planejamento de seus treinos e na elaboração de estratégias de competição. Espera-se também que este trabalho possa auxiliar o desenvolvimento de produtos e serviços meteorológicos a serem aplicados na realização dos Jogos Olímpicos de 2016, que será sediado na cidade do Rio de Janeiro.

1.3.1 Objetivos Específicos

Este trabalho está dividido em três etapas, sendo que cada uma delas possui objetivos específicos distintos, conforme descrito abaixo:

Etapa 1: Análise do serviço meteorológico no LII Campeonato Mundial de Pentatlo Moderno

- Apresentar a rotina do serviço meteorológico em um local de competição esportiva e sua relevância para o evento;
- Validar as previsões de tempo divulgadas no decorrer do evento com os dados meteorológicos coletados no local de competição;
- Verificar a existência de possíveis erros sistemáticos nos dados coletados e aplicar as correções necessárias.

Etapa 2: Estudo climatológico e de conforto térmico na cidade do Rio de Janeiro

- Descrever os aspectos gerais do clima para a cidade do Rio de Janeiro nos meses de julho, agosto e setembro, destacando as características principais e os sistemas meteorológicos que lá atuam;
- Apresentar uma análise climatológica para a cidade nos meses estudados com base nas estações meteorológicas da região;
- Calcular índices e avaliar o conforto térmico para as diversas condições meteorológicas que podem ser encontradas no Rio de Janeiro no período.

Etapa 3: Análise prognóstica do tempo aplicada ao esporte

- Fazer uso de modelagem de alta resolução para simular as condições de tempo em três edições da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro;
- Validar as simulações do modelo para a cidade do Rio de Janeiro, comparando-as a estações meteorológicas da região;
- Discutir a situação sinótica de cada edição da maratona, verificando se as simulações foram representativas e eficazes com dias de antecedência;
- Avaliar as condições meteorológicas e de o conforto térmico em pontos específicos do percurso da maratona, indicando possíveis estratégias de competição;
- Relacionar os melhores (piores) tempos de prova com as situações termicamente mais confortáveis (desconfortáveis).

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica desta dissertação, apresentando uma revisão sobre o impacto das condições meteorológicas nos esportes, as definições de conforto térmico humano e a descrição dos índices de conforto térmico utilizados ao longo do trabalho. A metodologia das três etapas é apresentada no Capítulo 3. Os Capítulos 4, 5 e 6 descrevem os resultados obtidos para, respectivamente, a análise do serviço meteorológico no LII Campeonato Mundial de Pentatlo Moderno, o estudo climatológico e de

conforto térmico na cidade do Rio de Janeiro e a análise prognóstica do tempo aplicada ao esporte. Por fim, o Capítulo 7 apresenta as conclusões e sugestões de aplicação deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O Impacto das Condições Meteorológicas nas Modalidades Esportivas

As condições meteorológicas podem influenciar qualquer tipo de evento esportivo, principalmente aqueles realizados ao ar livre, as quais podem gerar vantagens ou desvantagens a um competidor ou time. As interferências do vento e mudanças repentinas no tempo podem prejudicar o desempenho de um atleta devido a condições extremas de temperatura e umidade ou até mesmo causar o cancelamento de competições ou partidas, quando há a ocorrência de fenômenos severos tais como tempestades, nevascas, tornados, entre outros.

Tendo em vista que as condições de tempo são várias, bem como existem diversas modalidades esportivas que podem ser influenciadas de diferentes maneiras, em 1996 a WMO (*World Meteorological Organization*) em sua publicação *Weather and Sports* listou os Elementos Críticos de Tempo, a fim de auxiliar os Jogos Olímpicos de Atlanta, realizados naquele mesmo ano. Essa lista foi elaborada com base em um critério geral determinado pelas respostas de questionários enviados a gerentes de planejamento de esporte, o qual teve o intuito de determinar os elementos de tempo mais importantes para cada modalidade. Entre as informações obtidas estavam os limiares de tempo significativos para as modalidades esportivas, a frequência necessária da informação meteorológica para um determinado evento e sua necessidade para fins de planejamento. Sendo assim, os elementos de tempo que poderiam influenciar de maneira significativa ou até provocarem alguma interrupção nos Jogos de Atlanta foram:

- Para todos os eventos ou modalidades: tempo severo, especialmente tempestades, granizo e raios;
- Para competições de atletismo, tênis, ciclismo, esportes equestres e outros esportes ao ar livre: temperaturas acima de 37,8 °C, umidade relativa acima de 50%, ventos acima de 50 km/h e qualquer tipo de precipitação;

- Para competições de tiro e navegação: visibilidade menor que 1 milha (1,6 km).

Outra visão subjetiva sobre a influência das condições de tempo nas modalidades esportivas é apresentada em Perry (2004), conforme mostra a Tabela 2.1. Nela é possível ver, de maneira geral, que as variáveis meteorológicas que interferem significativamente na maioria das modalidades esportivas listadas são a temperatura do ar e o vento. Ao analisar a tabela com detalhes nota-se que a precipitação também tem interferência significativamente em algumas modalidades, em especial o ciclismo e o futebol, onde a influência é semelhante ou até maior que a temperatura, por exemplo.

Ainda assim é importante ressaltar que a umidade do ar, não listada nessa tabela, é outra variável meteorológica de impacto no esporte, principalmente no conforto térmico do atleta (SPELMANN, 1996).

Tabela 2.1 - Avaliação subjetiva da influência de parâmetros meteorológicos em uma série de esportes, classificada de 1 à 5, do menor para o maior, em leve, pequena, perceptível, importante e grande.

Esporte	Temperatura	Vento	Precipitação	Nebulosidade
Navegação	4	5	3	4
Remo	4	5	3	1
Canoagem	4	5	3	1
Natação	5	4	1	1
Esportes Aéreos	5	5	1	4
Futebol	2	4	5	1
Ciclismo	3	5	4	1
Atletismo (Saltos)	4	5	3	1
Atletismo (Pista)	3	5	3	1
Atletismo (Campo)	1	5	2	1
Arco	3	5	3	4
Tiro	1	5	3	4
Total de Pontos	39	58	34	21

Fonte: Adaptado de Perry (2004).

Cada modalidade esportiva é influenciada pelo tempo ou clima de maneira diferente, mas não só devido ao tipo de atividade desenvolvida ou equipamento utilizado, mas também de acordo com o ambiente na qual ela é praticada. A WMO (1996) propôs em sua publicação uma divisão dos três principais tipos de

locais para a realização de eventos esportivos de acordo com a natureza de cada modalidade (Tabela 2.2), sendo possível assim direcionar como as condições meteorológicas atuam em cada subdivisão.

Tabela 2.2 - Divisão das modalidades esportivas de acordo com o ambiente no qual elas são praticadas.

Ambientes para Eventos Esportivos	Descrição	Modalidades Esportivas
Natural	Esportes praticados diretamente na natureza. Onde a interferência do homem no ambiente se dá somente pelo equipamento utilizado na prática esportiva. São influenciadas tanto por aspectos climáticos (totais pluviométricos, neve, etc) com por condições de tempo (intensidade e direção do vento, precipitação, etc) .	Vela, Surfe, Canoagem, Escalada, Esqui, Caminhada e Voos.
Natural Controlado	Esportes praticados ao ar livre, porém em um ambiente construído e equipado especialmente para as modalidades ali disputadas. São sensíveis principalmente a condições de tempo (temperatura, umidade, precipitação, etc).	Futebol, Tênis, Atletismo (corrida, pista e campo), Vôlei de Praia, Basebol, Hóquei e Rúgbi.
Artificial	Esportes praticados em ambientes fechados e quase sempre climatizados, onde a influência das condições meteorológicas externas pode ser desconsiderada.	Basquete, Vôlei Boxe, Ginástica Artística, Natação, Tênis de Mesa e Lutas.

Fonte: Adaptado de WMO 835 (1996).

Quando se deseja estudar a influência das condições meteorológicas diretamente no atleta, ou seja, o quanto elas podem interferir em seu corpo e conseqüentemente em seu desempenho de prova, as modalidades esportivas de interesse são aquelas praticadas em Ambiente Natural Controlado, de acordo com as divisões apresentadas na Tabela 2.2. Estes são esportes praticados ao ar livre, nos quais um ou mais atletas utilizam o corpo como principal mecanismo de deslocamento e onde não há necessidade exclusiva da utilização de equipamentos para a prática esportiva, como é o caso de esportes de navegação e voo. É em modalidades esportivas praticadas nesse tipo de ambiente que o principal tema da meteorologia no esporte vem à tona: o conforto térmico do atleta (PERRY, 2004).

Em seu artigo de 1977, Thornes já mostrava a importância e a relevância do estudo do conforto térmico em eventos esportivos. A Figura 2.1 apresenta um esquema de como o autor tratou esse tema em seu estudo dos efeitos do tempo no esporte (*Effects of Weather on Sport*), abordando os esportes praticados em ambientes internos e externos, o conforto dos atletas e dos espectadores e que essa combinação de fatores pode vir a afetar os aspectos econômicos do evento esportivo.

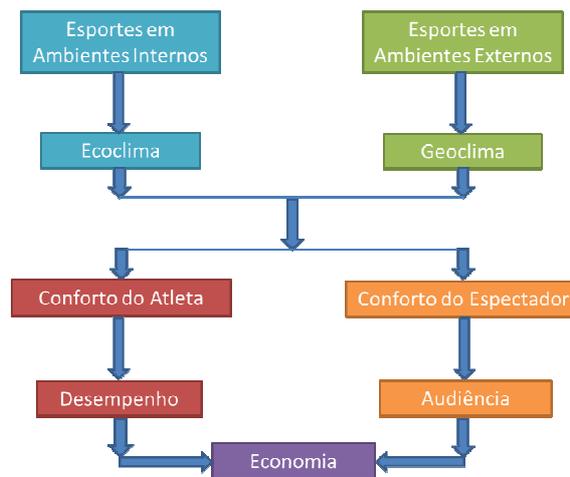


Figura 2.1 – Fluxograma do efeito do tempo nos esportes.
Fonte: Adaptada de Thornes (1977).

O termo ecoclima (*ecoclimate*) na Figura 2.1 representa o tempo e clima das edificações nas quais o homem trabalha, mora e pratica esportes, visando apenas parâmetros como temperatura, umidade e radiação. Já o termo geoclima (*geoclimate*) é tido como o tempo e clima ao ar livre, os quais são normalmente medidos por métodos meteorológicos padrão. O autor descreve que as condições de ecoclima e geoclima são muito importantes na determinação do conforto térmico de um atleta, pois para que ele obtenha seu melhor desempenho deve estar dentro de sua zona de conforto. Vale ressaltar que os ambientes influenciados pelo ecoclima, por serem fechados, normalmente são climatizados fazendo com que o conforto térmico do atleta seja atingido com maior facilidade.

Outros trabalhos avaliam o desempenho de atletas de acordo com as condições meteorológicas as quais estão submetidos. Spellman (1996) cita em seu estudo que entre 61 provas de maratona realizadas com temperaturas de

1°C à 24°C, os melhores tempos foram registrados quando a temperatura estava em cerca de 13°C. Suping et al. (1992) confirmam tal afirmação comentando que alguns especialistas em maratonas sugerem que a faixa de temperatura do ar mais adequada para a corrida é entre 8 e 15°C. Os autores ainda completam mostrando que os resultados pioram cerca de 1 minuto a cada grau de aumento de temperatura. A *American Sports Medicine Society* propõe que a temperatura máxima limite para corredores de longa distância é de 28°C.

Pezzoli e Cristofori (2008) ao estudarem o impacto de alguns parâmetros ambientais específicos em diversas modalidades esportivas puderam concluir que a maioria dos esportes ao ar livre, principalmente os de competição, são fortemente influenciados pela variação dos parâmetros meteorológicos, e que a avaliação do conforto térmico nesse tipo de esporte tem fundamental importância no planejamento dos treinos e nas estratégias de prova.

Os anos de treinamento dos atletas profissionais resultam em um conhecimento íntimo e individual das capacidades e limites de seus corpos, tornando-os conscientes das respostas físicas que lhe são comuns ao experimentarem os efeitos da variação das condições de tempo (WMO 835, 1996). Isso faz com que as informações e dados meteorológicos rotineiros, incluindo previsões, sejam uma parte integral da preparação dos atletas. Sendo assim, os estudos da biometeorologia humana e análise completa do conforto térmico, tanto diagnóstica quanto prognóstica, tem muito a auxiliar nas práticas, treinos e planejamentos das mais diversas modalidades esportivas.

2.2 Conforto Térmico Humano

Butera (1998) descreve tecnicamente o corpo humano como um sistema termodinâmico, que produz trabalho mecânico e calor, usando comida e oxigênio como combustíveis de entrada. Para que esse sistema se mantenha saudável é necessário que sua temperatura interna se mantenha constantemente por volta de 37°C, caso contrário a funcionalidade de órgãos importantes do corpo, tais como baço e fígado, pode ser seriamente danificada.

Para tanto é necessário que a taxa de geração de calor do corpo humano seja igual à taxa de calor perdida por ele, caracterizando assim um balanço de calor, o qual é função do sistema termo regulatório manter. Esse equilíbrio é a condição fundamental para a sobrevivência do ser humano e necessário, porém não suficiente, para atingir o conforto térmico.

Logo, isso leva ao conceito de conforto térmico, que envolve aspectos fisiológicos e psicológicos (RORIZ, 1996). No âmbito fisiológico, um ambiente confortável oferece condições térmicas favoráveis à manutenção da temperatura interna do corpo humano, sem que os mecanismos de termo regulação sejam acionados. Já o âmbito psicológico envolve definições mais complexas, pois consideram as sensações de frio ou calor de cada indivíduo, algo que pode ser função da idade, gênero, tipo físico, entre outros (NEDEL, 2008).

Segundo Tromp (1980), o conforto térmico de um homem e sua resposta fisiológica ao estresse térmico dependem não somente da sua produção metabólica de calor, mas também do nível dos fatores ambientais que o atingem e o tipo de vestimenta que está usando. O autor reconhece que nenhum desses fatores pode ser usado como critério único para avaliar o estresse térmico que o corpo atinge ou as respostas esperadas devido àquele, uma vez que nem sempre todos esses fatores afetam o corpo simultaneamente, já que o efeito de qualquer um deles depende do nível de atuação dos outros.

Os fatores gerais mensuráveis que afetam o conforto térmico de um indivíduo são de caráter ambiental, onde estão compreendidas quatro principais variáveis meteorológicas: temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade do ar e velocidade do ar; e também de caráter individual, levando em consideração o isolamento conferido pelas roupas e o nível de atividade do corpo. No entanto já foi provado que outros fatores pessoais relacionados à adaptação ao ambiente e aclimatização afetam a sensação térmica do indivíduo (JOHANSSON, 2006).

Johansson (2006) cita que a faixa de conforto/desconforto térmico em ambientes externos é mais ampla que em ambientes internos, abrangendo desde o estado de conforto até a sensação de ambiente estressante. De uma maneira mais direta, isso quer dizer que o conforto térmico é mais fácil de ser atingido em ambientes internos do que externos. O primeiro tipo de ambiente pode ser considerado como controlado, o qual está protegido de ações do vento e influência da radiação solar, logo a variação de parâmetros meteorológicos relevantes tais como temperatura e umidade são lentas, fatores que afetam de maneira significativa a sensação de frio ou calor de um indivíduo. Já no segundo tipo, o ambiente externo, as condições meteorológicas que o influenciam tem maior variação temporal e espacial, o que resulta no balanço térmico do corpo raramente em estado de equilíbrio.

Muitos estudos sobre conforto térmico humano são desenvolvidos para ambientes internos. Nedel (2008), por exemplo, estudou o conforto térmico no interior de residências a fim de relacioná-lo a doenças respiratórias em recém-nascidos, e comenta que a importância do conhecimento de ambientes fechados está no fato de passarmos aproximadamente 90% de nossas vidas no interior deles. Porém as pesquisas em torno do conforto em ambientes externos destacam sua importância, como Givoni et al. (2003), que estudaram os aspectos gerais do conforto térmico externo e descrevem que as pessoas quando estão ao ar livre ficam expostas a condições como, por exemplo, variação da radiação solar e dos ventos, fatores que modificam muito suas respostas à temperatura e a umidade. Isso afeta diretamente as atividades ao ar livre, como o movimento nas ruas, praças, parques e conseqüentemente nas atividades de lazer e esportivas.

2.3 Índices de Conforto Térmico

Os índices biometeorológicos, ou índices de conforto térmico, foram desenvolvidos para quantificar o conforto térmico humano de modo a tornar possível sua análise. São fórmulas matemáticas que estimam o efeito do ambiente meteorológico sobre o ser humano, cujo resultado indica a sensação térmica do indivíduo. Assim, é possível identificar o tipo de estresse térmico e

quais as respostas do corpo ao ambiente no qual se encontra (TROMP, 1980; NEDEL, 2008). As equações são, em grande parte, combinações dos parâmetros meteorológicos que afetam o conforto térmico (temperatura do ar, temperatura de bulbo úmido, pressão de vapor, temperatura média radiante e velocidade do vento) com coeficientes determinados empiricamente. Alguns índices mais recentes incluem parâmetros da fisiologia humana nos cálculos, tais como temperatura da pele e temperatura interna.

Existem na literatura atual vários índices biometeorológicos desenvolvidos no início do século XX, motivados em parte pelo advento do ar condicionado. Desde 1923 vários pesquisadores vêm os aprimorando, na tentativa de expressar, da maneira mais realista possível, as condições de conforto de um determinado ambiente, seja ele interno ou externo (NEDEL, 2008). Entre os índices baseados somente nos parâmetros meteorológicos, que neste trabalho serão chamados simplesmente de Índices Empíricos, estão a Temperatura Efetiva (MISSENARD, 1937), Fórmula de Siple-Passel (SIPLE e PASSEL, 1945), *Wet Bulb Globe Temperature* (1950), Índice de Desconforto (THOM, 1957), Índice Windchill (STEADMAN, 1971), Temperatura Aparente (STEADMAN, 1971), entre outros.

Em 1938, Büttner reconheceu que para a avaliação da influência térmica do ambiente no corpo humano, os efeitos de todas as componentes térmicas teriam que ser levados em consideração, o que trouxe a necessidade de modelar o balanço de energia humano. Desde os anos 70 vários cientistas começaram a usar índices fisiologicamente relevantes, os quais são derivados do balanço de energia, para a avaliação da componente térmica (MATZARAKIS et al., 2007) e por considerarem aspectos da fisiologia térmica são vistos como o “estado da arte” dos índices (HÖPPE, 1999). Neste trabalho esses índices serão classificados como Índices Fisiológicos, entre os quais estão o Voto Médio Previsto (FANGER, 1972), Temperatura Efetiva Padrão (GAGGE et al., 1996.) e a Temperatura Equivalente Fisiológica (HÖPPE e MAYER, 1987). Matzarakis et al. (2007) listam os parâmetros meteorológicos levados em consideração nos índices fisiológicos, sendo eles temperatura do

ar, pressão de vapor, velocidade do vento e temperatura média radiante, e também os parâmetros pessoais e fisiológicos que entram no balanço de energia do corpo, tais como atividade humana, produção de calor pelo corpo e resistência da transferência de calor pela vestimenta.

Apesar da definição dos índices fisiológicos ser mais bem fundamentada, uma vez que o conforto térmico de um indivíduo depende não somente dos parâmetros meteorológicos mas também dos pessoais, eles levam em consideração todas as variáveis ambientais importantes. Assim, o fato de eles serem desenvolvidos tendo como base ambientes fechados (controlados) faz com que falhem em prever corretamente a sensação em ambientes que estejam longe da zona de conforto (JOHANSSON, 2006). Portanto, os índices fisiológicos se mostram insuficientes em análises de ambientes que apresentam condições meteorológicas extremas (para frio ou calor), bem como para ambientes sob condições de mudanças dinâmicas constantes. Logo, a aplicação desse tipo de índice em ambientes externos é um pouco prejudicada.

Neste trabalho o interesse são os esportes praticados ao ar livre, portanto é razoável que a análise do conforto térmico não seja baseada somente nos índices fisiológicos, uma vez que os índices empíricos se mostram mais aplicáveis à ambientes externos (JOHANSSON, 2006). Contudo, este trabalho é conduzido para atletas, cujo tipo físico e metabolismo são diferentes de uma pessoa comum e onde os aspectos fisiológicos fazem diferença na estimativa do conforto. Sendo assim, o ideal é analisar índices dos dois tipos e combinar suas vantagens nos resultados obtidos, de modo a gerar uma análise mais completa e abrangente.

No estudo de Suping et al. (1992), foi feita uma análise dos tempos de chegada da Maratona de Beijing ao longo de 8 anos relacionando-os às condições meteorológicas com base em índices empíricos. Nele os índices que mostraram correlação mais alta (entre 0,6 e 0,8) com os melhores tempos de prova foram a Temperatura Efetiva (TE) e a Temperatura Efetiva em função do Vento (TE_v). Nedel (2008) indica em seu estudo esses dois índices como os mais utilizados em pesquisas no Brasil e representativos para o país,

principalmente para a cidade de São Paulo, que era o foco de seu trabalho. Pezolli et al. (2012) utiliza a Temperatura Equivalente Fisiológica (TEF) e o Voto Médio Previsto (VMP) e algumas análises da Temperatura Efetiva Padrão (TEP*) para analisar o desempenho de atletas no ciclismo ao ar livre em um campeonato na Itália, obtendo resultados satisfatórios nessas aplicações.

Por conseguinte, os índices utilizados neste trabalho são a Temperatura Efetiva, Temperatura Efetiva em função do Vento, Temperatura Equivalente Fisiológica, o Voto Médio Previsto e a Temperatura Efetiva Padrão. Nas seções seguintes serão apresentadas suas definições completas e formulações, bem como mais algumas justificativas que fundamentem a aplicação desses índices nos esportes ao ar livre.

2.3.1 Temperatura Efetiva (TE)

O índice de Temperatura Efetiva (TE) foi proposto por Missenard em 1937 e utilizado em diversos estudos sobre o conforto térmico (SUPING et al., 1992; MAIA, 2002; NEDEL, 2008), apresentando resultados satisfatórios. Seu cálculo é dado pela Equação 2.1, onde se pode observar que o índice é função somente da temperatura e da umidade relativa do ar, o que permite concluir que ele expressa o nível de conforto (ou desconforto) baseado no efeito combinado desses dois parâmetros meteorológicos.

$$TE = T_a - 0,4(T_a - 10) \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \quad (2.1)$$

Onde T_a é a temperatura do ar em °C e UR é a umidade relativa do ar em %.

Para analisar e classificar as condições de conforto a partir desse índice, faz-se o uso de tabelas que listam os diferentes graus de percepção térmica e as respostas fisiológicas do corpo para alguns limites de TE. A Tabela 2.3 mostra a distribuição proposta por Fanger (1972) e aplicada por Nedel (2008) em seu estudo do conforto térmico em ambientes internos. A TE é ideal para a análise do conforto térmico nesse tipo de ambiente por não considerar a interferência do vento, mas mesmo assim ela pode ser aplicada em estudos de ambientes externos, como o de Henstschel (1986) que encontrou que a TE é o indicador

mais adequado quando se leva em consideração o aquecimento e o mormaço sob condições de calor.

Tabela 2.3 - Distribuição das zonas de conforto/desconforto de acordo com o índice de Temperatura Efetiva, para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas.

Faixas de TE (°C)	Sensação Térmica	Grau de Estresse Fisiológico
< 13	Muito Frio	Extremo estresse ao frio
13 a 16	Frio	Tiritar
16 a 19	Frio Moderado	Ligeiro resfriamento do corpo
19 a 22	Ligeiramente Frio	Vasoconstrição
22 a 25	Confortável	Neutralidade térmica
25 a 28	Ligeiramente Quente	Ligeiro suor, vasodilatação
28 a 31	Quente Moderado	Suando
31 a 34	Quente	Suor em profusão, falha na termo regulação
> 34	Muito Quente	Estresse por calor

Fonte: Adaptado de Nedel (2008).

2.3.2 Temperatura Efetiva em Função do Vento (TE_v)

A TE_v tem a mesma fundamentação teórica e aplicação que a TE, como pode ser visto em Suping et al. (1992). A diferença entre elas está no fato da formulação da TE_v (Equação 2.2) levar em consideração a ação do vento, além da temperatura e umidade.

$$TE_v = 37 - \frac{(37 - T_a)}{\left[0,68 - 0,0014UR + \frac{1}{(1,76 + 1,4v^{0,75})}\right]} - 0,29T_a \left(1 - \frac{UR}{100}\right) \quad (2.2)$$

Onde T_a é a temperatura do ar em °C, UR é a umidade relativa do ar em % e v é o vento em m/s.

Portanto, a TE_v poderá fornecer uma avaliação melhor do conforto térmico em ambientes externos, onde a ação do vento é presente e perceptível. Sua análise é feita da mesma maneira que a TE , com base também na Tabela 2.3.

2.3.3 Temperatura Equivalente Fisiológica (TEF)

O conceito da TEF foi introduzido por Höppe e Mayer (1987) e ela é definida como a temperatura em qualquer dado lugar (ambientes internos ou externos) equivalente à temperatura do ar na qual, em um ambiente interno de referência, o balanço de calor do corpo humano é mantido com temperaturas interna e da pele iguais àquelas sob as condições que estão sendo avaliadas (HÖPPE, 1999). Ou seja, um indivíduo que está ao ar livre sob uma temperatura de 30°C e TEF de 43°C tem a mesma sensação que se estivesse em um ambiente fechado de referência sob uma temperatura do ar de 43° C, pois o estado térmico de seu corpo é o mesmo em ambas as situações. Sendo assim, Höppe (1999) conclui que a mesma temperatura do ar resulta em uma tensão térmica muito diferente, quando comparados ambientes interno e externo, a qual pode ser quantificada muito claramente pelos valores da TEF.

Segundo Matzarakis et al. (1999), para o cálculo da TEF é necessário determinar todos os parâmetros importantes para o balanço de energia humano, que incluem temperatura do ar, pressão de vapor, velocidade do vento e temperatura média radiante dos arredores. Os autores ainda ressaltam que dependendo do objetivo da avaliação, as variáveis meteorológicas utilizadas no cálculo da TEF podem ser medidas experimentalmente ou calculadas em pontos de grade de modelos numéricos.

Como as equações que envolvem o cálculo da TEF são de origem fisiológica, ou seja, analisam a resposta do corpo às condições ambientais para posteriormente calcular o índice, boa parte dos estudos que a aplicam fazem uso de modelos simples para calculá-la, como Höppe (1999) e Matzarakis et al. (1999), que utilizam o MEMI (*Munich Energy-balance Model for Individuals*)

(HÖPPE, 1993), para modelar o balanço de energia do corpo humano, e Pezzoli et al. (2012), que utilizam o Modelo de RayMan (MATZARAKIS et al., 2007).

A análise do conforto térmico usando a TEF é realizada de maneira semelhante a TE, usando, portanto, uma tabela de limiares que indicam, para cada intervalo de TEF, a sensação térmica e as respostas fisiológicas do corpo (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Distribuição das zonas de conforto/desconforto de acordo com a Temperatura Equivalente Fisiológica, para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas.

Faixas de TEF (°C)	Percepção Térmica	Grau de Estresse Fisiológico
< 4	Muito Frio	Extremo estresse ao frio
4 a 8	Frio	Forte estresse ao frio
8 a 13	Frio Moderado	Estresse ao frio moderado
13 a 18	Ligeiramente Frio	Ligeiro estresse ao frio
18 a 23	Confortável	Nenhum estresse térmico
23 a 29	Ligeiramente Quente	Ligeiro estresse ao calor
29 a 35	Quente Moderado	Estresse ao calor moderado
35 a 41	Quente	Forte estresse ao calor
> 41	Muito Quente	Extremo estresse ao calor

Fonte: Adaptado de Matzarakis et al. (1999).

2.3.4 Voto Médio Previsto (VMP)

O Voto Médio Previsto (ou em inglês *Predicted Mean Vote – PMV*) foi desenvolvido por Fanger (1972) e prevê o valor médio das opiniões (ou “votos”) de sensação térmica de um extenso grupo de pessoas. Seu cálculo é baseado em seis variáveis, tanto meteorológicas quanto fisiológicas, entre as quais estão: a taxa metabólica do corpo, o isolamento proferido pelas roupas, temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do vento e umidade (CHENG et al., 2012).

Devido aos parâmetros e equações da fisiologia humana que integram os cálculos do VMP, a maneira mais rápida e eficiente de obter seu valor é fazer uso de modelos simples previamente construídos. O Modelo de Rayman

(MATZARAKIS et al., 2007), além da TEF, também calcula o VMP, para parâmetros meteorológicos e fisiológicos previamente estabelecidos, o qual também é utilizado para tal fim em estudos como Pezzoli et al. (2012) e outros.

O valor do VMP não é apresentado na escala Celsius, tal como os demais índices, mas sim em uma escala numérica que vai de -3,5 à 3,5, onde os limiares indicam diretamente a percepção térmica e o grau de estresse fisiológico a ser enfrentado. A Tabela 2.5 apresenta a distribuição proposta por Matzarakis et al. (1999) e utilizada em Pezzoli et al. (2012).

Cheng et al. (2012) comentam em seu estudo que o VMP tem sido amplamente usado para a estimativa do conforto térmico em ambientes internos, uma vez que ele foi desenvolvido especificamente para analisar o conforto ou desconforto em um ambiente termicamente estável. Para ambientes externos os autores concluíram que o VMP tem previsões imprecisas, geralmente superestimando (subestimando) a sensação térmica no caso de extremo de calor (frio). Porém o estudo de Pezzoli et al. (2012) mostrou bons resultados da aplicação do VMP para uma competição de ciclismo ao ar livre, já que a análise do conforto térmico para os atletas levava em consideração os valores e limiares da TEF.

Tabela 2.5 - Distribuição das zonas de conforto/desconforto de acordo com o Voto Médio Previsto, para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas.

Faixas de TEF (°C)	Percepção Térmica	Grau de Estresse Fisiológico
< -3,5	Muito Frio	Extremo estresse ao frio
-3,5 a -2,5	Frio	Forte estresse ao frio
-2,5 a -1,5	Frio Moderado	Estresse ao frio moderado
-1,5 a -0,5	Ligeiramente Frio	Ligeiro estresse ao frio
-0,5 a 0,5	Confortável	Nenhum estresse térmico
0,5 a 1,5	Ligeiramente Quente	Ligeiro estresse ao calor
1,5 a 2,5	Quente Moderado	Estresse ao calor moderado
2,5 a 3,5	Quente	Forte estresse ao calor
> 3,5	Muito Quente	Extremo estresse ao calor

Fonte: Adaptado de Matzarakis et al. (1999).

2.3.5 Temperatura Efetiva Padrão (TEP*)

A nova temperatura efetiva padrão, ou simplesmente TEP*, foi proposta por Gagge em 1967 de modo a aprimorar a já existente temperatura efetiva padrão, como citado por Monteiro e Alucci (2007). Ela é definida como a temperatura equivalente à temperatura do ar na qual, em um ambiente de referência, um indivíduo apresenta a mesma temperatura da pele e fração de pele coberta por suor regulatório que em um ambiente real qualquer. Então, o ambiente de referência é equivalente em termos de esforço fisiológico e de conforto térmico ao ambiente real qualquer. Monteiro e Alucci (2007) enfatizam que a temperatura da pele e a fração coberta por suor regulatório estão correlacionadas, com o desconforto subjetivo em ambientes frios e quentes, respectivamente.

Os parâmetros necessários para o cálculo da TEP* são tanto meteorológicos quanto fisiológicos, entre os quais estão: temperatura média radiante, velocidade do vento, umidade, taxa metabólica do corpo e isolamento proferido pela vestimenta. Por se tratar de um índice de origem fisiológica, tal qual a TEF e o VMP, para a determinação do valor da TEP* é necessária a utilização de um modelo da termo regulação do corpo humano (MONTEIRO e ALUCCI, 2007), como o de Gagge (1986) ou mesmo o Modelo de Rayman (MATZARAKIS et al. 1999). Assim as equações da fisiologia humana analisam a resposta do corpo às condições ambientais e pessoais para que então o valor da TEP* seja calculado.

3 METODOLOGIA

3.1 Etapa 1: Análise do Serviço Meteorológico no LII Campeonato Mundial de Pentatlo Moderno

3.1.1 Rotina e Métodos do Serviço Meteorológico

O LII Campeonato Mundial de Pentatlo Moderno (LII CMPM) foi realizado na cidade de Roma, Itália, com as competições sediadas no hipódromo Tor di Quinto (Figura 3.1), entre os dias 07 e 13 de maio de 2012. O serviço meteorológico prestado foi contratado pela comissão organizadora do evento, sendo executado por uma empresa especializada neste tipo de serviço, a *MeteoSport Team*.



Figura 3.1 – Localização do hipódromo Tor di Quinto em relação a província de Roma, e da província em relação à Itália.

Fonte: Adaptado de Google Earth (2012).

Descrever a rotina empregada pelo serviço meteorológico no LII CMPM foi essencial para entender a importância de sua aplicação e desenvolver a metodologia de análise dos dados. Os trabalhos começaram com cerca de seis

meses de antecedência às competições, quando foi elaborada uma análise estatística do mês no qual elas ocorreriam para região do evento. Nela foram combinados os dados de três estações meteorológicas que circundam a região do evento, de modo a obter uma base de dados virtual válida para os locais de competição. Com isso foi feita uma climatologia para o mês de maio contendo a variação horária da temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento, análise do conforto térmico para diferentes condições de nebulosidade e acumulados de precipitação. O documento final foi disponibilizado à comissão organizadora do evento e, posteriormente, às delegações competidoras.

Durante o LII CPM a rotina do serviço meteorológico era composta por duas tarefas principais: a divulgação de boletins de previsão de tempo diários e a instalação de uma estação meteorológica móvel no local de competições. Os boletins eram divulgados duas vezes ao dia, um pela manhã (08h) e um atualizado no início da tarde (14h). Tais boletins eram elaborados de acordo com as saídas dos seguintes modelos:

- MeteoBlue NMM (*Nonhydrostatic Meso-Scale Modelling*), resolução espacial de 3 km centrado no local de competição e temporal de 3h;
- WRF (*Weather Research and Forecasting*), resolução espacial de 9 km centrado no local de competição e resolução temporal de 6h;

Além das previsões horárias de parâmetros meteorológicos como temperatura, umidade relativa, cobertura de nuvens, possibilidade de chuva, velocidade e direção do vento, era calculada também a temperatura aparente (sensação térmica) e a ela associada um “alarme”, evidenciando o grau de estresse fisiológico que poderia ser enfrentado naquele período (confortável, ligeiro estresse ao frio, ligeiro estresse ao calor, etc). A Tabela 3.1 ilustra como essas previsões horárias eram divulgadas. Informações como a descrição sinótica do dia, possibilidade de trovoadas, índice de radiação Ultravioleta e qualidade do ar também compunham o boletim que, ao ser disponibilizado no site oficial do evento, poderia ser consultado por todas as delegações competidoras.

Tabela 3.1 - Exemplo da tabela previsão horária divulgada nos boletins. Contém prognósticos dos seguintes parâmetros: cobertura de nuvens, precipitação, risco de chuva, temperatura, temperatura aparente, grau de estresse fisiológico, umidade relativa, direção e velocidade do vento

<i>HH</i> <i>[HL]</i>	<i>Cobertura de</i> <i>Nuvens [%]</i>	<i>Prec.</i> <i>[mm/h]</i>	<i>Risco</i> <i>de</i> <i>Chuva</i> <i>[%]</i>	<i>T_{u-2m}</i> <i>[°C]</i>	<i>Temp. Ap.</i> <i>[°C]</i>	<i>Grau de</i> <i>Estresse</i> <i>Fisiológico</i>	<i>Um.</i> <i>Rel.</i> <i>[%]</i>	<i>Dir.</i> <i>V</i>	<i>Vel. V</i> <i>[m/s]</i>	<i>Nível de</i> <i>Conflança</i>
1000	20-30	0	0-10	21-22	27-28	Ligeiro Estresse por Calor	60-70	S	1-2	9
1100	20-30	0	10-20	23-24	27-28	Ligeiro Estresse por Calor	55-65	S	2-3	8
1200	30-40	0	10-20	24-25	30-31	Estresse Moderado por Calor	50-60	S	3-4	8
1300	30-40	0	10-20	25-26	30-31	Estresse Moderado por Calor	50-60	SSW	3-4	8
1400	30-40	0	20-30	24-25	27-28	Ligeiro Estresse por Calor	50-60	SW	4-5	8
1500	40-50	0	20-30	24-25	25-26	Ligeiro Estresse por Calor	50-60	SW	5-6	8
1600	40-50	0	20-30	23-24	24-25	Ligeiro Estresse por Calor	50-60	SW	4-5	7
1700	40-50	0	30-40	23-24	23-24	Ligeiro Estresse por Calor	55-65	SW	3-4	7
1800	50-60	0-1	30-40	22-23	21-22	Confortável	60-70	W	2-3	7
1900	50-60	0-1	40-50	21-22	17-18	Confortável	65-75	NE	2-3	7

Fonte: Boletim de previsão do tempo do LII CMPM (2012).

Uma estação meteorológica móvel foi montada no local de competição todos os dias logo pela manhã (Figura 3.1). Os instrumentos armazenavam dados de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento, além de temperatura do solo, com um intervalo de aproximadamente 5 minutos. A posição estratégica na qual a estação estava locada (no fim da reta da corrida um pouco antes das cabines de tiro) auxiliava, por exemplo, os atletas no momento da competição do evento combinado, pois verificando a direção do vento no fim do percurso de corrida podiam calibrar melhor o tiro a ser dado em seguida. Além dessa função, a estação também permitia o serviço meteorológico validar em tempo real as previsões divulgadas, identificando assim as características específicas do local e para levá-las em consideração na elaboração dos próximos boletins.



Figura 3.2 - Estação meteorológica móvel montada no local das competições. Contém sensores de temperatura e umidade, uma ventoinha para medição da velocidade do vento e uma pá para identificar sua direção. Termômetro de solo medido a temperatura na superfície e a 20 cm de profundidade.

Os dados meteorológicos coletados foram arquivados e fornecidos às delegações competidoras, para a análise de desempenho dos atletas, e também para a realização de estudos da confiabilidade das previsões divulgadas, entre os quais está incluída esta parte do trabalho.

3.1.2 Análise dos Dados e Validação das Previsões

A metodologia empregada nesta parte do trabalho pretende basicamente comparar os dados coletados no local de competição (dados observados) com aqueles divulgados nos boletins de previsão de tempo (previsão). Trata-se de uma comparação horária dos parâmetros para os dias em que o serviço meteorológico atuou no LII CPM (de 07 a 11 de maio), levando em consideração o período do dia em que a estação móvel esteve em operação no local.

Os dados observados foram catalogados em médias horárias dos parâmetros meteorológicos disponíveis, enquanto as previsões foram computadas de acordo com os boletins de previsão de tempo divulgados, de acordo com os seguintes critérios:

- Das 10h às 13h os dados computados são referentes ao boletim divulgado pela manhã;

- Das 14h às 16h ou 17h os dados computados são referentes ao boletim divulgado pela tarde;
- Para os parâmetros meteorológicos divulgados em um intervalo de valores (temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, temperatura aparente) foi usada a média entre esse intervalo para a representação.

Para representar essas comparações foram construídos gráficos dos dados observados com as previsões, para os seguintes parâmetros: temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e temperatura aparente.

A temperatura aparente divulgada nos boletins era estimada de acordo com os três índices calculados pelo Modelo de Rayman (MR). Trata-se de um modelo simples de interface gráfica que usa informações de data, localidade, parâmetros meteorológicos e também fisiológicos para calcular três índices de conforto térmico (TEF, VMP e TEP*). Foram utilizados os dados das saídas dos modelos para o cálculo desses índices, sendo que o valor propriamente dito da temperatura aparente era, geralmente, uma média entre os valores da TEF e da TEP, enquanto o alarme divulgado estava de acordo com os limiares de conforto/desconforto térmico do VMP (Vide Tabela 2.5). Para os dados observados a temperatura aparente foi calculada seguindo a mesma metodologia.

Também foram utilizados dados de uma estação meteorológica de superfície próxima ao local do evento, a Roma Urbe, a fim de verificar a existência de algum erro sistemático, principalmente para temperatura.

Alguns índices estatísticos foram calculados para facilitar as comparações e tentar identificar padrões de comportamento. Utilizou-se o Coeficiente de Correlação de Pearson (CP), definido pela Equação 3.1, e o Viés, definido pela Equação 3.2 (WILKS, 2006).

$$CP = \frac{cov(P, O)}{\sqrt{var(P)var(O)}} \quad (3.1)$$

$$Viés = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i) \quad (3.2)$$

Onde P é referente à série de dados de previsão, O referente aos dados observados e N a quantidade de dados da série.

Os valores da correlação são analisados de acordo com limiares preestabelecidos, conforme pontuado abaixo.

$ CP = 1$	<i>Correlação Perfeita</i>
$ CP > 0,6$	<i>Correlação Alta</i>
$0,3 > CP > 0,6$	<i>Correlação Moderada</i>
$0 > CP > 0,3$	<i>Correlação Baixa</i>
$CP = 0$	<i>Nenhuma Correlação</i>

3.2 Etapa 2: Estudo Climatológico e de Conforto Térmico da Cidade do Rio de Janeiro

A cidade do Rio de Janeiro foi escolhida para a realização desta etapa do trabalho devido ao fato de ser sede dos Jogos Olímpicos de 2016. A consequente concentração de diferentes modalidades esportivas em um mesmo local torna o Rio de Janeiro o cenário ideal para a aplicação de estudos desse tema, que podem ser úteis para os atletas que futuramente competirão os Jogos.

3.2.1 Análise Climatológica da Área de Interesse

O primeiro passo desse estudo consistiu em conhecer os locais, dentro da cidade, onde as competições dos Jogos serão realizadas. A Figura 3.2 apresenta o mapa de instalações dos Jogos Olímpicos Rio 2016, onde constam os quatro locais que concentrarão as disputas.



Figura 3.3 - Mapa das instalações dos Jogos Olímpicos Rio 2016 onde são indicadas as regiões de competições: 1– Barra, 2– Copacabana, 3– Maracanã, 4– Deodoro.

Fonte: Rio 2016 (2012).

Segundo informações presentes na página oficial do evento (<http://www.rio2016.org/>) foi possível identificar que as modalidades esportivas praticadas em ambiente natural controlado (conforme classificado na seção 2.1) serão disputadas nas áreas 2 (Copacabana) e 3 (Maracanã). Sendo assim a climatologia elaborada tem a função principal de caracterizar o clima na região compreendida por essas duas áreas.

Para tanto foram utilizados dados de duas estações meteorológicas de superfície (Tabela 3.2; Figura 3.3), escolhidas por estarem na região de interesse e possuírem uma série temporal de, pelo menos, 10 anos.

Tabela 3.2 - Características das estações meteorológicas utilizadas no estudo. INMET- Instituto Nacional de Meteorologia; Alerta Rio- Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro.

	Latitude	Longitude	Jurisdição	Período de Operação	Frequência de Dados
Estação A	22°53'44"S	43°11'11"O	INMET	01/1917 até hoje	3 vezes ao dia
Estação B	23°53'49"S	43°13'19"O	Alerta Rio	08/2000 até hoje	A cada 15 min

Fonte: Adaptado de informações encontradas nas páginas do INMET e Alerta Rio (2012).



Figura 3.4 - Localização das estações meteorológicas de interesse ao estudo.
Fonte: Adaptado de Google Earth (2012).

O estudo limitou-se apenas a estas duas estações devido a rede de estações meteorológicas do Rio de Janeiro ser pouco densa e com séries de dados falhos, como já identificado por Dereczynski et al. 2011 em seus trabalhos sobre o clima e mudanças climáticas na cidade do Rio de Janeiro.

Mesmo com esta limitação, o uso de estações meteorológicas para descrever a climatologia de uma área específica como essa ainda é a melhor opção, quando comparada, por exemplo, à dados de reanálise. A Figura 3.4 mostra a grade da reanálise CFSR (*Climate Forecast System Reanalysis*) do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP-NOAA), de $0,5^\circ$ de latitude por $0,5^\circ$ de longitude, desenhada sobre os limites do município do RJ. É possível perceber que um pixel da reanálise interpola parte do oceano Atlântico, quase todo o município do RJ e uma parte da baía de Sepetiba, o que tornaria uma análise tão localizada como a que vem sendo proposta nesta seção pouco representativa. Além disso, nota-se que as estações A e B, representadas por círculos pretos na figura, encontram-se no pixel vizinho, que interpola grande parte da baía da Guanabara.

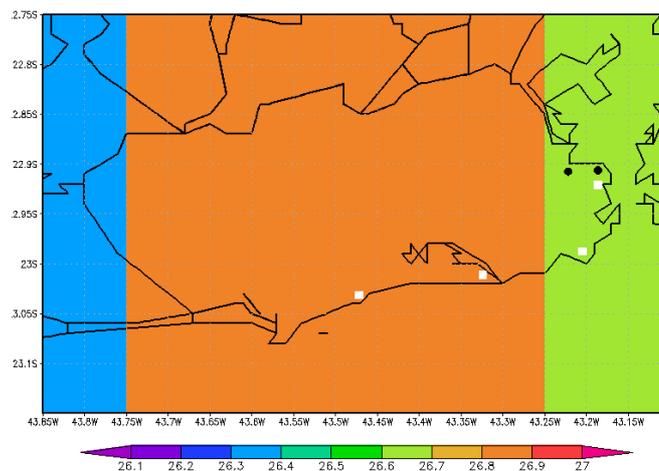


Figura 3.5 – Representação da grade da reanálise CFRSR sobre o município do Rio de Janeiro. Os círculos em preto representam a localização das estações A e B enquanto os quadrados brancos representam os pontos analisados na Etapa 3.

O período para o qual a análise climatológica foi desenvolvida baseou-se, primeiramente, na disponibilidade de uma série contínua de dados de ambas as estações descritas na Tabela 3.2. Devido a erros na série de 2002 da estação B, a análise climatológica foi desenvolvida com base nas estações de superfície vai de 2003 a 2011, totalizando um estudo de 9 anos de dados.

Essa análise também foi limitada aos meses de interesse aos Jogos Olímpicos. De acordo com informações disponibilizadas pelo comitê organizador na página oficial (<http://www.rio2016.org/>), os Jogos Olímpicos Rio 2016 serão realizados de 5 a 21 de agosto e os Jogos Paraolímpicos de 7 a 18 de setembro. Considerando que julho seria o mês que as delegações começam a chegar a cidade, para aclimatação e primeiros treinos, definiram-se como os meses de interesse ao estudo julho, agosto e setembro (JAS).

Com base nesses critérios, foram calculadas médias de temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), pressão atmosférica ao nível médio da estação (P) e velocidade do vento (V) para as duas estações, em cada um dos meses de estudo. A média entre os parâmetros meteorológicos médios das duas estações caracteriza a análise climatológica da região de interesse.

Para cada mês obteve-se médias das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z, o que permite avaliar o padrão de comportamento dos parâmetros meteorológicos em questão ao longo do dia. Vale a pena ressaltar que foram escolhidos esses horários por eles serem o padrão de divulgação de dados meteorológicos ao redor do globo. Como a estação A não reporta dados das 06Z optou-se, neste horário, por considerar na análise climatológica apenas os dados da estação B, de modo a não prejudicar a representação do ciclo diário.

3.2.2 Avaliação do Conforto Térmico

Concluída a análise climatológica, foi possível calcular os índices de conforto térmico descritos nas seções 2.3.1 à 2.3.5. Fazendo uso dos parâmetros meteorológicos médios, a TE e a TE_v foram calculadas, respectivamente, de acordo com as equações 2.1 e 2.2, enquanto a TEF, o VMP e a TEP* foram obtidos através do MR. Devido ao caráter fisiológico e as opções fornecidas pelo MR, para os cálculos da TEF, do VMP e TEP* foi possível variar parâmetros pessoais, obtendo análises para um indivíduo em repouso e em atividade física (alta atividade corporal e vestimenta leve), em três condições de nebulosidade ajustadas de acordo com os limiares do modelo: céu claro, parcialmente nublado e nublado.

Todos os índices em questão foram calculados para cada mês nos quatro horários sinóticos, semelhante à análise elaborada na climatologia da área de interesse. Além disso, a avaliação do conforto térmico também foi feita para situações extremas de temperatura (máxima e mínima) encontradas em cada mês de estudo. Para essa análise utilizou-se somente a série de dados da estação B, pois nela era possível encontrar os extremos de temperatura e os demais parâmetros meteorológicos daquela ocorrência, necessários para calcular os índices. A estação A reporta dados de temperatura máxima e mínima, porém estes são referentes a um período e não há descrição das demais condições meteorológicas associadas. Além disso, nesta análise também foram usados dados da estação meteorológica do aeródromo Santos Dumont (SBRJ), a fim de verificar a coerência dos extremos de temperatura registrados pela estação B.

A análise climatológica do conforto térmico se completou com a indicação do grau de estresse fisiológico característico de cada índice no período em questão. Tal classificação foi feita de acordo com os limiares, cores e siglas apresentadas na Tabela 3.3, elaborada com base nas Tabelas 2.3, 2.4 e 2.5. A Tabela 3.4 sumariza os resultados da análise climatológica do conforto térmico e como ela é apresentada.

Tabela 3.3 - Distribuição das zonas de conforto/desconforto de acordo com a Temperatura Efetiva, Temperatura Efetiva em função do Vento, Temperatura Equivalente Fisiológica e Voto Médio Previsto para diferentes graus de percepção térmica e suas respostas fisiológicas. Apresenta escala de cores e siglas para facilitar a classificação.

Sensação Térmica	Grau de Estresse Fisiológico	Sigla	TE/TEv (°C)	TEF (°C)	VMP
Muito Frio	Extremo estresse ao frio	EEF	<13	<4	<-3,5
Frio	Forte estresse ao frio	FEF	13 a 16	4 a 8	-3,5 a -2,5
	Tiritar				
Frio Moderado	Estresse moderado ao frio	EMF	16 a 19	8 a 13	-2,5 a -1,5
	Ligeiro resfriamento do corpo				
Ligeiramente Frio	Ligeiro estresse ao frio	LEF	19 a 22	13 a 18	-1,5 a -0,5
	Vasoconstrição				
Confortável	Nenhum estresse térmico	CFT	22 a 25	18 a 23	-0,5 a 0,5
	Neutralidade térmica				
Ligeiramente Quente	Ligeiro estresse ao calor	LEC	25 a 28	23 a 29	0,5 a 1,5
	Ligeiro suor, vasodilatação				
Quente Moderado	Estresse moderado ao calor	EMC	28 a 31	29 a 35	1,5 a 2,5
	Suando				
Quente	Forte estresse ao calor	FEC	31 a 34	35 a 41	2,5 a 3,5
	Suor em profusão, falha na termorregulação				
Muito Quente	Extremo estresse ao calor	EEC	>34	>41	>3,5

Fonte: Adaptado de Nedel (2008) e Pezzoli et al. (2012).

Tabela 3.4 - Modelo de apresentação da análise do conforto térmico. As palavras em vermelho são condicionais, ou seja, dependem da característica da análise em questão.

Conforto Térmico - **Mês** - HHZ

	Condição de Nebulosidade				
	Situação Média ou Máxima ou Mínima				
	TEv	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso					
Estresse Fisiológico					
Atividade	-	-			
Estresse Fisiológico	-	-			

3.3 Etapa 3: Análise Prognóstica do Tempo Aplicada ao Esporte

Esta seção apresenta a metodologia empregada na geração e análise dos prognósticos de tempo, oriundos de simulações de modelo, aplicados à eventos esportivos. Primeiro descreve-se o modelo utilizado, o *Weather and Research Model* (WRF) e a configuração empregada. Posteriormente é explicitada a metodologia da avaliação e uso dos prognósticos de tempo em sua aplicação nos esportes, através de casos de estudo de três edições da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.

3.3.1 O Modelo WRF

O *Weather Research and Forecasting* (WRF) é um modelo de previsão numérica de tempo e também um sistema de simulação atmosférica que tem a finalidade de atender tanto a aplicação operacional quanto trabalhos de pesquisa. Seu desenvolvimento é oriundo do esforço colaborativo de diversas agências e institutos de renome na área, tais como o *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), NCEP, NOAA, entre outros. (SKAMAROCK et al., 2008)

Trata-se de um modelo de mesoescala, não hidrostático e de área limitada, cujo uso é apropriado para diversas aplicações, já que pode desenvolver simulações que abrangem desde pequenas turbulências até a escala sinótica. Conforme descrito em Skamarock et al.(2008), tais aplicações incluem estudos e desenvolvimento em assimilação de dados, simulações climáticas em escala regional, modelagem de qualidade do ar, acoplamento oceano-atmosfera e previsão numérica em tempo real.

As simulações empregadas neste trabalho foram realizadas utilizando a versão 3.4 do WRF, com resoluções horizontais de 10, 3 e 1 km, sendo as grades de 3 e 1 km aninhadas, conforme ilustra a Figura 3.6, e resolução vertical de 38 níveis, com o topo do modelo em 10 hPa. Foram selecionados três casos para simulação, correspondentes às datas de realização da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro: 28 de junho de 2009 (Maratona 2009), 18 de julho de 2010 (Maratona 2010) e 17 de julho de 2011 (Maratona 2011). Todos os

experimentos em questão foram iniciados partindo das 00Z com tempo de integração de 60, 36 e 18 horas, conforme esquematizado na Tabela 3.5, que também classifica os experimentos para facilitar as citações. Os dados utilizados como condição inicial do modelo são provenientes da reanálise CFSR do NCEP (Saha et al. 2010).

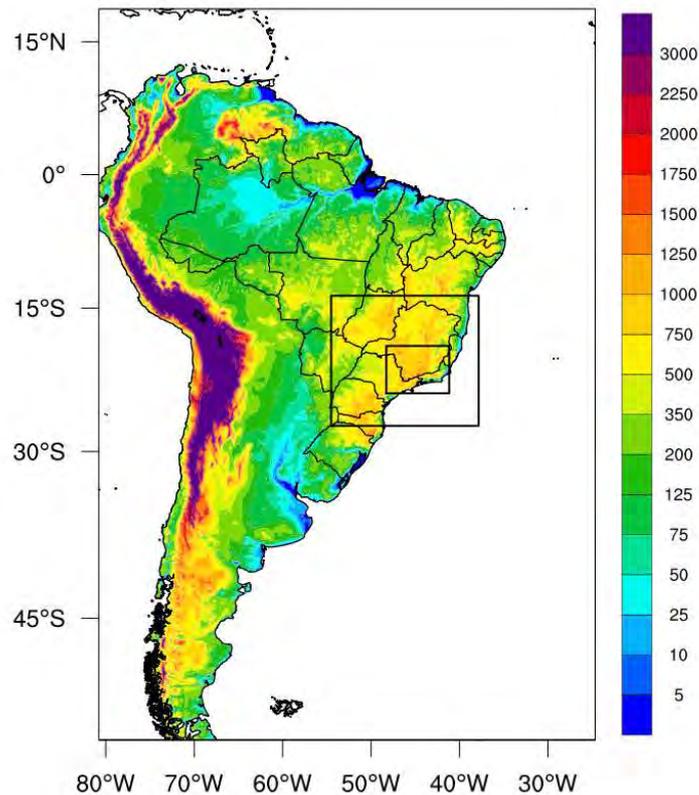


Figura 3.6 – Topografia do modelo WRF no domínio utilizado (resolução horizontal 10 km) e suas duas grades aninhadas . A grade maior tem resolução horizontal de 3 km, enquanto a grade menor, que engloba apenas parte dos estados de SP, MG e RJ, tem resolução horizontal de 1 km.

Tabela 3.5 - Classificação das configurações das simulações do WRF de acordo com o tempo de integração e as condições iniciais utilizadas na Maratona 2009 (28/06/09), Maratona 2010 (18/07/10) e Maratona 2011 (17/07/11).

Configuração	Tempo de Integração	Data Condição Inicial		
		Maratona 2009	Maratona 2010	Maratona 2011
1	60h	26/06/09 – 00 Z	16/07/10 – 00 Z	15/07/11 – 00 Z
2	36h	27/06/09 – 00 Z	17/07/10 – 00 Z	16/07/11 – 00 Z
3	18h	28/06/09 – 00 Z	18/07/10 – 00 Z	17/07/11 – 00 Z

3.3.2 Estudo de Caso: Maratona da Cidade do Rio de Janeiro

A Maratona da Cidade do Rio de Janeiro é um evento esportivo expressivo que ocorre anualmente no município desde 2003, sendo realizada em alguma data entre o último domingo de junho e a primeira quinzena de julho. A Figura 3.5 apresenta o percurso aproximado dessa competição, traçado de acordo com informações disponíveis na página do evento (<http://www.maratonadorio.com.br>). Nela é possível identificar o trajeto principal de 42 km (do ponto A ao D) e o trajeto da Meia Maratona (21km – de B até D) que é disputada no mesmo dia. As provas são realizadas no período da manhã, com a largada dos primeiros pelotões a partir das 7hs e estendendo sua duração até o fim da manhã.



Figura 3.7 - Percurso da Maratona e Meia Maratona da Cidade do Rio de Janeiro. O Ponto A marca a Praça do Pontal (largada da Maratona), B a Praia do Pepe (largada da Meia Maratona), C a Praia de Copacabana e D o Aterro do Flamengo (chegada das duas provas).

Fonte: Adaptado de Google Maps (2012).

A escolha do evento como estudo de caso deste trabalho foi associada ao fato do percurso da maratona circundar as áreas onde serão disputadas as provas dos Jogos Olímpicos (vide Figura 3.2), além de ela ser realizada nas proximidades de julho, um dos meses de interesse. Isso torna os resultados obtidos úteis para futuros trabalhos a cerca das competições olímpicas, além de um possível auxílio à preparação dos atletas para os Jogos de 2016.

Vale a pena ressaltar que a metodologia descrita ao longo desta seção foi aplicada somente para três das mais recentes edições da Maratona: 2009, 2010 e 2011, cujas datas estão descritas na seção anterior. Optou-se por

proceder desta forma uma vez que a empresa responsável pela organização da maratona forneceu apenas as datas das provas realizadas a partir de 2009.

O primeiro passo desta etapa consiste na validação das simulações do WRF, para as rodadas com tempo de integração mais próximo à ocorrência da prova, comparando-as com as estações meteorológicas da região. Usando as saídas do WRF de resolução de 1 km e na configuração 3, conforme classificação da Tabela 3.5, foram selecionados os valores dos principais parâmetros meteorológicos nos pontos de grade que correspondem à localização das estações A e B, já descritas na seção 3.1. Sendo assim obtiveram-se comparações entre as simulações do WRF e a Estação A nos três horários em que esta reporta dados (00, 12 e 18Z), e entre as simulações e a Estação B nos sete horários de saída do modelo (das 00Z às 18Z à cada 3 horas). Para esta última, devido à maior frequência de dados disponíveis, foram confeccionados gráficos comparativos de temperatura (T), umidade relativa (UR), pressão (P) e velocidade do vento (V).

De modo a analisar o quanto essas simulações se assemelham aos dados observados, para ambas as comparações foram calculados os três índices estatísticos já descritos na seção 3.1: o Índice de Correlação de Pearson (Equação 3.1) e o Viés (Equação 3.2). Além desses também foi utilizado o Erro Quadrático Médio (EQM), definido pela Equação 3.3 (Wilks, 2006). A análise combinada desses três índices é que constata se as simulações do WRF são ou não representativas.

$$EQM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2} \quad (3.3)$$

Onde P é referente à série de dados das simulações, O referente aos dados observados e N a quantidade de dados da série.

Com a finalidade de verificar se as simulações do WRF de diferentes tempos de integração são de fato confiáveis, foram plotados campos de T, UR, V e pressão reduzida ao nível do mar (PNMM) para às 12Z do dia de cada

maratona, nas resoluções de 1 km e 3 km, para as três configurações descritas na Tabela 3.5. Em tal horário, 9h local, a maratona estaria em andamento em praticamente todo o seu percurso, e a escolha dele se deu para simular como previsões de tempo de alta resolução divulgadas com certa antecedência poderiam auxiliar em uma situação de competição esportiva real, o que proporcionaria aos atletas uma preparação mais adequada.

Ao mesmo tempo, para cada uma das maratonas, é realizada a descrição da situação sinótica do dia da competição nos arredores do estado do Rio de Janeiro, com base nos boletins técnicos e cartas sinóticas do Grupo de Previsão de Tempo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (GPT – CPTEC/INPE), além de imagens dos satélites GOES 10 e GOES 12 do canal infravermelho, disponibilizadas pela Divisão de Satélites Ambientais (DSA - CPTEC /INPE). Esta análise serve de base para avaliar a qualidade do acerto dos prognósticos do WRF, em suas diferentes resoluções e tempos de integração.

As simulações de 60, 36 e 18h foram comparadas entre si de maneira qualitativa, onde se levou em consideração as distinções apresentadas entre os diferentes tempos de integração e também a situação sinótica anteriormente identificada. Para os campos com resolução de 3 km o domínio das figuras engloba todo o estado do Rio de Janeiro, onde podem ser estudados com maior detalhamento os sistemas sinóticos e de mesoescala identificados na resolução de 10 km, que compreende a América do Sul, além de padrões de vento e pressão. Já nos campos com resolução de 1 km, o domínio das figuras tem como enfoque o município do Rio de Janeiro, permitindo uma análise dos nuances das variáveis meteorológicas em diferentes partes da cidade, além do impacto de menores tempos de integração do modelo, em um prognóstico de área limitada e altíssima resolução.

Validado o modelo e avaliada a confiabilidade de suas previsões, o próximo passo foi usar os seus recursos para analisar detalhadamente as condições meteorológicas e o conforto térmico ao longo do percurso da Maratona do Rio de Janeiro, nas três edições estudadas. Foram selecionados na grade das

rodadas de 1 km quatro pontos, o mais próximos possível daqueles marcados na Figura 3.5. Eles foram cuidadosamente escolhidos para que representassem o percurso da maneira mais próxima à realidade, uma vez que a maratona é toda percorrida a beira mar e a conversão das coordenadas geográficas para a grade do modelo poderia interpolar um pixel localizado no oceano. Tais pontos foram numerados de 1 a 4, desde o início até o fim do percurso, para facilitar a identificação ao longo das análises, e caracterizados respectivamente como: Largada da Maratona, Largada da Meia Maratona, Ipanema e Chegada. A Figura 3.6 apresenta esses quatro pontos marcados no campo da topografia do modelo na resolução de 1 km, para o município do Rio de Janeiro.

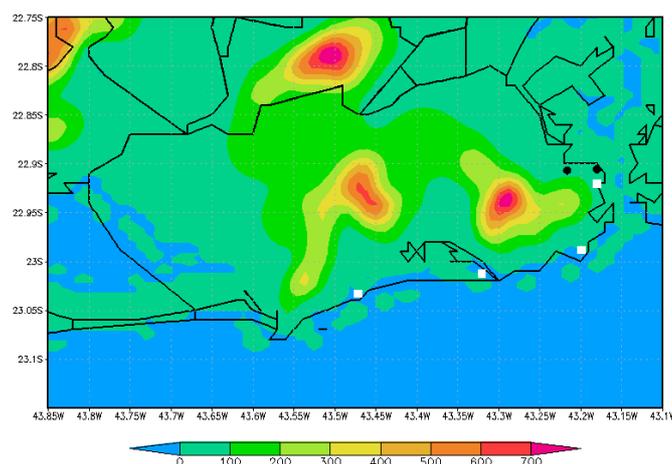


Figura 3.8 – Topografia do modelo e pontos de análise ao longo do percurso da Maratona (quadrados brancos), numerados de 1 à 4 e denominados, da esquerda para a direita, como: Largada da Maratona, Largada da Meia Maratona, Ipanema e Chegada. Pontos em preto marcam a posição das estações meteorológicas, sendo à direita a estação A e à esquerda estação B.

Foram extraídos desses pontos valores de T, UR, P e V, das rodadas de configuração 3 do WRF (Tabela 3.5), a de menor integração em relação à ocorrência da prova, em três horários de interesse: às 09Z (06h local), uma hora antes da largada dos primeiros pelotões, às 12Z (09h local), quando a prova ainda está ocorrendo em praticamente toda a sua extensão, e às 15Z (12h local), entre uma e duas horas após o termino total da competição. Posteriormente, fazendo uso de tais parâmetros meteorológicos, calcularam-se

os índices de conforto térmico, os mesmos já fundamentados na seção 2.3: TE, TE_v, TEF, VMP e TEP*.

Os métodos de cálculos dos índices foram os mesmos daqueles descritos na seção 3.2, fazendo uso das equações 2.1 para TE e 2.2 para TE_v, e o Modelo de Rayman para os demais índices. As exceções encontram-se nos diferentes horários de análise e na condição de nebulosidade fixa estipulada, determinada de acordo com o *Meteorological Aerodrome Report* (METAR) dos aeródromos Santos Dummont (SBRJ) e Galeão (SBGL). Foi necessário o uso desses dados já que as rodadas do WRF não forneceram simulações aceitáveis para inferir a nebulosidade, como os campos de radiação de onda longa emergente ou fração de nuvens, e por nenhuma das duas estações utilizadas nesse estudo (estações A e B) reportarem dados de nebulosidade.

Os índices foram classificados, tanto em situação de repouso quanto em atividade, de acordo com os limiares e escalas de cores apresentadas na Tabela 3.3. Como resultado da análise do conforto térmico, foram apresentadas tabelas tais como a Tabela 3.6 para as três maratonas que sumarizam os resultados em cada um dos três horários, nos quatro pontos selecionados.

Tabela 3.6 - Modelo de apresentação da análise do conforto térmico para as Maratonas estudadas. As palavras em vermelho são condicionais, ou seja, dependem da característica da análise em questão.

Conforto Térmico Maratona AAAA - HHZ					
Ponto X - Descrição					
	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	V (m/s)	
	Condição de Nebulosidade				
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso					
Estresse Fisiológico					
Atividade					
Estresse Fisiológico					

A última tarefa desta etapa consistiu em tentar encontrar uma relação entre os melhores (piores) tempos de prova e as situações de tempo mais confortáveis (desconfortáveis). Fazendo uso do histórico das provas disponibilizado pela organização da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro, foram feitas as médias dos cinco melhores tempos das provas masculinas, de cada uma das três edições. A essas médias e aos melhores tempos, foram comparadas as impressões gerais e constatações sobre o conforto térmico nos dias de realização das maratonas, de modo a tentar confirmar a relação hipotética.

4 ANÁLISE DO SERVIÇO METEOROLÓGICO NO LII CAMPEONATO MUNDIAL DE PENTATLO MODERNO

Ao longo deste Capítulo os resultados serão apresentados e discutidos da seguinte maneira: primeiramente será feita uma breve descrição sinótica da semana e das características do local, em seguida serão discutidos os gráficos que representam os principais nuances dessa semana e por fim será feita uma discussão detalhada dos padrões observados nas comparações e a análise estatística, através de cálculos de correlação e viés.

No final de semana que precedeu o início das competições do LII CMPM uma frente fria atuou sobre o norte e a região central da Itália, o que trouxe a Roma um domingo (06/05) muito frio e chuvoso. A segunda-feira (07/05) já apresentou alguma melhora no tempo, mas a passagem da frente ainda era notada, com temperaturas amenas, nebulosidade intensa, porém variável e alguma precipitação leve. Havia a possibilidade de tempestades no fim do dia devido ao cavado que ainda atuava na região, porém não houve registro. A terça-feira (08/05) foi de céu claro praticamente todo o dia, temperatura em ligeira elevação e umidade relativa um pouco mais baixa que nos dias anteriores, devido ao início da atuação de uma alta da região, que persistiu ao longo da semana. Sendo assim na quarta (09/05), quinta (10/05) e sexta (11/05) o tempo se manteve bem estável, com céu aberto, temperaturas em gradativa elevação e umidade relativa com conseqüente queda. Destaque especial para o dia 10, pelo céu claro de praticamente todo o dia, e o dia 11 pelas temperaturas elevadas que estiveram próximas aos 30°C.

A topografia da redondeza era pouco acidentada, o que fez a entrada da brisa marítima ser notada todos os dias (ventos do quadrante noroeste), depois das 14hs. Quanto as demais características relevantes vale a pena citar o Rio Tibre, que corta Roma e ficava à alguns quilômetros à leste do local de competição.

As Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 apresentam os gráficos de temperatura (T), temperatura aparente (TA), velocidade do vento (V) e umidade relativa (UR), respectivamente, ao longo dos cinco dias em que o serviço meteorológico

atuou no LII CPM, onde se pode ver como esses parâmetros meteorológicos se comportaram ao longo dos dias e o quão bem a previsão os representou.

Foram denominados como os dias mais representativos para esse estudo o dia 07/05 (Figuras 4.1a, 4.2a, 4.3a, 4.4a), por este ser o dia em que a frente fria ainda se fazia presente mostrando o quanto esse sistema transiente pode ser perturbador quando se busca uma previsão de tempo acurada, e o dia 10/05 (Figuras 4.1d, 4.2d, 4.3d, 4.4d), no qual um sistema de alta pressão estava atuando na região e manteve o tempo mais estável, melhorando a confiabilidade das previsões.

A Tabela 4.1 apresenta os valores das correlações calculadas (Equação 3.1) para cada uma das comparações feitas, e classificadas de acordo com as cores em alta, moderada e média. Combinando a análise de todos os gráficos comparativos, além dos valores de correlação obtidos, a seguir encontra-se uma descrição detalhada, seguida dos gráficos, de como a previsão de cada parâmetro meteorológico se comportou, quando comparados aos dados observados.

Tabela 4.1 - Coeficientes de correlação entre previsão e observação para temperatura (T), velocidade do vento (V), umidade relativa (UR) e temperatura aparente (TA) de 07 à 11 de maio de 2012. Valores em verde representam correlação alta, em amarelo correlação moderada e em vermelho correlação baixa.

Dia	07/05	08/05	09/05	10/05	11/05
T	0,44	0,96	0,46	-0,26	-0,02
V	-0,81	0,87	-0,55	0,78	0,90
UR	0,48	0,50	0,34	0,65	0,69
TA	0,41	0,77	0,32	0,73	0,58

- **Temperatura:** a previsão subestimou a temperatura observada, principalmente entre a manhã e o começo da tarde. Foi obtida correlação de moderada à alta em três dos cinco dias estudados, sendo que nesses dois dias restantes (10/05, Figura 4.1d, e 11/05, Figura 4.1e) foram registradas as maiores temperaturas da semana.

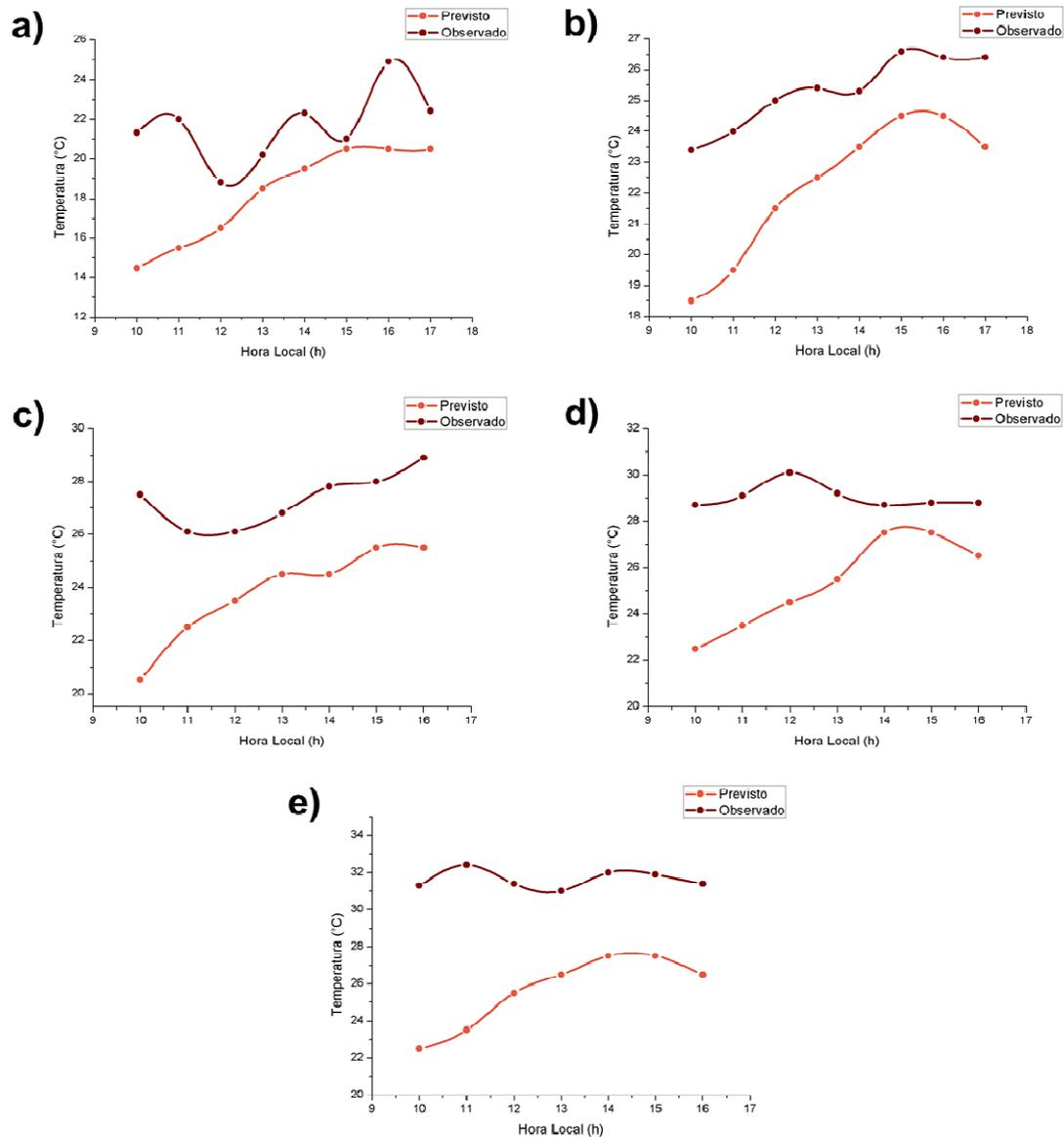


Figura 4.1 - Gráficos comparativos da previsão (previsto) com os dados observados (Observado) ao longo do dia (hora local) para temperatura do ar nos dias (a) 07/05/2012; (b) 08/05/2012; (c) 09/05/2012; (d) 10/05/2012; (e) 11/05/2012.

- **Temperatura Aparente:** a previsão subestimou a temperatura aparente em todas as situações. Apesar de correlações de moderada à alta em todos os dias, os gráficos mostraram (Figura 4.2) que as previsões não representaram bem a temperatura aparente calculada com os dados observados. Talvez o coeficiente de correlação não seja a melhor ferramenta de análise para este caso.

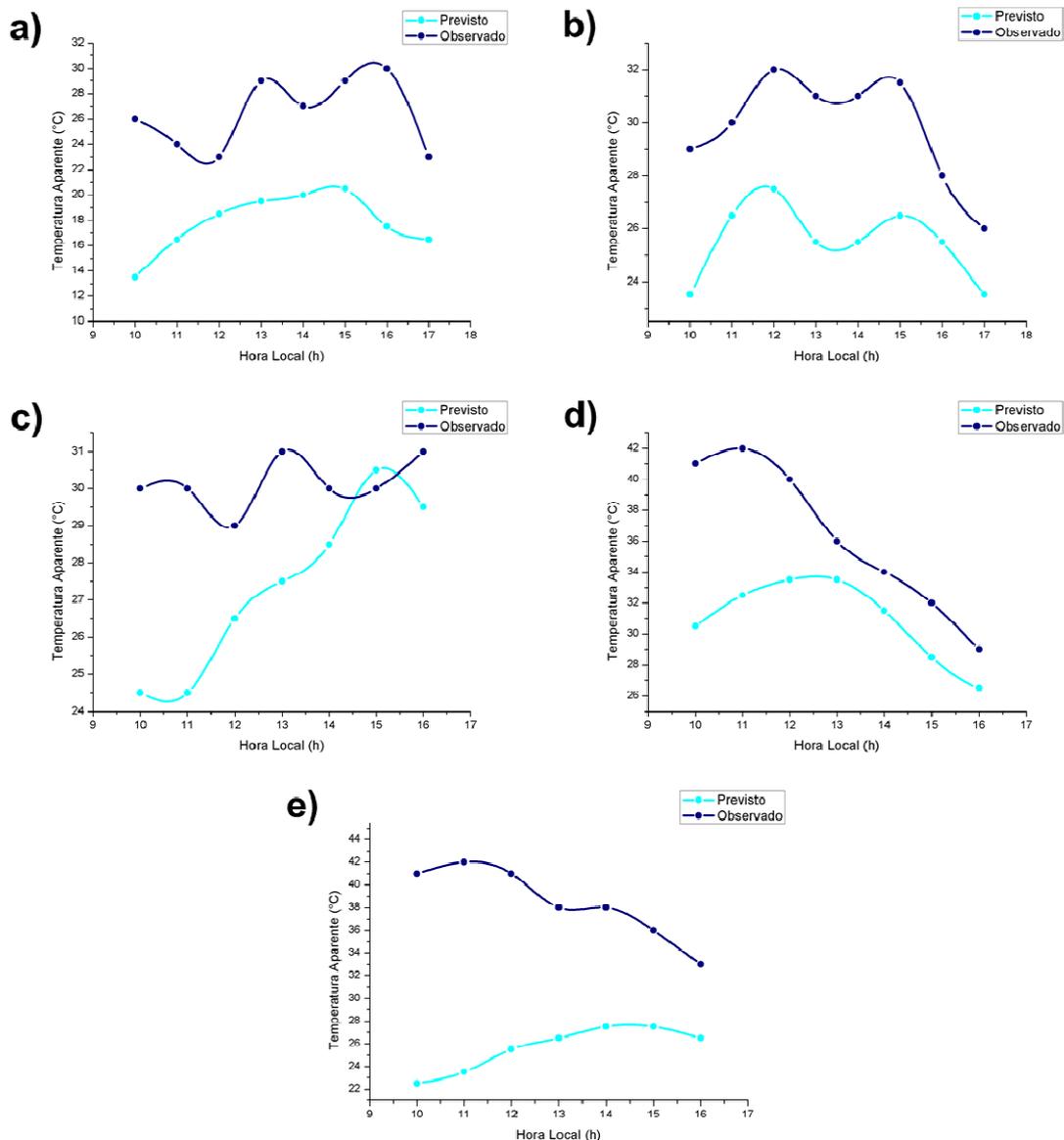


Figura 4.2 - Gráficos comparativos da previsão (previsto) com os dados observados (Observado) ao longo do dia (hora local) para temperatura aparente nos dias **(a)** 07/05/2012; **(b)** 08/05/2012; **(c)** 09/05/2012; **(d)** 10/05/2012; **(e)** 11/05/2012.

- Velocidade do Vento:** a previsão representou bem o vento observado pelas manhãs, já durante as tardes a previsão superestimava o observado. Foram registrados altos valores de correlação em três dos cinco dias, apenas em 07/05 (Figura 4.3a) e 09/05 (Figura 4.3c) houve correlações negativas alta e moderada, respectivamente, que não são representativos para essa análise. Nas situações de correlação alta o vento teve uma boa estimativa pela previsão até às 14h, depois disso era fortemente superestimado.

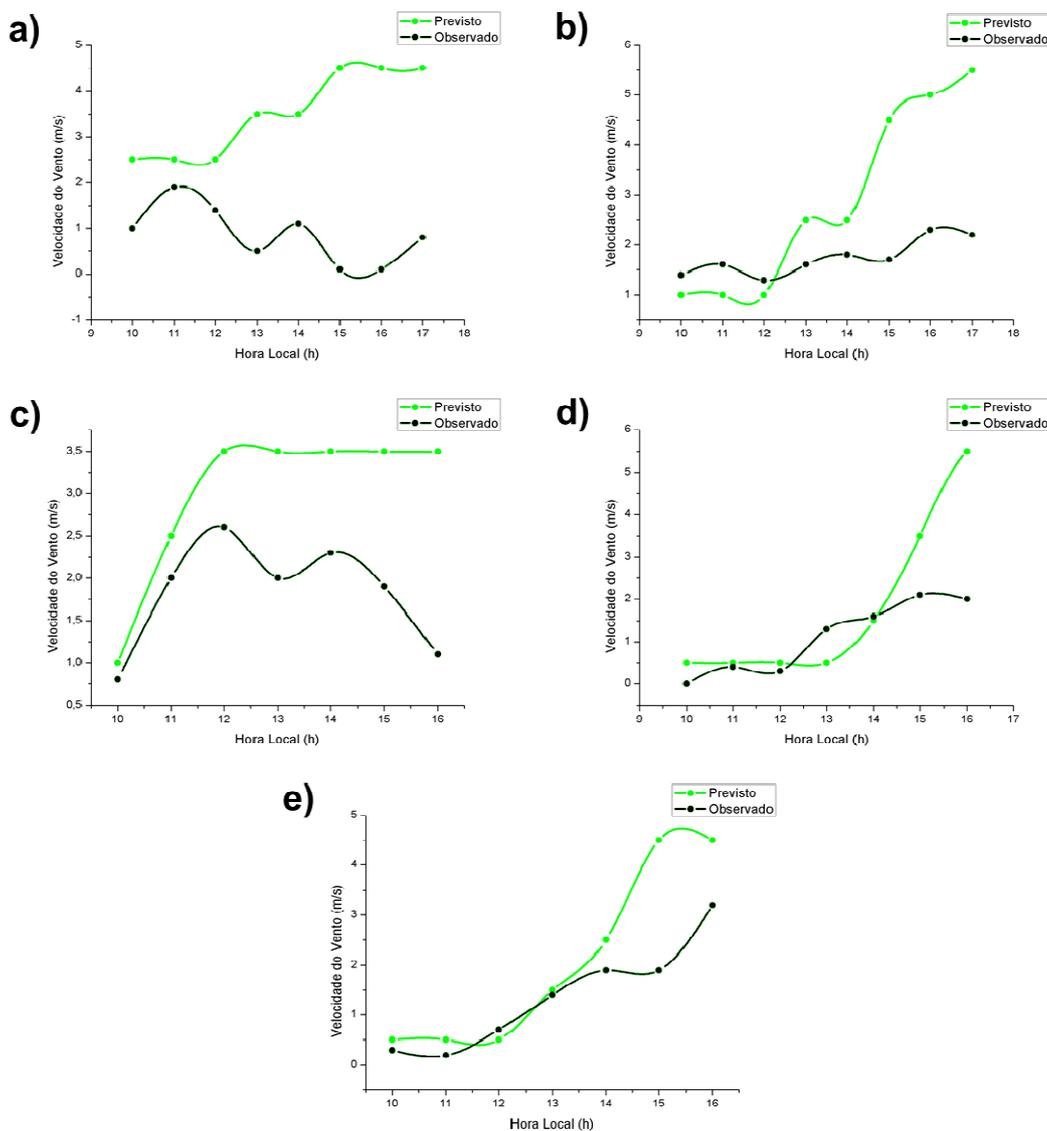


Figura 4.3 - Gráficos comparativos da previsão (previsto) com os dados observados (Observado) ao longo do dia (hora local) para velocidade do vento nos dias **(a)** 07/05/2012; **(b)** 08/05/2012; **(c)** 09/05/2012; **(d)** 10/05/2012; **(e)** 11/05/2012.

- Umidade Relativa:** a previsão superestimou a UR durante as manhãs, mas o padrão durante as tardes era, no geral, similar aos valores observados. Correlações de moderada a alta entre previsão e observação foram registradas nos cinco dias. O gráfico do dia 10/05 (Figura 4.4d) é o apresenta maior diferença entre previsão e observação, porém, de acordo com a Tabela 4.1, o valor de correlação é um dos mais altos da semana (0,73). Assim, como no caso da temperatura aparente, talvez a correlação não seja a melhor ferramenta de análise para este caso.

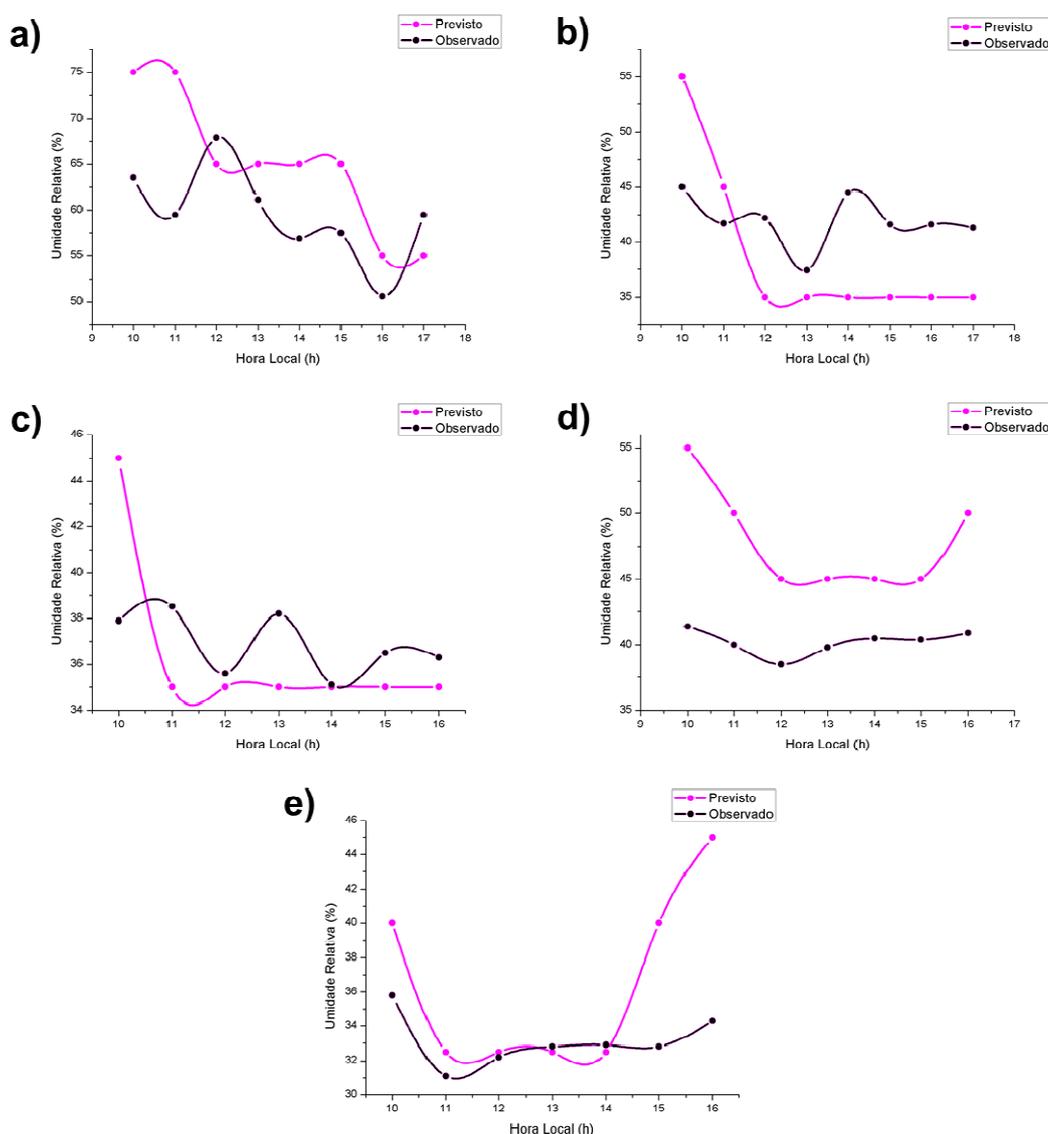


Figura 4.4 - Gráficos comparativos da previsão (previsto) com os dados observados (Observado) ao longo do dia (hora local) para umidade relativa do ar nos dias (a) 07/05/2012; (b) 08/05/2012; (c) 09/05/2012; (d) 10/05/2012; (e) 11/05/2012.

Devido principalmente à constante subestimativa da previsão da temperatura em relação ao observado, somado a aparentes inconsistências entre os gráficos de comparação e os valores de correlação para a temperatura aparente e alguns casos na umidade relativa, optou-se por fazer uma análise estatística fazendo uso dos valores do Viés (Equação 3.2), a fim de tentar identificar algum erro sistemático que justificasse os padrões observados. A Tabela 4.2 apresenta os valores do Viés calculado para todos os dias de serviços no LII CPM, comparando a previsão com os dados coletados em campo, para T, V e UR. Optou-se por não apresentar a TA, pois como ela é função dos demais parâmetros meteorológicos, caso algum erro sistemático seja encontrado neles é só corrigir a série e recalculá-la a TA.

Tabela 4.2 - Valores do Viés para comparações entre previsão e observação para temperatura (T), velocidade do vento (V), umidade relativa (UR) e de 07 à 11 de maio de 2012.

Dia	07/05	08/05	09/05	10/05	11/05
T	-3,36	-3,06	-3,53	-3,70	-5,99
V	3,14	1,14	1,19	0,69	0,70
UR	5,44	-3,16	-0,44	7,64	3,30

A inconsistência entre gráfico e observação para a UR no dia 10/05 é facilmente notada quando analisado o viés, que para esta data apresenta valor de 7,64, concordando então com o padrão apresentado na Figura 4.4d. Somente para a temperatura pode-se identificar um erro sistemático claro, que indica que a previsão subestima os dados observados em 3,4°C, uma média dos valores de viés dos cinco dias.

A fim de validar tal informação, foram calculados novos valores de correlação e viés para a temperatura comparando as previsões com dados observados na estação Roma Urbe, locada a poucos quilômetros do local de competição. A Tabela 4.3 apresenta os resultados comparando com os valores anteriormente obtidos.

Tabela 4.3 - Valores de correlação e viés para comparações entre previsão e observação com dados coletados no local de competição (52 CPM) e com dados observados na estação Roma Urbe (Urbe), para temperatura de 07 à 11 de maio de 2012. Valores em verde representam correlação alta, em amarelo correlação moderada e em vermelho correlação baixa.

Dia	Correlação		Viés	
	52 CPM	Urbe	52 CPM	Urbe
07/05	0,44	0,70	-3,36	-0,25
08/05	0,96	0,98	-3,06	0,50
09/05	0,46	0,97	-3,53	-0,13
10/05	-0,26	0,93	-3,70	0,75
11/05	-0,02	0,96	-5,99	-1,75

A melhora obtida na comparação entre previsão e dados da estação Roma Urbe é notável. Altos valores de correlação são identificados em todo o período e a média do viés para os cinco dias atinge um valor irrelevante (0,18) para que seja considerado um erro sistemático. Nos dois últimos dias o viés apresenta valores um pouco mais altos, o que pode indicar uma deficiência nas previsões quando ocorrem temperaturas mais altas.

Uma possível explicação para o fato de os dados coletados apresentarem tal erro sistemático, além de alguns outros resultados insatisfatórios na análise dos demais parâmetros meteorológicos, se deve ao instrumento de coleta estar exposto diretamente ao Sol. A ausência de um abrigo ao instrumento, conforme ocorre em estações de superfície como a Roma Urbe, pode levar alguns parâmetros meteorológicos a sofrerem com superestimativas, especialmente a temperatura, deixando evidente a necessidade de uma estação meteorológica que atenda os padrões da WMO.

5 ESTUDO CLIMATOLÓGICO E DE CONFORTO TÉRMICO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

É de fundamental importância ter conhecimento das principais características do município (topografia, vegetação, aquíferos, etc) e também conhecer os sistemas meteorológicos que atuam no Rio de Janeiro como um todo, principalmente durante os meses de JAS. Assim, os resultados da análise climatológica apresentados posteriormente serão mais compreensíveis e claros. A seção a seguir discute tais aspectos.

5.1 Aspectos Gerais e Sistemas Meteorológicos Atuantes

O município do Rio de Janeiro é delimitado pelos paralelos 22°45'05"S e 23°04'10"S e os meridianos 43°06'30"W e 43°47'40"W e circundado por um maciço ao norte (Maciço Gericinó-Medanha), o Oceano Atlântico ao sul, a leste pela Baía de Guanabara e a oeste pela Baía de Sepetiba. (DERECZYNSKI et al., 2009). O relevo acentuado e diversificado da cidade do Rio de Janeiro e seus arredores, além da proximidade do oceano e a presença de duas baías, contribuem para a grande variabilidade espacial dos elementos meteorológicos, tais como precipitação, temperatura, umidade, ventos, nebulosidade e evaporação. (DERECZYNSKI et al., 2011)

De acordo com Dereczynski et al. (2009), os dois principais sistemas meteorológicos que atuam no estado do Rio de Janeiro, e que por consequência regulam o clima da capital, são a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), atuante de novembro a março, e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) ao longo do restante do ano. Como o período de interesse a esse estudo é JAS, é necessário conhecer melhor o que é e quais são os efeitos do ASAS na região.

O ASAS é um centro de alta pressão semipermanente, de existência oriunda do movimento subsidente da célula de Hadley. Ele se intensifica com certa regularidade e avança sobre o Brasil de leste para oeste, começando no final do verão do Hemisfério Sul, atingindo sua máxima intensidade em julho e

declinando até janeiro (CAVALCANTI et al., 2009). Dereczynski et al. (2009) observam que no Rio de Janeiro como um todo, tal sistema é responsável pelas condições de céu claro ou pouca nebulosidade, principalmente nos meses de julho e agosto, além dos ventos de nordeste que atingem o norte do estado.

Reboita et al. (2010) associam os baixos valores pluviométricos do inverno no Sudeste do Brasil à atuação do ASAS, pois nesta estação tal sistema alcança sua posição mais a oeste, se estendendo até a região, e também afirmam que os eventos de chuva nesta época do ano ocorrem quando Sistemas Frontais (SFs), ciclones subtropicais e extratropicais conseguem se sobrepor ao ASAS. Dereczynski et al. (2009) em seu estudo ainda citam os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis de origem subtropical e os Sistemas Convectivos de Mesoescala como sistemas meteorológicos que quebram a influência predominante do ASAS, trazendo nebulosidade e precipitação ao estado do Rio de Janeiro.

A passagem de SFs sobre o estado do Rio de Janeiro ocorre ao longo de todo o ano, mas há diferenças de estação para estação no que diz respeito à frequência e atuação. No inverno e na primavera, períodos de interesse ao estudo, verifica-se a passagem de cerca de quatro SFs por mês, o que contabilizaria, aproximadamente, um SF por semana (DERECZYNSKI et al., 2009). Os SFs atuantes nessa época do ano não são tão eficientes em organizar convecção (OLIVEIRA, 1986), mas trazem consigo massas de ar frio vindas de latitudes mais altas (CAVALCANTI et al., 2009), que contribuem para o declínio das temperaturas enquanto atuam.

Alguns fatores de escala local também influenciam o tempo e clima na cidade, sendo a circulação de brisa uma das principais. Dereczynski et al. (2009) ao revisarem os ventos predominantes em diversas partes do Rio de Janeiro constataram que apesar das direções norte e nordeste serem predominantes no estado, influenciadas pela circulação do ASAS, na capital as brisas marítima e terrestre dominam a circulação local.

Os autores também indicam que há diferenças na atuação da brisa marítima ao longo do ano, citando que na primavera e no verão a frequência de ventos do quadrante sul, que caracterizam a entrada de brisa, aumentam em relação ao padrão anual. Nesta época o aquecimento da superfície continental é maior, aumentando o gradiente horizontal de temperatura entre continente e oceano, o que induz uma intensificação da circulação de brisa marítima. Por outro lado, durante o outono e inverno é identificada uma diminuição na frequência dos registros de ventos de sul e um aumento na frequência dos de norte, o que evidencia a atuação do ASAS e uma presença não tão constante da brisa marítima.

A influência da topografia também é significativa na caracterização do clima no RJ. Dereczynski et al. (2011) relatam em seus estudos que os maciços que cortam e delimitam a cidade podem agir como barreiras, bloqueando a brisa marítima e os sistemas transientes que penetram pelo litoral em direção ao interior da cidade, o que promove maiores temperaturas e amplitudes térmicas. Além disso, os maiores acumulados de chuva anuais estão concentrados junto aos maciços, devido ao deslocamento dos sistemas meteorológicos preferencialmente de sul para norte, o que produz máximos de precipitação à barlavento das serras. (DERECZYNSKI et al., 2011). Esse processo é ainda amplificado pelo levantamento de ar úmido trazido pela brisa marítima.

Especificamente sobre a precipitação, as Figuras 5.1, 5.2a e 5.2b apresentam a distribuição dos acumulados em, respectivamente, total anual médio e médias mensais para os meses de inverno (JJA) e primavera (SON). Dereczynski et al. (2009) construíram tais mapas com base nos dados de 30 postos pluviométricos da Fundação Geo-Rio para o período de 1997 a 2006.

É possível observar que o total pluviométrico médio anual para o município fica entre 1000 e 1600 mm, com os valores máximos junto aos maciços, porém esse valor cai para 1100 a 1200 quando se observa especificamente a área de interesse a esse estudo (estações Saúde, Teresa, Urca e Copa). Para os meses de inverno (JJA) o acumulado médio mensal oscila entre 40 e 100 mm na cidade, enquanto nas estações da área de interesse os valores ficam entre 40 e 60 mm, o que comparado ao total anual evidencia uma estação seca. Dereczynski et al. (2009) afirmam que, de forma geral, o trimestre menos chuvoso do ano é JJA. Por fim, na primavera (SON) a precipitação aumenta, variando entre 100 e 200 mm ao longo do município, e entre 100 e 120 mm na área de interesse.

De acordo com a atuação dos sistemas de escala sinótica e local no município do Rio de Janeiro, conforme descrito ao longo desta seção e com base em algumas informações adicionais de Dereczynski et al. (2009) e Dereczynski et al. (2011), os principais aspectos do clima no período de JAS são:

- Pouca precipitação: principalmente em Julho e Agosto;
- Eventos de precipitação ligados à passagem de SFs;
- Pouca nebulosidade: algum aumento é notado no decorrer de Setembro;
- Temperatura relativamente amena: alguns declínios significativos acontecem após as passagens de SFs;
- Umidade do ar relativamente mais baixa;
- Pouca influência da circulação de brisa: ventos menos intensos e pouquíssima atuação, tanto em intensificação quanto em causa, de eventos de precipitação.

5.2 Análise Climatológica

A Figura 5.3 apresenta os resultados da análise climatológica, mostrando os padrões de comportamento de T, UR, V e P no período de JAS. O ciclo diário fica bem evidente, mostrando o aumento de temperatura durante o dia e declínio durante a noite (Figura 5.3a), o aumento da umidade relativa durante a

noite e sua queda ao longo do dia (Figura 5.3b), ventos mais calmos na madrugada e mais intensos no período da tarde (Figura 5.3c) e também a maré barométrica, indicando dois máximos e dois mínimos de pressão no decorrer do dia (Figura 5.3d).

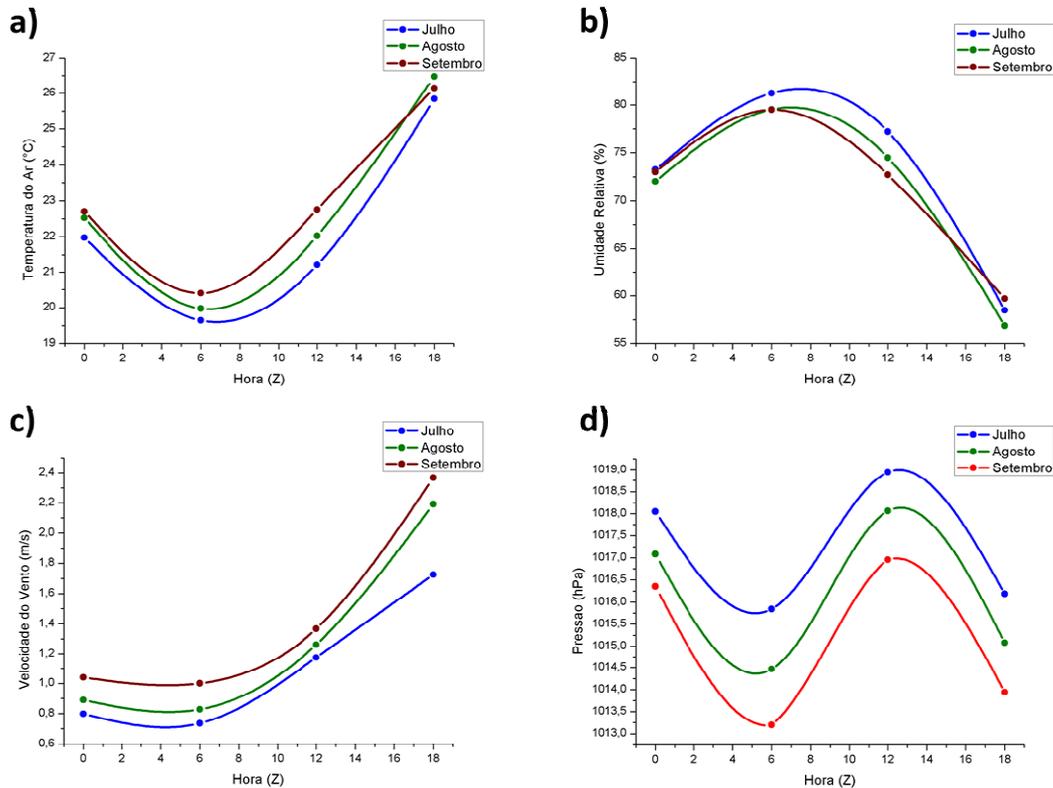


Figura 5.3 - Médias mensais (2003-2011) do ciclo diário para a cidade do Rio de Janeiro para **(a)** Temperatura do Ar (°C); **(b)** Umidade Relativa do Ar (%); **(c)** Velocidade do Vento (m/s); **(d)** Pressão Reduzida ao Nível do Mar (hPa).

Ao analisar o comportamento de T ao longo do período JAS (Figura 5.3a), vê-se que julho é o mês mais frio dos três, já que se trata do segundo mês do inverno. As temperaturas se elevam gradativamente mês a mês, com a aproximação da primavera que se inicia em setembro. De acordo com Dereczynski et al. (2011) a partir deste mês a nebulosidade estratiforme volta a aumentar no RJ, evidenciando mínimos de insolação que podem ser a causa da T média de setembro ser menor ou bem próxima à de agosto, como às 18Z (15h local) e 00Z (21h local). A julgar pelos horários, tal nebulosidade é proveniente da entrada de brisa marítima.

Na Figura 5.3b vê-se que a UR é mais baixa no mês de agosto. Julho apresenta UR média de baixo valor somente à tarde (18Z), nos demais horários ela se sobressai em relação aos outros meses. Tais fatos estão de acordo com o observado em outros estudos da climatologia do RJ, que citam os meses de julho e agosto como os meses de umidade absoluta bem baixa (DERECZYNSKI et al., 2011). O traço menos curvado do mês de setembro indica que a UR começa a adquirir comportamento mais uniforme ao longo do dia, devido aos primeiros indícios da volta da atuação da brisa marítima, com o valor de UR mais alto à tarde (18Z) em relação aos demais meses.

Quanto ao comportamento de V ao longo de JAS (Figura 5.3c), percebe-se ventos mais calmos no mês de julho, principalmente durante a tarde (18Z). Isso se deve ao fato do mecanismo de brisa marítima ser pouco intenso nessa época, já que o aquecimento continental é mais brando devido às temperaturas mais baixas. À medida que a temperatura aumenta com o passar dos meses, o aquecimento continental é maior o que intensifica gradativamente os ventos gerados pelos mecanismos de brisa (DERECZYNSKI et al., 2009). Logo, os meses de agosto e setembro tem padrão de ventos mais intensos, especialmente durante a tarde.

Por fim a pressão, Figura 3.3d, apresenta valor mais alto no mês de julho, decrescendo gradativamente com o passar dos meses. A atuação do ASAS, conforme já descrito na seção 5.1, é o responsável por esse padrão de comportamento. Como o anticiclone atinge seu ponto mais a leste, portanto influenciando o RJ, e se intensifica em julho, é perfeitamente explicável que a P média desse mês seja mais alta. Nos meses subsequentes, o ASAS começa a perder intensidade e influência na regulação do clima no RJ, dando espaço à volta da atuação da brisa marítima (DERECZYNSKI et al., 2009). Sendo assim o mês de agosto já apresenta P média um pouco mais baixa e setembro tem a média de P mais baixa do período.

A Figura 5.4 apresenta os acumulados de precipitação médios em JAS para as duas estações estudadas e também a média entre elas. Primeiramente pode-se perceber que as estações A e B têm valores de precipitação bem próximos,

com exceção do mês de setembro que apresenta uma amplitude um pouco maior. Tal fato está dentro do esperado para a cidade, pois diferenças da mesma ordem são observadas quando comparadas duas estações próximas às estações A e B, Saúde e Grajaú respectivamente (Figuras 5.2a e 5.2b). Além disso, o estudo de Dereczynski et al. 2009 concluiu que, com exceção dos maciços que concentram os máximos de precipitação, nas áreas de planície do município, como é o caso das estações estudadas, a distribuição das chuvas é homogênea.

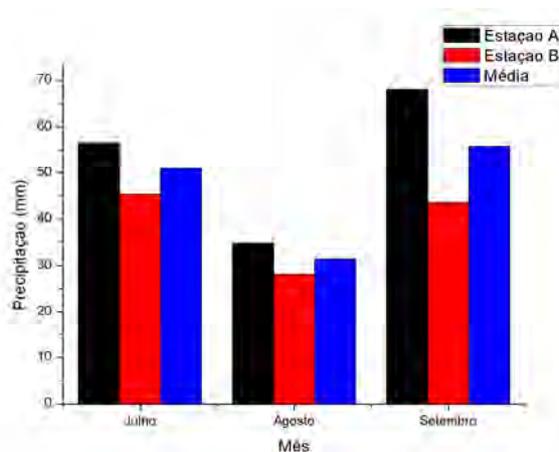


Figura 5.4 - Precipitação acumulada mensal média (2003-2011), em mm, para os meses de julho, agosto e setembro na estação A (preto), estação B (vermelho) e média entre A e B (azul).

A respeito da variação mensal da precipitação no período JAS, pode-se notar o declínio dos acumulados de julho para agosto e o posterior aumento em direção a setembro. Isso permite afirmar que agosto apresenta-se como o mês menos chuvoso do período (JAS), o que está de acordo com o observado no estudo da climatologia do RJ de Dereczynski et al. (2011). Além disso, as análises dos autores permitem identificar que, somado a junho, JAS são os meses menos chuvosos do ano todo, com acumulados mensais médios variando entre 40 e 60 mm.

Para resumir essa análise e a fim de fornecer um mecanismo de consulta rápido, a Tabela 5.1 a seguir apresenta as médias mensais dos quatro parâmetros meteorológicos discutidos ao longo desta seção.

Tabela 5.1 - Médias para os meses de julho, agosto e setembro de temperatura do ar (T) em °C, umidade relativa (UR) em %, pressão reduzida ao nível médio do mar (PNMM) em hPa, velocidade do vento (V) em m/s e precipitação acumulada (Prec) em mm.

	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	V (m/s)	Prec (mm)
Julho	22,2	72,5	1017,3	1,1	51
Agosto	22,7	70,7	1016,2	1,3	31
Setembro	23,0	71,2	1015,1	1,4	56

5.3 Avaliação do Conforto Térmico

5.3.1 Situação Média

A primeira parte da avaliação do conforto térmico na cidade do Rio de Janeiro consiste em apresentar os índices de conforto térmico (TE, TE_v, TEF, VMP e TEP*), e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para uma situação média mensal em cada um dos quatro horários. Para o cálculo utilizaram-se os valores obtidos na análise climatológica apresentada anteriormente, e o grau de estresse fisiológico foi associado de acordo com os limiares e escalas de cores apresentados na Tabela 3.3.

Por julho ser um mês de temperaturas mais amenas, o conforto térmico não apresenta nenhum estresse fisiológico extremo para frio ou calor. Durante as noites (Tabela 5.2 00Z) a condição geral observada é de ligeiro desconforto para o frio, alternando para períodos de conforto no caso de tempo nublado. Nas madrugadas (Tabela 5.2 06Z) o desconforto para o frio varia de ligeiro a moderado, atingindo o nível de conforto somente em caso de atividade física. Pela manhã (Tabela 5.3 12Z) o conforto térmico é facilmente atingido em caso de tempo nublado, do contrário há um ligeiro desconforto para o calor, que no caso de atividade física pode até chegar à moderado. Por fim, as tardes de julho (Tabela 5.3 18Z) apresentam de ligeiro desconforto para o calor chegando a ser moderado no caso de céu claro. No caso de atividade física a avaliação do conforto térmico é bem semelhante.

Em agosto a avaliação do conforto térmico continua sem apresentar nenhum estresse extremo, porém nota-se que o desconforto para o frio diminui um

pouco enquanto o desconforto para o calor torna-se mais constante. Durante a noite (Tabela 5.4 00Z) a condição de conforto térmico é atingida, porém com alguma tendência à ligeiro desconforto para o frio, principalmente em caso de céu claro. A avaliação do conforto térmico para as madrugadas de agosto (Tabela 5.4 06Z) é bem semelhante àquela do mês de julho, mas como os valores dos índices são um pouco maiores a condição geral fica simplesmente em um ligeiro desconforto para o frio, independente da nebulosidade. Nesse o horário o conforto térmico pode ser atingido só em atividade física. Pela manhã (Tabela 5.5 12Z) nota-se que o desconforto para o calor é maior do no mesmo período do mês de julho, sendo ligeiro na média e podendo chegar a moderado em caso de céu claro e/ou em atividade. Já nas tardes (Tabela 5.5 18Z) predomina o desconforto moderado ao calor, podendo ser ligeiro no caso de tempo nublado ou mesmo forte em práticas de atividade em condição de céu claro.

No mês de setembro o estresse para o calor torna-se mais presente durante o dia, no mesmo passo que o período da noite se torna termicamente mais confortável. A avaliação do conforto térmico para as noites de setembro (Tabela 5.6 00Z) é semelhante à de agosto, ficando entre o ligeiro desconforto para o frio e o confortável, com tendência à ligeiro desconforto para o calor na prática de atividade física. Nas madrugadas (Tabela 5.6 06Z) o ligeiro desconforto para o frio ainda se faz presente, porém o conforto térmico pode ser atingido em condição de tempo nublado ou na prática de atividade. Pela manhã (Tabela 5.7 12Z), o desconforto moderado ao calor domina em caso de céu claro e também em atividade, mas tal desconforto pode ser ligeiro com o tempo nublado. Por fim, as tardes do mês de setembro (Tabela 5.7 18Z), apresentam desconforto moderado ao calor sob qualquer condição de nebulosidade tanto em repouso quanto em atividade, sendo que para esta última pode facilmente atingir forte desconforto ao calor.

Caracterizado o conforto térmico nos meses JAS, pode-se agora analisar o papel dos índices e o comportamento de suas avaliações nos casos que foram avaliados. O padrão mais evidente foi de TE_v e TE , que se apresentaram mais

eficazes em caracterizar o conforto térmico nas noites (00Z) e madrugadas (06Z), quando as menores temperaturas são observadas, já que seus valores eram relativamente próximos aos dos demais índices (exceto o VMP que utiliza outros limiares). Já para as manhãs e principalmente para as tardes os valores de TE_v e TE destoavam muito dos demais índices, o que fazia suas classificações de grau de estresse fisiológico parecerem subestimadas tanto em relação a temperatura média do ar e demais condições meteorológica, quanto em relação a classificação dos outros índices. Pode-se perceber que em todas as análises feitas para as 18Z o TE_v indicou LEF enquanto a maioria dos índices variavam entre LEC e EMC. Sendo assim TE_v e TE só foram completamente levadas em consideração nas análises da 00Z e 06Z, nos demais horários a TE_v foi desconsiderada e a TE foi levada em consideração somente em valor, como indicação de uma possível sensação térmica.

Estudos como o de Gobo e Galvani (2012 a), que mapearam o conforto térmico no estado do Rio Grande do Sul utilizando a TE_v , indicam o comportamento constante de desconforto para o frio deste índice, assim como observado nas análises dessa seção. Os mesmos autores em um estudo semelhante posterior (GOBO e GALVANI, 2012b), utilizando o índice de Temperatura Resultante, que não leva o vento em consideração nos cálculos, obtiveram um mapeamento do conforto térmico para o Rio Grande do Sul muito mais heterogêneo do que aquele desenvolvido com a TE_v , com limiares que variam desde o desconforto para o calor até o leve desconforto para o frio. Estes fatos levam a crer que a TE_v é fortemente influenciada pelo vento, o que faz seus valores parecerem subestimados quando comparados com outros índices.

A TEF e o VMP se mostraram coerentes em classificar o conforto térmico tanto entre si quanto em relação às condições meteorológicas em questão. Nas situações em que divergiam, optou-se em considerar na análise o grau de estresse fisiológico indicado pelo VMP, enquanto o valor da TEF vinha a compor a possível sensação térmica. Isso se deve ao fato da TEF ser fortemente influenciada pelos parâmetros meteorológicos responsáveis pelos processos de termo regulação do corpo, principalmente pela temperatura e o

vento, enquanto o VMP fornece uma avaliação do conforto térmico em condições ambientais similares (PEZZOLI et al., 2012). Portanto, para alguns casos, avaliar o grau de estresse fisiológico fazendo uso somente da TEF pode resultar numa superestimativa da condição real, principalmente em casos de temperaturas extremas ou ventos fortes.

A TEP* apresentou uma boa avaliação da sensação térmica nas situações de repouso, indicando valores bem coerentes com os dos demais índices. No entanto, para análise do conforto térmico em atividade sua utilização se mostrou inviável, uma vez que apresentava valores muito mais baixos do que a TEF. Para os casos da manhã, como o apresentado na Tabela 3.6 06Z, em uma situação com TEF de 13,3°C, a TEP* chegou a indicar 4,6 °C, o que seria muito frio para um indivíduo que está em atividade. Neste caso, uma possível explicação para essa aparente subestimativa da TEP* seria a temperatura da pele estar fortemente correlacionada com o desconforto subjetivo em ambientes frios (MONTEIRO e ALUCCI, 2007). Em atividade, o movimento do corpo geraria certa “turbulência”, o que pode vir a causar um resfriamento mais intenso da pele, o que justifica os valores tão baixos obtidos para TEP* em casos como este.

Tabela 5.2 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v, TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para o período da noite (00Z) e madrugada (06Z) no mês de julho.

Conforto Térmico - Julho - 00Z						Conforto Térmico - Julho - 06Z					
Céu Claro						Céu Claro					
Situação Média						Situação Média					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*	
Repouso	18,9	20,7	16,9	-0,4	15,2	17,0	18,9	14,5	-0,9	13,4	
Estresse Fisiológico	EMF	LEF	LEF	CFT	-	EMF	EMF	LEF	LEF	-	
Atividade	-	-	15,6	0,4	6,7	-	-	13,0	0,0	4,4	
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	CFT	-	-	-	LEF	CFT	-	
Parcialmente Nublado						Parcialmente Nublado					
Situação Média						Situação Média					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*	
Repouso	18,9	20,7	17,8	-0,3	16,0	17,0	18,9	15	-0,9	13,9	
Estresse Fisiológico	EMF	LEF	LEF	CFT	-	EMF	EMF	LEF	LEF	-	
Atividade	-	-	16,6	0,5	7,7	-	-	13,6	0,0	5,0	
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	CFT	-	-	-	LEF	CFT	-	
Nublado						Nublado					
Situação Média						Situação Média					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*	
Repouso	18,9	20,7	19,6	0,0	17,8	17,0	18,9	17,3	-0,5	16,0	
Estresse Fisiológico	EMF	LEF	CFT	CFT	-	EMF	EMF	LEF	LEF	-	
Atividade	-	-	18,8	0,8	10,0	-	-	16,2	0,4	7,8	
Estresse Fisiológico	-	-	CFT	LEC	-	-	-	LEF	CFT	-	

Tabela 5.3 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v, TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para o período da manhã (12Z) e tarde (18Z) no mês de julho.

Conforto Térmico - Julho -12Z						Conforto Térmico - Julho -18Z					
Céu Claro						Céu Claro					
Situação Média						Situação Média					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*		TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	17,5	20,2	27,1	1,0	23,8		20,9	23,2	31,2	1,8	26,3
Estresse Fisiológico	EMF	LEF	LEC	LEC	-		LEF	CFT	EMC	EMC	-
Atividade	-	-	26,7	1,7	17,6		-	-	30,9	2,5	20,6
Estresse Fisiológico	-	-	LEC	EMC	-		-	-	EMC	EMC	-
Parcialmente Nublado						Parcialmente Nublado					
Situação Média						Situação Média					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*		TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	17,5	20,2	24,2	0,6	21,5		20,9	23,2	28,6	1,4	24,3
Estresse Fisiológico	EMF	LEF	LEC	LEC	-		LEF	CFT	LEC	LEC	-
Atividade	-	-	23,5	1,3	14,7		-	-	28,1	2,1	18,1
Estresse Fisiológico	-	-	LEC	LEC	-		-	-	LEC	EMC	-
Nublado						Nublado					
Situação Média						Situação Média					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*		TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	17,5	20,2	23	0,4	20,6		20,9	23,2	27,7	1,3	23,6
Estresse Fisiológico	EMF	LEF	CFT	CFT	-		LEF	CFT	LEC	LEC	-
Atividade	-	-	22,3	1,2	13,6		-	-	27,1	2,0	17,2
Estresse Fisiológico	-	-	CFT	LEC	-		-	-	LEC	EMC	-

Tabela 5.4 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v , TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para o período da noite (00Z) e madrugada (06Z) no mês de agosto.

Conforto Térmico - Agosto - 00Z						Conforto Térmico - Agosto - 06Z					
Céu Claro						Céu Claro					
Situação Média						Situação Média					
	TE_v	TE	TEF	VMP	TEP*	TE_v	TE	TEF	VMP	TEP*	
Repouso	19,2	21,1	17,4	-0,3	15,5	17,0	19,2	14,8	-0,9	13,6	
Estresse Fisiológico	LEF	LEF	LEF	CFT	-	EMF	LEF	LEF	LEF	-	
Atividade	-	-	17,9	0,5	7,0	-	-	13,2	0,0	4,6	
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	CFT	-	-	-	LEF	CFT	-	
Parcialmente Nublado						Parcialmente Nublado					
Situação Média						Situação Média					
	TE_v	TE	TEF	VMP	TEP*	TE_v	TE	TEF	VMP	TEP*	
Repouso	19,2	21,1	17,8	-0,3	16,0	17,0	19,2	15,3	-0,8	14,0	
Estresse Fisiológico	LEF	LEF	LEF	CFT	-	EMF	LEF	LEF	LEF	-	
Atividade	-	-	16,6	0,6	7,6	-	-	13,8	0,1	5,2	
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-	-	-	LEF	CFT	-	
Nublado						Nublado					
Situação Média						Situação Média					
	TE_v	TE	TEF	VMP	TEP*	TE_v	TE	TEF	VMP	TEP*	
Repouso	19,2	21,1	20,0	0,1	18,0	17,0	19,2	17,5	-0,5	16,1	
Estresse Fisiológico	LEF	LEF	CFT	CFT	-	EMF	LEF	LEF	LEF	-	
Atividade	-	-	19,2	0,9	10,2	-	-	16,3	0,4	7,8	
Estresse Fisiológico	-	-	CFT	LEC	-	-	-	LEF	CFT	-	

Tabela 5.5 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v, TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para o período da manhã (12Z) e tarde (18Z) no mês de agosto.

Conforto Térmico - Agosto -12Z						Conforto Térmico - Agosto -18Z					
Céu Claro						Céu Claro					
Situação Média						Situação Média					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*		TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	18,1	20,8	29,4	1,3	25,4		21,1	23,6	32,4	2,0	27,1
Estresse Fisiológico	EMF	LEF	EMC	LEC	-		LEF	CFT	EMC	EMC	-
Atividade	-	-	29,1	2,0	19,6		-	-	32,2	2,7	21,6
Estresse Fisiológico	-	-	EMC	EMC	-		-	-	EMC	FEC	-
Parcialmente Nublado						Parcialmente Nublado					
Situação Média						Situação Média					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*		TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	18,1	20,8	26,3	0,9	23,0		21,1	23,6	29,8	1,6	25,2
Estresse Fisiológico	EMF	LEF	LEC	LEC	-		LEF	CFT	EMC	EMC	-
Atividade	-	-	25,7	1,6	16,6		-	-	29,4	2,3	19,1
Estresse Fisiológico	-	-	LEC	EMC	-		-	-	EMC	EMC	-
Nublado						Nublado					
Situação Média						Situação Média					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*		TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	18,1	20,8	24,9	0,7	22,0		21,1	23,6	28,9	1,5	24,4
Estresse Fisiológico	EMF	LEF	LEC	LEC	-		LEF	CFT	LEC	LEC	-
Atividade	-	-	24,3	1,5	15,3		-	-	28,3	2,2	18,2
Estresse Fisiológico	-	-	LEC	LEC	-		-	-	LEC	EMC	-

Tabela 5.6 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v, TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para o período da noite (00Z) e madrugada (06Z) no mês de setembro.

Conforto Térmico - Setembro - 00Z						Conforto Térmico - Setembro - 06Z					
Céu Claro						Céu Claro					
Situação Média						Situação Média					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*		TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	19,2	21,3	17,5	-0,3	15,6		17,0	19,5	15,1	-0,8	13,7
Estresse Fisiológico	LEF	LEF	LEF	CFT	-		EMF	LEF	LEF	LEF	-
Atividade	-	-	16,1	0,5	7,1		-	-	13,3	0,0	4,6
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	CFT	-		-	-	LEF	CFT	-
Parcialmente Nublado						Parcialmente Nublado					
Situação Média						Situação Média					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*		TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	19,2	21,3	18,0	-0,2	16,1		17,0	19,5	15,6	-0,7	14,1
Estresse Fisiológico	LEF	LEF	LEF	CFT	-		EMF	LEF	LEF	LEF	-
Atividade	-	-	16,7	0,6	7,6		-	-	13,8	0,1	5,1
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-		-	-	LEF	CFT	-
Nublado						Nublado					
Situação Média						Situação Média					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*		TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	19,2	21,3	20,1	0,1	18,1		17,0	19,5	17,6	-0,4	16,1
Estresse Fisiológico	LEF	LEF	CFT	CFT	-		EMF	LEF	LEF	CFT	-
Atividade	-	-	19,2	0,9	10,2		-	-	16,2	0,4	7,7
Estresse Fisiológico	-	-	CFT	LEC	-		-	-	LEF	CFT	-

Tabela 5.7 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v, TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para o período da manhã (12Z) e tarde (18Z) no mês de setembro.

Conforto Térmico - Setembro -12Z						Conforto Térmico - Setembro -18Z					
Céu Claro						Céu Claro					
Situação Média						Situação Média					
	TE v	TE	PET	PMV	SET*	TE v	TE	PET	PMV	SET*	
Repouso	18,7	21,4	31,4	1,7	26,9	20,7	23,5	32,7	2	27,4	
Estresse Fisiológico	EMF	LEF	EMC	EMC		LEF	CFT	EMC	EMC		
Atividade	-	-	31,3	2,3	21,5	-	-	32,5	2,7	22,0	
Estresse Fisiológico	-	-	EMC	EMC		-	-	EMC	FEC		
Parcialmente Nublado						Parcialmente Nublado					
Situação Média						Situação Média					
	TE v	TE	PET	PMV	SET*	TE v	TE	PET	PMV	SET*	
Repouso	18,7	21,4	28,5	1,3	24,6	20,7	23,5	30,3	1,7	25,6	
Estresse Fisiológico	EMF	LEF	LEC	LEC		LEF	CFT	EMC	EMC		
Atividade	-	-	28,1	2,0	18,6	-	-	29,8	2,4	19,7	
Estresse Fisiológico	-	-	LEC	EMC		-	-	EMC	EMC		
Nublado						Nublado					
Situação Média						Situação Média					
	TE v	TE	PET	PMV	SET*	TE v	TE	PET	PMV	SET*	
Repouso	18,7	21,4	27,3	1,1	23,7	20,7	23,5	29,4	1,6	25,0	
Estresse Fisiológico	EMF	LEF	LEC	LEC		LEF	CFT	EMC	EMC		
Atividade	-	-	26,8	1,8	17,5	-	-	28,9	2,3	18,8	
Estresse Fisiológico	-	-	LEC	EMC		-	-	LEC	EMC		

A fim de resumir as análises das Tabelas 5.2 à 5.7, e levando em conta às considerações feitas sobre cada um dos índices, a Tabela 5.8 apresenta a sensação térmica média, representada pela Temperatura Aparente (TA), e os possíveis graus de estresse fisiológicos a serem enfrentados em cada situação. A TA é uma estimativa de sensação térmica, calculada pela média de TE_v , TE, TEF e TEP* para uma condição de nebulosidade média. Para às 12Z e 18Z a TE_v foi desconsiderada no cálculo da TA, devido a aparente subestimativa em relação aos demais índices. Para a situação de atividade é indicado somente o grau de estresse fisiológico, por julgar que seria mais eficiente, já que a variação dos valores dos índices, principalmente por causa da TEP*, poderia confundir quem procura tal informação.

Tabela 5.8 - Sensação térmica média estimada pela Temperatura Aparente (TA) em °C e os prováveis graus de estresse fisiológicos a serem enfrentados nas médias das 00Z, 06Z, 12Z e 18Z para julho, agosto e setembro.

Julho												
	00 Z		06 Z			12 Z		18 Z				
	TA (°C)	Estresse Fisiológico		TA (°C)	Estresse Fisiológico		TA (°C)	Estresse Fisiológico		TA (°C)	Estresse Fisiológico	
Repouso	19	LEF	CFT	16	EMF	LEF	22	CFT	LEC	26	LEC	EMC
Atividade	-	CFT		-	LEF	CFT	-	CFT	LEC	-	LEC	EMC

Agosto												
	00 Z		06 Z			12 Z		18 Z				
	TA (°C)	Estresse Fisiológico		TA (°C)	Estresse Fisiológico		TA (°C)	Estresse Fisiológico		TA (°C)	Estresse Fisiológico	
Repouso	19	LEF	CFT	17	LEF		24	LEC	EMC	27	EMC	
Atividade	-	CFT		-	LEF	CFT	-	LEC	EMC	-	EMC	

Setembro												
	00 Z		06 Z			12 Z		18 Z				
	TA (°C)	Estresse Fisiológico		TA (°C)	Estresse Fisiológico		TA (°C)	Estresse Fisiológico		TA (°C)	Estresse Fisiológico	
Repouso	19	LEF	CFT	17	LEF		25	LEC	EMC	27	EMC	
Atividade	-	CFT		-	LEF	CFT	-	EMC		-	EMC	

5.3.2 Situação de Máximas e Mínimas

A próxima, e última, parte da avaliação do conforto térmico na cidade do Rio de Janeiro consiste em apresentar os índices (TE, TE_v, TEF, VMP e TEP*) e seus respectivos graus de estresse fisiológico (Tabela 3.3), para as situações de temperatura máxima e mínima identificadas em cada mês do período (JAS) quando analisados os 9 anos de dados da estação B.

O cálculo desses índices foi realizado utilizando os parâmetros meteorológicos, tais como vento e umidade relativa, referentes ao horário de ocorrência da temperatura máxima (mínima). As Tabelas 5.9 e 5.10 apresentam, respectivamente, as máximas e mínimas temperaturas encontradas nos meses de julho, agosto e setembro, bem como as respectivas medidas de umidade relativa, velocidade do vento e a data e hora de ocorrência.

Tabela 5.9 - Temperaturas máxima e mínima (°C) do período de 2003 à 2011 para os meses de julho, agosto e setembro e suas respectivas data, hora e medidas de umidade relativa (UR em %) e vento (V em m/s).

MÁXIMA					
	Data	Hora	T (°C)	UR (%)	V (m/s)
Julho	27/07/2006	16h00	36,2	21	1,5
Agosto	30/08/2005	17h00	42,0	21	2,7
Setembro	11/09/2008	15h00	44,2	23	1,6
MÍNIMA					
Julho	21/07/2007	06h30	11,9	87	2,1
Agosto	11/08/2004	05h45	13,5	78	0,0
Setembro	06/09/2006	06h00	11,6	87	1,5

O fato de ser usada apenas uma estação como base para essa parte do estudo, conforme já explicado na seção 3.2, leva a desconfiar que os valores, de mais de 20 °C acima da média, das máximas dos meses de agosto e setembro e de mínimas dos meses de julho e setembro estejam, respectivamente, superestimados e subestimados. De modo a esclarecer tal suposição, foi verificada na série de dados da estação A e também do aeródromo Santos Dummont as temperaturas máximas e mínimas nos dias em

que a série da estação B indicou os valores extremos, a comparação é apresentada na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Comparação entre os valores de temperaturas máxima e mínima (°C) obtidos na Estação A (INMET), Estação B (Alerta Rio) e na estação meteorológica do aeródromo Santos Dummont (SBRJ) .

MÁXIMA			
	Estação A (°C)	Estação B (°C)	SBRJ (°C)
27/07/2006	33,4	36,2	31,0
30/08/2005	33,2	42,0	35,0
11/09/2008	33,5	44,2	27,0
MÍNIMA			
21/07/2007	18,9	11,9	18,0
11/08/2004	14,9	13,5	16,0
06/09/2006	12,8	11,6	14,0

Para a máxima de julho e as mínimas de agosto e setembro pode-se perceber que os valores das estações A, B e SBRJ são próximos uns dos outros, o que valida os dados da estação B para essas ocasiões. Porém nos demais dias as diferenças entre as temperaturas registradas na estação B e na SBRJ são grandes, e elas aumentam ainda mais quando comparadas as estações B e A, como no caso da máxima de setembro, onde diferem em 10,7 °C. Vale a pena ressaltar que as estações são próximas, estando compreendidas em um raio de 6 km, e que elas estão praticamente no nível do mar, sendo assim não há influência topográfica que justifique tal diferença de temperatura.

A credibilidade dos dados é afetada para esses dias de grande diferença, entretanto como não foi encontrada nenhuma outra estação meteorológica no município do Rio de Janeiro, nas quais seja possível obter os extremos de temperatura e demais variáveis essenciais para o cálculo dos índices de conforto térmico, optou-se por fazer a avaliação do conforto térmico com base nas temperaturas máxima e mínimas da estação B. Todavia, há ressalva que nas situações de máxima dos meses de agosto e setembro, bem como na

situação de mínima de julho, o conforto pode tender a ser maior do que aquele a ser estipulado.

Para a situação de máxima temperatura no mês de julho (Tabela 5.11 Máxima) pode-se observar que, no geral, há forte desconforto para o calor, sensação que pode se tornar extrema no caso de céu claro ou em prática de atividades físicas sob qualquer condição de nebulosidade. O conforto aumenta ligeiramente com a nebulosidade, mas devido à situação extrema de temperatura, isso não é o suficiente para alterar o grau de estresse fisiológico.

Dos índices analisados observou-se que TE, TE_v e TEP* concordam bem em valores, enquanto a TEF apresenta um valor bem mais alto que os demais, padrão que persiste nas demais análises.

Já no caso da situação de mínima temperatura de julho (Tabela 5.11 Mínima) a condição geral varia de extremo à forte desconforto para o frio, podendo atingir o nível moderado em situação de tempo encoberto ou durante a prática de atividade física, independente da condição de nebulosidade.

A respeito dos índices analisados percebeu-se que TE apresentou valor bem acima dos demais, além de muito próxima à temperatura do ar registrada ($T_{ar} = 11,9 \text{ °C}$; $TE = 11,8 \text{ °C}$). Uma possível explicação está no fato de esse ser o único índice entre os cinco estudados a não considerar a ação do vento, sendo assim a combinação de temperatura baixa com o vento relativamente intenso da ocasião ($v = 2,1 \text{ m/s}$) fez com que os demais índices indicassem uma sensação térmica muito menor que a TE.

A situação de máxima do mês de agosto (Tabela 5.12 Máxima) reflete o que seria esperado para uma ocasião de temperatura de 42°C , desconforto para o calor de forte a extremo, sob qualquer condição de nebulosidade, tanto em repouso quanto na prática de atividades físicas. Neste caso não há aumento na sensação de conforto com a nebulosidade, conforme foi observado nos casos analisados ao longo das duas últimas seções, o que pode ser observado foi na verdade o oposto, um desconforto maior com o aumento da nebulosidade.

A TEF continua a indicar um valor muito mais alto que os demais índices, que se mostraram coerentes entre si, apresentando valores de mesma ordem. Porém o fato de TE_v ser maior do que TE causa certa estranheza, já que o vento intenso da ocasião ($v = 2,7$ m/s) deveria amenizar um pouco o seu valor, tornando-o a situação mais confortável do que quando analisada por índice de formulação semelhante que não considera o vento, tal qual a TE.

Para a situação de temperatura mínima de agosto (Tabela 5.12 Mínima) a condição geral é de desconforto de moderado à forte para o frio. O conforto aumenta com a nebulosidade, podendo atingir o ligeiro desconforto para o frio no caso de tempo encoberto. Na prática de atividades físicas a sensação de conforto é um pouco maior, ficando na faixa de ligeiro desconforto para o frio atingindo o confortável no caso de tempo encoberto. Em relação aos índices, os valores TE, TE_v , TEF e TEP* não destoam muito uns dos outros, porém a TE_v se mostrou novamente maior do que a TE, o que talvez possa ser explicado pela ausência de vento na ocasião.

Na situação de temperatura máxima do mês de setembro (Tabela 5.13 Máxima) o valor de $44,2$ °C, juntamente com os parâmetros de umidade e pressão, faz com que a condição geral seja de extremo desconforto para o calor sob qualquer condição de nebulosidade, tanto em repouso quanto na prática de atividades físicas. O conforto aumenta ligeiramente com a nebulosidade, porém o desconforto é tão extremo que isso não é o suficiente para alterar o grau de estresse fisiológico.

Analisando o comportamento dos índices, vê-se que os valores da TEF destacam-se dos demais por serem muito maiores (em situação de céu claro, por exemplo, $TEF = 56,5$ °C), algo que poderia tornar sua análise pelo público em geral falha ou ineficiente. Esse alto valor pode ser explicado por a TEF ser fortemente influenciada pelo vento e a temperatura (Pezzoli et al. 2011), que neste caso se sobressai ao primeiro devido ao seu valor extremo.

A TEP* apresenta-se maior do que TE_v e TE, destoando um pouco destes, enquanto TE_v tem valor mais alto que TE, assim como observado na situação

de máxima do mês de agosto, mesmo com um valor considerável de velocidade do vento ($v = 1,6$ m/s). Isso leva a crer que este índice trabalha a ação do vento de maneira diferente no caso de temperaturas muito altas, indicando que aquele não é suficientemente capaz de diminuir o desconforto causado por este.

Por fim, a situação de mínima do mês de setembro (Tabela 5.13 Mínima) apresenta, no geral, desconforto para o frio de forte a extremo. O conforto aumenta com a nebulosidade, mas não o suficiente para alterar o grau de estresse fisiológico. No caso de prática de atividade física, o desconforto para frio oscila entre extremo, forte e moderado, a depender da nebulosidade.

Quanto ao comportamento dos índices, foi identificado o mesmo ocorrido na situação mínima de julho, o valor da TE destoa dos demais índices e é bem próximo ao da temperatura do ar ($T_{ar} = 11,6$ °C; $TE = 11,5$ °C), fato que leva a crer que TE não representa bem a sensação térmica em uma situação de baixa temperatura e vento atuante.

Tabela 5.11 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v, TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as temperaturas máxima e mínima do mês de julho ao longo do período 2003 à 2011.

Julho - Temperatura Máxima					
Céu Claro					
Situação Máxima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	27,8	27,9	40	3,5	31,4
Estresse Fisiológico	LEC	LEC	FEC	EEC	-
Atividade	-	-	40,4	4,1	27,0
Estresse Fisiológico	-	-	FEC	EEC	-

Julho - Temperatura Mínima					
Céu Claro					
Situação Mínima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
	5,0	11,8	5,3	-3	2,9
	EEF	EEF	FEF	FEF	-
	-	-	1,6	-2,1	-7,9
	-	-	EEF	EMF	-

Parcialmente Nublado					
Situação Máxima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	27,8	27,9	38,4	3,2	30,2
Estresse Fisiológico	LEC	LEC	FEC	FEC	-
Atividade	-	-	38,6	3,8	25,4
Estresse Fisiológico	-	-	FEC	EEC	-

Parcialmente Nublado					
Situação Mínima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
	5,0	11,8	5,6	-3	3,3
	EEF	EEF	FEF	FEF	-
	-	-	1,9	-2,0	-7,4
	-	-	EEF	EMF	-

Nublado					
Situação Máxima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	27,8	27,9	38,7	3,3	30,4
Estresse Fisiológico	LEC	LEC	FEC	FEC	-
Atividade	-	-	38,9	4,8	22,2
Estresse Fisiológico	-	-	FEC	EEC	-

Nublado					
Situação Mínima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
	5,0	11,8	6,9	-2,4	5,2
	EEF	EEF	FEF	EMF	-
	-	-	3,3	-1,8	-5,4
	-	-	EEF	EMF	-

Tabela 5.12 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v, TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as temperaturas máxima e mínima do mês de agosto ao longo do período 2003 à 2011.

Agosto - Temperatura Máxima					
Céu Claro					
Situação Máxima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	33,2	31,9	44,4	4,5	33,7
Estresse Fisiológico	FEC	FEC	EEC	EEC	-
Atividade	-	-	45,4	5,0	29,7
Estresse Fisiológico	-	-	EEC	EEC	-

Agosto - Temperatura Mínima					
Céu Claro					
Situação Mínima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	15,5	13,2	9,9	-1,7	10,2
Estresse Fisiológico	FEF	FEF	EMF	EMF	-
Atividade	-	-	11,0	-0,7	1,5
Estresse Fisiológico	-	-	EMF	LEF	-

Parcialmente Nublado					
Situação Máxima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	33,2	31,9	44	4,4	33,4
Estresse Fisiológico	FEC	FEC	EEC	EEC	-
Atividade	-	-	44,9	5,0	29,3
Estresse Fisiológico	-	-	EEC	EEC	-

Parcialmente Nublado					
Situação Mínima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	15,5	13,2	10,7	-1,6	10,9
Estresse Fisiológico	FEF	FEF	EMF	EMF	-
Atividade	-	-	11,7	-0,6	2,3
Estresse Fisiológico	-	-	EMF	LEF	-

Nublado					
Situação Máxima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	33,2	31,9	45,3	4,6	34,4
Estresse Fisiológico	FEC	FEC	EEC	EEC	-
Atividade	-	-	46,4	5,2	30,6
Estresse Fisiológico	-	-	EEC	EEC	-

Nublado					
Situação Mínima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	15,5	13,2	14,4	-1,2	13,6
Estresse Fisiológico	FEF	FEF	LEF	LEF	-
Atividade	-	-	15,1	-0,2	5,5
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	CFT	-

Tabela 5.13 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE_v, TE, TEF, VMP E TEP*, e alguns de seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as temperaturas máxima e mínima do mês de setembro ao longo do período 2003 à 2011.

Setembro - Temperatura Máxima						Setembro - Temperatura Mínima					
Céu Claro						Céu Claro					
Situação Máxima						Situação Mínima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*	
Repouso	35,0	33,7	56,5	6,4	42,6	6,0	11,5	5,3	-3	3,4	
Estresse Fisiológico	EEC	EEC	EEC	EEC	-	EEF	EEF	FEF	FEF	-	
Atividade	-	-	58,5	6,8	40,9	-	-	2,1	-2,0	-7,0	
Estresse Fisiológico	-	-	EEC	EEC	-	-	-	EEF	FEF	-	
Parcialmente Nublado						Parcialmente Nublado					
Situação Máxima						Situação Mínima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*	
Repouso	35,0	33,7	53,9	6	40,9	6,0	11,5	5,6	-2,9	3,8	
Estresse Fisiológico	EEC	EEC	EEC	EEC	-	EEF	EEF	FEF	FEF	-	
Atividade	-	-	55,6	6,4	38,7	-	-	2,4	-1,9	-6,6	
Estresse Fisiológico	-	-	EEC	EEC	-	-	-	EEF	EMF	-	
Nublado						Nublado					
Situação Máxima						Situação Mínima					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*	
Repouso	35,0	33,7	53,3	5,9	40,5	6,0	11,5	7,1	-2,7	5,9	
Estresse Fisiológico	EEC	EEC	EEC	EEC	-	EEF	EEF	FEF	FEF	-	
Atividade	-	-	54,9	6,4	38,2	-	-	4,0	-1,7	-4,3	
Estresse Fisiológico	-	-	EEC	EEC	-	-	-	FEF	EMF	-	

6 ANÁLISE PROGNÓSTICA DO TEMPO APLICADA AO ESPORTE

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com as simulações do modelo WRF para o estudo de caso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro. Na primeira parte é descrita a validação do modelo, comparado aos dados de estações meteorológicas. Em seguida é tratado o estudo de caso propriamente dito, separado em seções que descrevem detalhadamente os resultados obtidos para as maratonas de 2009, 2010 e 2011. Seguindo a ordem da metodologia descrita na seção 3.3, cada uma dessas seções contém outros três subtópicos nomeados: Análise Sinótica, Simulações WRF e Avaliação do Conforto Térmico.

6.1 Validação das Simulações do WRF

Dando início a essa seção, com as discussões referentes à Maratona 2009, a Tabela 6.1 é analisada levando em consideração primeiramente a estação A. Como os índices estatísticos, para este caso, foram calculados com séries de apenas três horários, alguns deles podem não caracterizar de maneira satisfatória o comportamento de uma série em relação à outra. Os coeficientes de correlação dos quatro parâmetros meteorológicos analisados apresentaram valores não condizentes com os demais índices, sugerindo tendências diferentes daquelas indicadas pelo viés e erro quadrático médio.

Os exemplos mais claros deste comportamento são para umidade relativa e pressão. No primeiro o valor de correlação é máximo (1,00), o poderia indicar que a simulação do WRF para a UR representa muito bem a situação real. O viés segue praticamente a mesma tendência, indicando pequena subestimativa do modelo, porém o alto erro quadrático médio (6,97) põe em dúvida as demais constatações, já que sugere que há algum, ou alguns, erro de grande amplitude.

Tabela 6.1 - Valores dos coeficientes de correlação, viés e erro médio quadrático para comparações entre a simulação do WRF (resolução 1km, 18hs de integração) e as observações nas estações A e B, referentes ao dia 28/06/2009 para temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (V) e pressão ao nível da estação (P).

Estação	Correlação		Viés		EQM	
	A	B	A	B	A	B
T	0,99	0,65	-0,92	-0,47	1,21	1,69
UR	1,00	0,54	-0,99	2,42	6,97	9,78
V	1,00	0,53	5,03	3,21	5,31	4,23
P	0,17	0,49	1,45	0,48	1,91	1,26

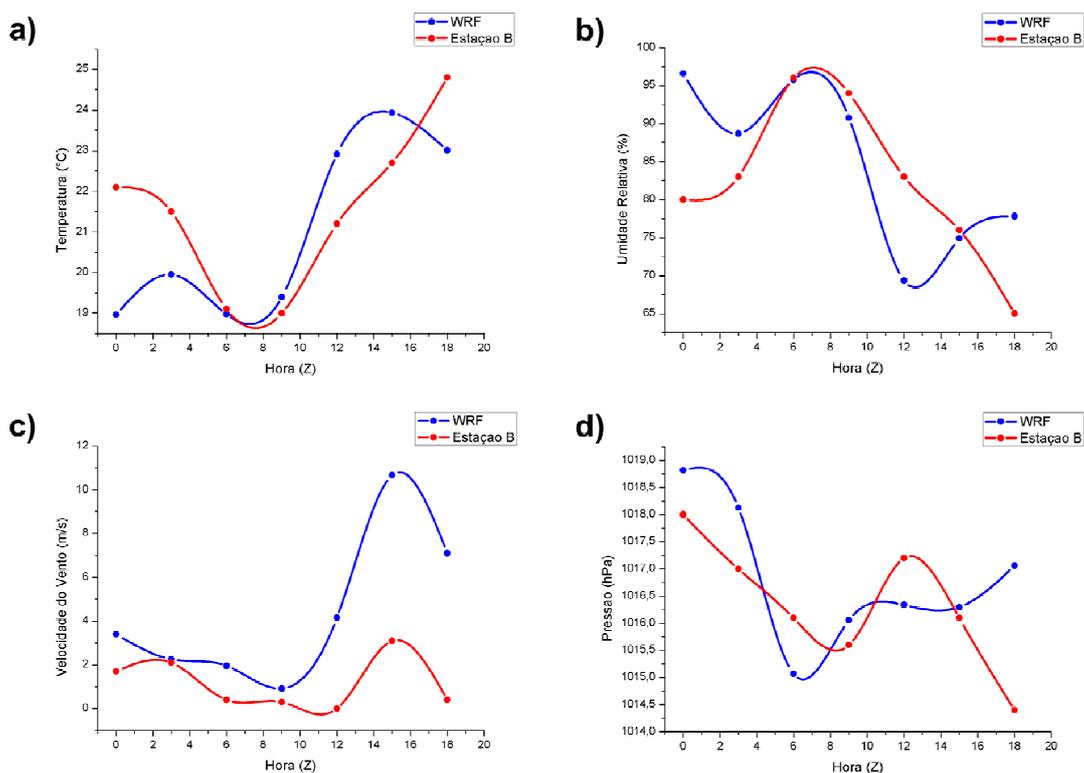


Figura 6.1 - Gráficos comparativos da simulação do WRF (resolução 1km, 18hs de integração) com os dados observados da Estação B, referentes ao dia 28/06/2009 para: **(a)** temperatura do ar, em °C; **(b)** umidade relativa do ar, em %; **(c)** velocidade do vento, em m/s; **(d)** pressão atmosférica ao nível da estação, em hPa.

No caso da pressão a correlação obtida é classificada como baixa, porém os valores do viés e erro quadrático médio indicam, respectivamente, que a simulação neste caso superestima razoavelmente o real e seu desvio é baixa amplitude. Portanto, é possível inferir que a simulação da UR tem comportamento semelhante ao observado, mesmo com o valor da correlação indicando o oposto. Este fato, somado com o já constatado no caso da pressão, mostram o coeficiente de correlação como uma ferramenta de análise duvidosa para as comparações da estação A, sendo mais eficiente dar peso maior as tendências indicadas pelo viés e erro quadrático médio.

Ainda em relação às comparações da estação A, é possível identificar que as simulações do WRF para temperatura teve bom desempenho em relação ao observado, devido aos baixos valores do viés, que indica tendência a subestimativa, e erro quadrático médio. Já no caso da velocidade do vento, a simulação esteve bem distante da situação real, uma vez que o viés e o erro quadrático médio sugerem grande superestimativa, com alto desvio em relação ao observado.

No que diz respeito às simulações do WRF para a estação B, a temperatura foi, de modo geral, bem representada, apesar da subestimativa do modelo no período da noite/madrugada e a leve superestimativa no período diurno, como mostra a Figura 6.1a. Os valores dos índices estatísticos (Tabela 6.1) reforçam tal afirmação, apresentando alta correlação, baixo viés, que ainda aponta uma tendência geral à subestimativa do modelo, e baixo erro quadrático médio, indicando a pouca amplitude da diferença entre as simulações de T do WRF e o observado.

Na representação da umidade relativa a simulação foi relativamente falha, como pode ser observado na Figura 6.1b, principalmente pelas grandes amplitudes da superestimativa do período da noite (00Z) e da subestimativa do período da tarde (12Z). Tal constatação está expressa no alto erro médio quadrático apresentado na Tabela 6.1, mas como são apenas alguns pontos em uma série de dados curta a simulação da UR ainda pode ser considerada representativa. O viés, de valor aceitável de pouco mais de 2% de desvio

positivo, e a correlação classificada com moderada asseguram a representatividade do WRF neste caso.

A simulação do WRF para a velocidade do vento apresentou comportamento bem similar ao observado nas primeiras horas de integração. No entanto, a partir das 11Z, a simulação superestima fortemente a condição real do vento, mesmo ambos apresentando a mesma tendência. Devido a boa simulação das primeiras horas, os índices estatísticos da Tabela 6.1 permitem classificar a simulação do vento como regular, uma vez que a correlação é moderada e tanto o viés quanto o erro médio quadrático são razoavelmente altos, sendo o primeiro positivo pelo padrão de superestimativa observado.

Por fim, o gráfico comparativo da simulação e os dados observados da pressão (Figura 6.1d) mostra a oscilação de uma em relação a outra, porém com pontos bem próximos e apenas um caso de maior desvio. Na Tabela 6.1 o valor positivo do viés indica uma tendência de superestimativa da simulação em relação ao real e seu baixo valor, assim como o do erro médio quadrático, garantem que a simulação teve um bom desempenho para esta variável. A correlação, classificada como moderada, talvez tivesse um valor mais favorável caso as séries seguissem uma mesma tendência.

Seguindo para as discussões a cerca da Maratona 2010, ao analisar a Tabela 6.2 para a estação A, vê-se que as simulações do WRF para temperatura e pressão podem ser consideradas representativas da situação real. O viés indica subestimativa de baixo valor, principalmente no caso de T, e o erro quadrático médio um pequeno desvio da simulação em relação ao observado. Além disso, para o caso de T, a correlação se mostrou bem condizente com a tendência dos demais índices, sendo classificada como alta. Para a pressão o a correlação apresentou um valor relativamente alto, quando relacionado ao seu respectivo viés, de valor não tão baixo.

Tabela 6.2 - Valores dos coeficientes de correlação, viés e erro médio quadrático para comparações entre a simulação do WRF (resolução 1km, 18hs de integração) e as observações nas estações A e B, referentes ao dia 18/07/2010 para temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (V) e pressão ao nível da estação (P).

Estação	Correlação		Viés		EQM	
	A	B	A	B	A	B
T	0,73	0,76	-0,31	0,84	1,31	1,22
UR	0,70	0,82	-0,14	-1,65	9,61	6,17
V	0,99	0,34	7,02	6,90	7,15	7,10
P	0,95	0,75	-1,41	1,05	1,57	1,36

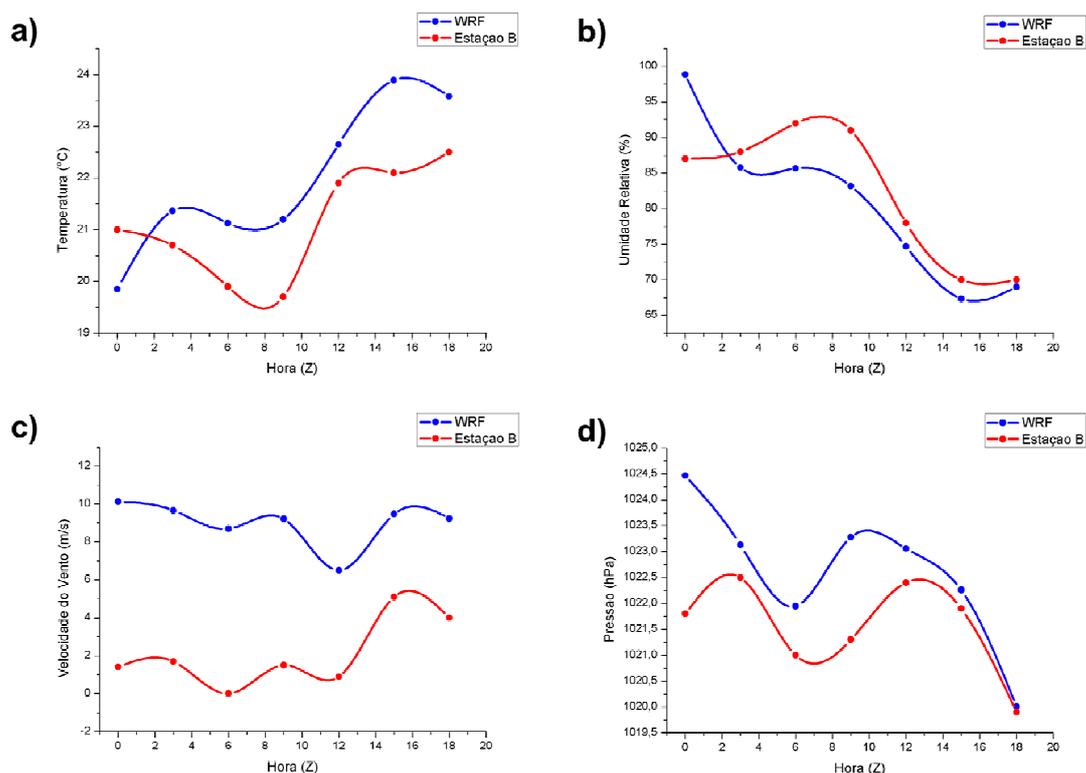


Figura 6.2 - Gráficos comparativos da simulação do WRF (resolução 1km, 18hs de integração) com os dados observados da Estação B, referentes ao dia 18/07/2010 para: **(a)** temperatura do ar, em °C; **(b)** umidade relativa do ar, em %; **(c)** velocidade do vento, em m/s; **(d)** pressão atmosférica ao nível da estação, em hPa.

Para a umidade relativa, o baixíssimo valor negativo do viés e a alta correlação levariam a crer que a simulação da UR representa de maneira altamente satisfatória o observado. Porém o alto erro quadrático médio põe em dúvida sua confiabilidade, indicando algum erro pontual de grande amplitude na série em questão.

No caso da velocidade do vento a simulação do WRF se mostrou muito falha quando comparada ao observado. Os altos valores do viés e erro quadrático médio, ambos acima de 7, indicaram grande superestimativa e alto desvio do simulado em relação ao observado. A análise da correlação foi alta, apresentando valor de 0,99, mesmo com os altos valores dos demais índices.

Para as comparações a cerca da estação B (Figura 6.2a) observou-se claramente que a simulação do WRF para a temperatura superestima o observado, exceto o primeiro horário, que apresenta padrão inverso. O valor positivo do viés, conforme mostra a Tabela 6.2, confirma tal constatação e ainda destaca o fato do desvio entre simulação e observação ser pequeno, algo também mostrado pelo baixo valor do erro médio quadrático. A correlação, denominada alta, é justificada tanto pela baixa diferença entre as séries quanto pela tendência semelhante que elas apresentam, mesmo a simulação tendo variação mais suave. Tais constatações permitem inferir que a simulação da temperatura representa satisfatoriamente os dados observados.

No caso da umidade relativa, a Figura 6.2b mostra que a simulação superestima fortemente o observado no primeiro horário, mas que acompanha muito bem a UR ao longo dia, mesmo subestimando a situação real. Tal comportamento está refletido nos índices da Tabela 6.2, com um viés razoavelmente baixo e negativo e uma alta correlação. No entanto, o erro quadrático médio é alto, o que mostra que apesar da simulação da UR ser, no geral, bem representativa há alguns desvios grandes que a comprometem, como é observado as 00 e 09Z.

Quando analisada a Figura 6.2c é evidente que a simulação do WRF para a velocidade do vento não representou bem os dados observados, superestimando-os muito. Mesmo havendo certa semelhança na tendência das

curvas, a diferença entre elas é muito grande para isto se tornar um ponto a favor da simulação. Os índices estatísticos da Tabela 6.1 confirmam a não representatividade do modelo, com baixa correlação e altíssimos valores de viés, positivo, e erro quadrático médio. Entretanto, apesar da superestimativa o viés é praticamente constante, evidenciando a possibilidade do uso de sua remoção, melhorando assim a representatividade da simulação.

Finalizando a discussão das simulações da Maratona 2010, a pressão atmosférica se mostrou bem representada pela simulação do modelo. Na Figura 6.2d, observa-se que o WRF superestima as observações ao longo de todos os horários, porém a diferença diminui com o tempo, sendo grande no começo e muito pequena no final, com as curvas seguindo a mesma tendência. Os valores da Tabela 6.1 favorecem a boa representatividade da simulação de P, indicando alta correlação e baixos valores de viés, positivo, e erro quadrático médio, que indica a variação de pouca amplitude entre simulação e observado.

As últimas discussões a respeito das comparações entre o WRF e os dados observados se dão para a Maratona 2011. Primeiramente, ao analisar a Tabela 6.3 levando em consideração a estação A, são notados os baixos valores de viés para temperatura e pressão, que indicam a pouca subestimativa em relação ao real. O erro quadrático médio, no caso de P, é baixo enquanto que para T seu valor se mostra razoavelmente alto, o que sugere uma maior amplitude na diferença entre a simulação e o observado, talvez de maneira pontual. As altas correlações associadas a esses dois parâmetros, de valores que podem ser levados em consideração por seguirem a mesma tendência avaliada nos outros dois índices, permitem constatar o desempenho satisfatório das simulações de T e P.

A simulação do WRF para umidade relativa teve comportamento muito distante do observado, fato confirmado pelos três índices estatísticos da Tabela 6.3. O viés indicou forte subestimativa da simulação em relação ao real, o altíssimo erro quadrático médio sugere a grande amplitude dos desvios entre as séries, e a correlação baixa, perfeitamente coerente com os demais, aponta por fim a baixa representatividade da simulação de UR.

Tabela 6.3 - Valores dos coeficientes de correlação, viés e erro médio quadrático para comparações entre a simulação do WRF (resolução 1km, 18hs de integração) e as observações nas estações A e B, referentes ao dia 17/07/2011 para temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (V) e pressão ao nível da estação (P).

Estação	Correlação		Viés		EMQ	
	A	B	A	B	A	B
T	0,77	0,93	-1,03	-0,31	2,58	1,32
UR	0,14	0,62	-7,73	-4,41	15,99	11,44
V	-	0,33	5,40	2,72	3,47	2,90
P	0,78	0,90	-1,42	1,34	1,02	1,44

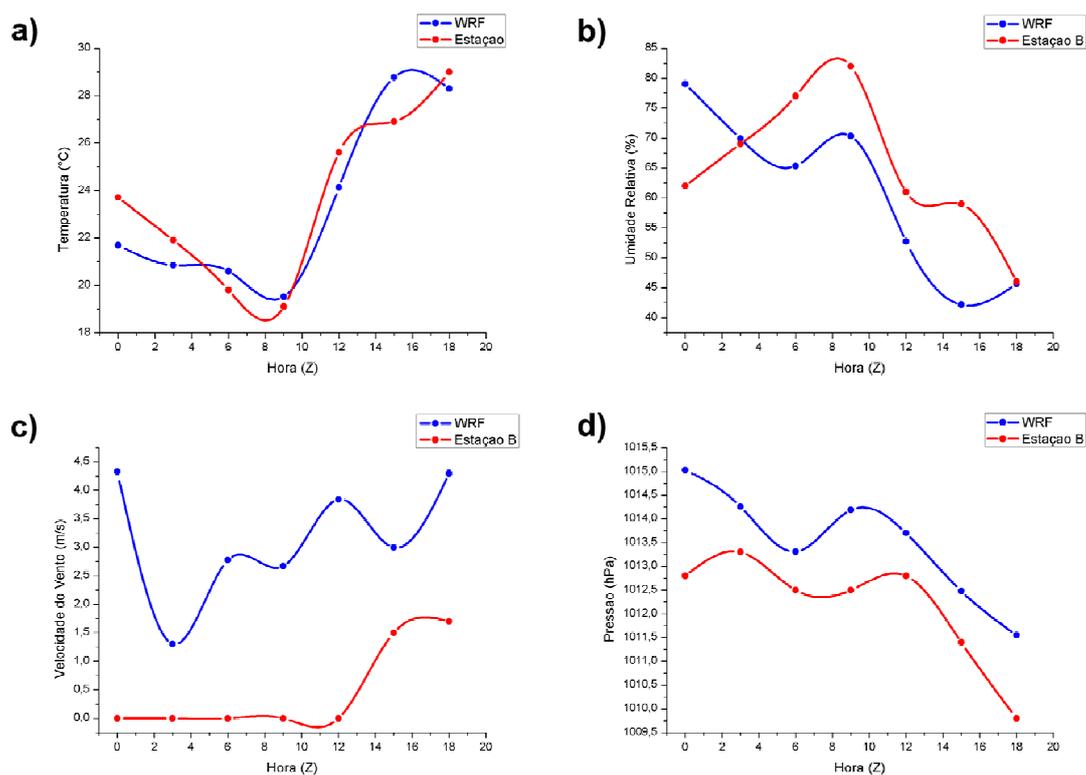


Figura 6.3 - Gráficos comparativos da simulação do WRF (resolução 1km, 18hs de integração) com os dados observados da Estação B, referentes ao dia 17/07/2011 para: **(a)** temperatura do ar, em °C; **(b)** umidade relativa do ar, em %; **(c)** velocidade do vento, em m/s; **(d)** pressão atmosférica ao nível da estação, em hPa.

Para o caso da velocidade do vento a alta superestimativa da simulação em relação ao observado persiste, conforme já observado na análise das demais maratonas. O alto valor do viés constata tal afirmação, enquanto o razoável erro quadrático médio, de menor magnitude que o viés, mostra que a amplitude do desvio entre a simulação e o observado não é tão grande. Não foi possível calcular o valor da correlação, pois a série dos dados observados era composta totalmente por velocidade do vento nula, resultando em uma variância nula para a série, o que, segundo a equação 3.1, implica em uma divisão por zero e a consequente inexistência do valor da correlação.

Seguindo para as análises a cerca da estação B (Figura 6.3a), nota-se que a simulação do WRF para a temperatura acompanha muito bem o observado. A tendência das duas curvas é muito similar, ficando clara apenas a subestimativa do modelo nos primeiros horários, no restante do período é difícil identificar um padrão. Os índices estatísticos da Tabela 6.3 confirmam a boa representatividade das simulações, apontando alta correlação, um baixo viés, indicando pequena tendência à subestimativa, e também baixo erro quadrático médio.

A simulação da umidade relativa se mostrou ainda mais falha em relação ao observado na estação B do que nas demais maratonas. Na Figura 6.3b observa-se grandes desvios, alta superestimativa da simulação no primeiro horário, seguido por um padrão de subestimativa que pouco acompanha a tendência dos dados observados. Esta representatividade falha da UR está claramente representada na Tabela 6.3, marcada por baixa correlação, alto valor negativo de viés, indicando forte a subestimativa constatada, e o altíssimo erro quadrático médio, confirmando os grandes desvios da simulação em relação aos dados observados.

Para a velocidade do vento, a Figura 6.3c é marcada pela baixa representatividade das simulações do WRF, com significativa superestimativa, principalmente no primeiro horário, e sem semelhança na tendência das curvas. Este comportamento está refletido principalmente no valor da correlação (Tabela 6.3), que se mostra no limiar entre baixa e moderada, já os demais índices amenizam um pouco a diferença que na figura parece tão

intensa. O viés tem um valor positivo, marcando a tendência à superestimativa, assim como o erro quadrático médio, indicando que a diferença entre as séries não é de fato exagerado. Se comparado às simulações do vento nas demais maratonas analisadas, no caso particular da estação B, este foi o que mostrou menor amplitude do erro.

Por fim, a comparação entre a simulação do WRF e os dados observados da pressão atmosférica mostra que a primeira representa satisfatoriamente a segunda. A Figura 6.3d apresenta tal comparação, onde é possível notar a leve, porém constante, superestimativa por parte do modelo, principalmente na parte da manhã, além das curvas seguirem tendências muito semelhantes. Na Tabela 6.3 os índices para as comparações de P tem valores que favorecem esse padrão observado, com alta correlação e baixos valores de erro quadrático médio e viés, que por sua vez evidencia a tendência a superestimativa por seu valor positivo.

6.2 Maratona 2009

6.2.1 Análise Sinótica

A análise do campo de altos níveis para as 12Z do dia 28 de junho de 2009 (Figura 6.4a) mostra um cavado amplificado sobre o sudeste do Brasil, cujo eixo se estende desde o centro-norte de MG até a divisa entre SP e RJ. No dia anterior, segundo o boletim técnico do GPT-CPTEC/INPE, tal cavado encontrava-se mais deslocado para esquerda, se estendendo desde a região Centro-Oeste até o Sudeste, o que causou chuvas significativas em algumas localidades nessa área. O Jato Subtropical atua na vanguarda do cavado e, neste horário, contribuiu para o aumento da nebulosidade e riscos de trovoadas isoladas entre o norte do RJ, leste de MG, ES e Sul da BA.

Nos níveis médios (Figura 6.4b) o cavado observado em altitude ainda é perceptível, porém de maneira bem menos amplificada. Ainda assim essa condição favorece a ocorrência de pancadas de chuva entre o centro-norte do RJ, leste de MG e ES.

Em superfície (Figura 6.4c), o sistema frontal estacionário sobre o atlântico, que se encontrava afastado do continente na altura do ES às 00Z, não se encontra mais nos domínios da carta em questão. É apenas observado o amplo anticiclone pós-frontal associado a ele, que se estende desde a costa da Argentina até a costa da região sudeste do Brasil. O RJ não se encontra sob total atuação desse anticiclone, pois é verificada uma baixa relativa, de 1020 hPa, atuando sobre o centro-sul do estado, o que inclui a capital., centrada em aproximadamente -23°S e -43°W . Esse núcleo de baixa pressão é reflexo do cavado em altitude que, por advecção de vorticidade negativa, induz convergência a leste nos baixos níveis, resultando em uma área de baixa pressão em superfície. Tal convergência foi a causa da nebulosidade e possível precipitação na região.

A imagem de satélite das 12Z (Figura 6.4d) mostra nebulosidade concentrada entre o RJ, ES e centro-leste de MG, como indicado pela análise das cartas sinóticas. A temperatura realçada e textura da imagem sugerem a presença de nuvens média e baixas nessa região, indicando possibilidade de precipitação estratiforme em algumas localidades, incluindo a cidade do Rio de Janeiro.

O METAR do aeródromo Santos Dummont (SBRJ), na capital fluminense, registrou às 03Z deste dia a ocorrência de tempestade. Na hora seguinte, tanto o SBRJ quanto o SBGL (aeródromo do Galeão, a cerca de 18 km de distância do SBRJ) registraram chuva leve. A partir daí nenhuma outra ocorrência de precipitação foi registrada pelo METAR ao longo do dia 28/06, tanto no SBRJ quanto no SBGL.

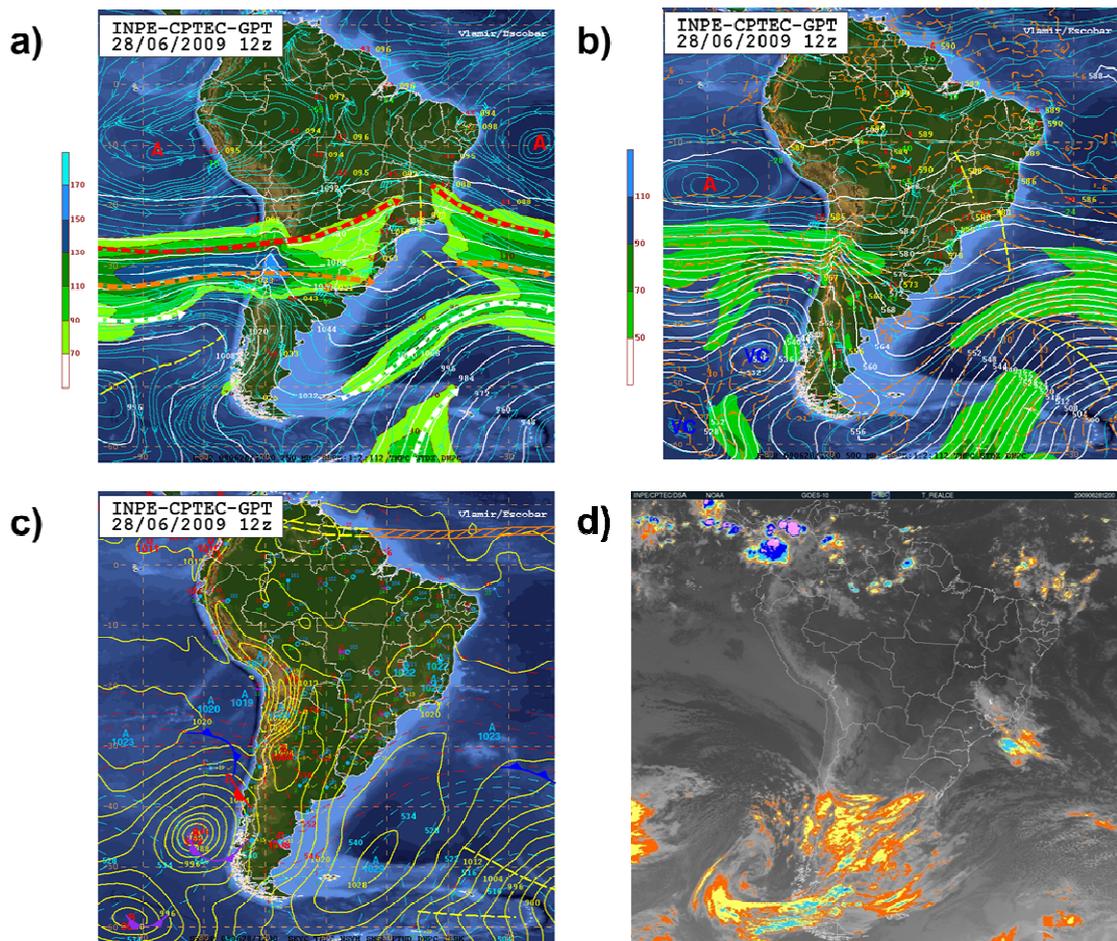


Figura 6.4 - Cartas Sinóticas referentes às 12Z do dia 28/06/2009 em **(a)** altos níveis (250 hPa); **(b)** níveis médios (500 hPa); **(c)** superfície; e **(d)** a imagem no canal do infravermelho do satélite GOES 10 realçada para temperatura do topo de nuvens.

6.2.2 Simulações WRF

Ao analisar, de maneira geral, as simulações dispostas nas Figuras 6.5, o primeiro padrão notado é a aparente suavização das variáveis com 60h de antecedência, principalmente para temperatura, umidade relativa e vento. No caso de T (Figura 6.5a) o comportamento em 60h apresenta-se subestimado quando comparado aos tempos seguintes, enquanto que para UR (Figura 6.5b) o oposto acontece. A primeira simulação de V também apresenta aparente subestimativa, além de importantes mudanças na circulação. Tais ocorrências podem ser devido à resolução do modelo que não resolve bem o contraste entre oceano e continente com mais de 36h de antecedência, uma vez que as

diferenças são mais acentuadas na região costeira do continente, especialmente para UR e T.

A mudança no comportamento do vento esta fortemente ligada com a variação nos campos de pressão. Avaliando estas simulações (Figura 6.5c 60h), observa-se que 60h antes o modelo não deu indícios da baixa relativa observada na carta sinótica de superfície (Figura 6.4c), uma vez que o campo é homogêneo em cerca de 1023 hPa. Ao associar este fato ao observado na equivalente simulação do vento (Figura 6.5d 60h), que apresenta giro com característica anticiclônica, é possível inferir que a condição sinótica representada pelo WRF com 60 horas de antecedência seria de uma alta pós-frontal, associada à frente estacionária que passou pelo oceano próximo ao RJ e ES, conforme reportado pelo boletim técnico do GPT-INPE de 28/06/09. Sendo assim o cavado presente em altitude (Figuras 6.4a e 6.4b) pode não ter sido simulado pelo modelo ou então não se mostrava tão intenso a ponto de induzir uma baixa pressão em superfície.

Com base nas simulações de 60h de antecedência seria indicado que a condição de tempo em 28 de junho de 2009 às 12Z (09h local) para a cidade do Rio de Janeiro seria de pouca condição de nebulosidade, sem chuva, com ventos fracos, temperatura amena, em torno de 20°C, e alta umidade relativa, variando entre 80% e 90%.

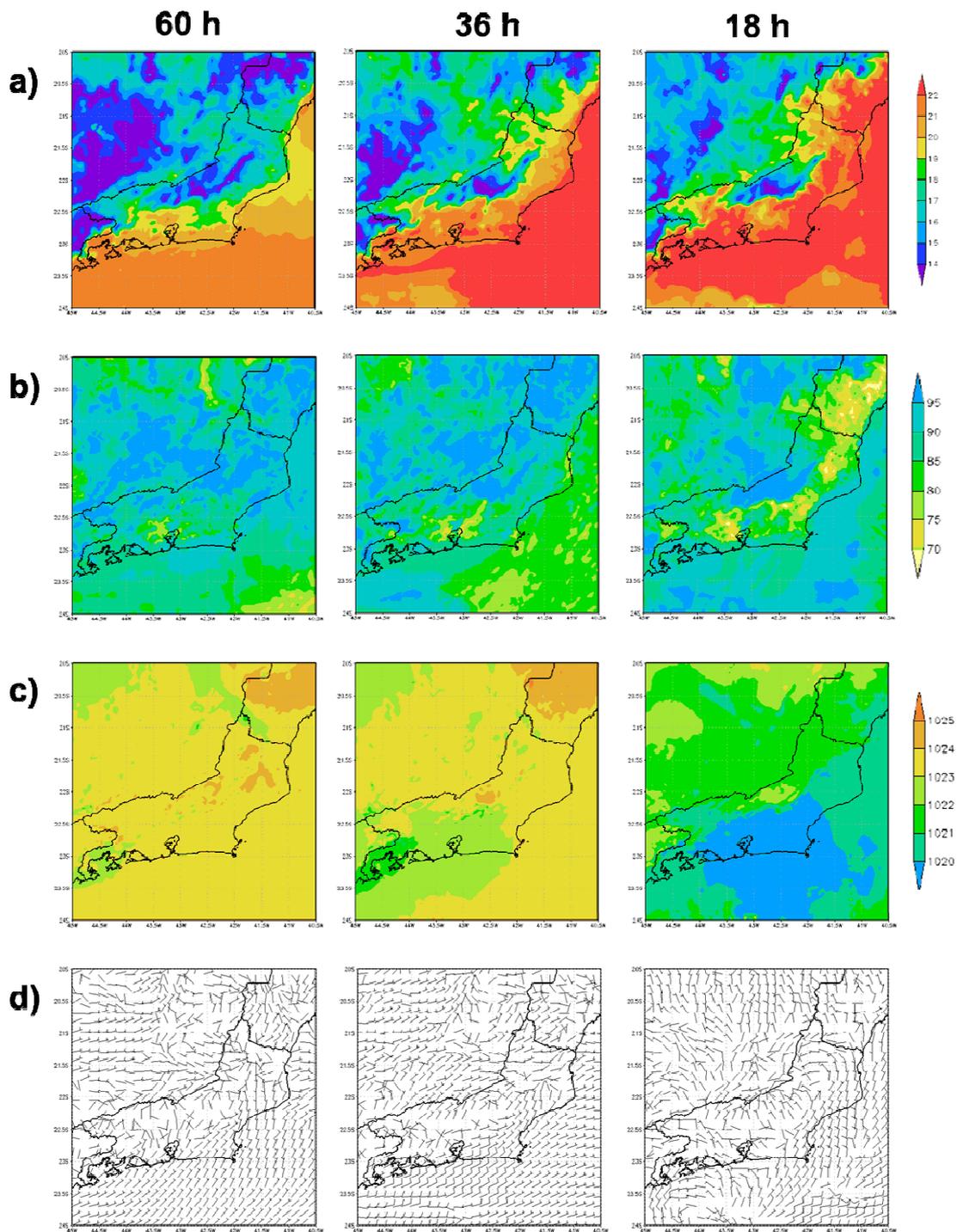


Figura 6.5 - Simulações do modelo WRF para o dia 28/06/09 às 12Z, na resolução de 3km com 60, 36 e 18 horas de integração para **(a)** temperatura do ar à 2 m, em °C; **(b)** umidade relativa do ar à 2 m; **(c)** pressão reduzida ao nível do mar, em hPa e **(d)** velocidade do vento à 10 m, em m/s.

Na simulação seguinte, o campo de pressão (Figura 6.5c 36h) já apresenta uma queda relativa na pressão, de característica semelhante, porém mais a oeste, do efetivamente observado. Mesmo sutil, por ainda não se apresentar fechada e com cerca de 1022 hPa, já sugere que o modelo identificou a perturbação do cavado em altitude, mas não tão amplificado como de fato ocorreu. Isto está refletido no campo do vento de 36h de antecedência (Figura 6.5d 48h), que mostra a intensificação dos ventos em direção à área de baixa pressão, indicando a convergência nela. A mudança no campo de temperatura na simulação equivalente (Figura 6.5a 36h) também pode ser relacionada com o surgimento desta área de baixa pressão, já que é notada uma intrusão de ar mais quente que segue a circulação anticiclônica, ainda dominante, em direção à baixa.

Portanto, com base nos campos de 36h de antecedência, a condição de tempo na cidade do RJ seria atualizada em relação à simulação anterior, sugerindo ocorrência de céu encoberto, possibilidade de precipitação, ventos mais intensos principalmente em áreas próximas ao mar, ligeiro aumento de temperatura, atingindo cerca de 22°C, e umidade relativa ainda entre 80 e 90%.

Por fim, o campo de pressão com o menor tempo de integração (Figura 6.5c 18h) mostra a eficiente representação da área de baixa pressão que de fato ocorreu naquele dia, com localização muito próxima àquela determinada na observação da carta sinótica (Figura 6.4c) e também com centro de 1020 hPa. De acordo com a Figura 6.5d 18h, as áreas de ventos mais fortes aparecem na periferia da baixa, concentrando-se no oceano e na costa norte do RJ. Além disso, o comportamento irregular do vento na região centro-sul do estado sugere, quando olhado com maior atenção, movimento convergente. A simulação de 18h para a temperatura (Figura 6.5a 18h) mostra temperaturas um pouco mais elevadas e estabelecidas em relação ao prognóstico anterior, ainda provenientes do processo de advecção quente.

Portanto, de acordo com as simulações de 18h de antecedência para às 12Z do referido dia, a condição de tempo para a cidade do RJ se manteria como indicado na simulação anterior, alta umidade relativa, com céu encoberto e possibilidade de chuva devido a uma área de baixa relativa em superfície,

agora bem representada. As condições de vento e temperatura seriam atualizadas, com o primeiro se apresentando com menor intensidade ao longo da costa da cidade, exceto por ventos de noroeste que cortam o município, e a segunda sendo pouco mais elevada, podendo atingir 22°C.

Como a análise das condições sinóticas dos prognósticos já foi feita com base nas rodadas de 3 km, indicando as condições de tempo esperadas de acordo com cada uma delas, para os campos de 1 km são discutidas características detalhadas do comportamento das variáveis, verificando principalmente a influência da topografia.

Na Figura 6.6a observa-se nas simulações três picos de mínima temperatura, dois no município do RJ e um a norte dele. Estes são referentes aos três maciços que fazem parte da topografia da região, como pode ser visto na Figura 3.6, já que, por definição, a temperatura diminui com a altura. A umidade também se mostra influenciada por essas elevações, uma vez que são identificados na Figura 6.6b máximos nas proximidades dos maciços. As causas mais prováveis para isso são a maior presença de vegetação nessas áreas e também o levantamento de ar úmido, principalmente nos maciços que faceiam o mar, conforme já observado por Dereczynski et al.(2011). Por isso, vê-se que o WRF trabalha bem a influência da topografia nos prognósticos de temperatura e umidade relativa.

Como já verificado na análise da Figura 6.6d, a mudança no comportamento do vento nas simulações de diferentes tempos de integração se deu pela mudança na situação sinótica, com o surgimento e intensificação de uma área de baixa pressão que de fato atingiu o centro-sul do estado do RJ. Portanto, os campos de vento observados na Figura 6.6c apresentam o mesmo padrão observado, como já esperado, mas com um detalhamento maior da ação do vento na cidade, como o desvio da direção devido aos maciços e sua intensificação na área de planície, como observado entre a baía de Sepetiba e o maciço da Pedra Branca.

Percebe-se no geral que, quanto mais próximo o tempo de integração da ocorrência, mais heterogênea é a distribuição dos campos. Nas primeiras

simulações de T e UR, a suavização já identificada na análise das rodadas de 3 km reflete em campos mais homogêneos das variáveis. Sendo assim, para este caso, as simulações de menor tempo de integração podem melhorar a representatividade das variáveis em uma área limitada e características de relevo e terreno como a estudada.

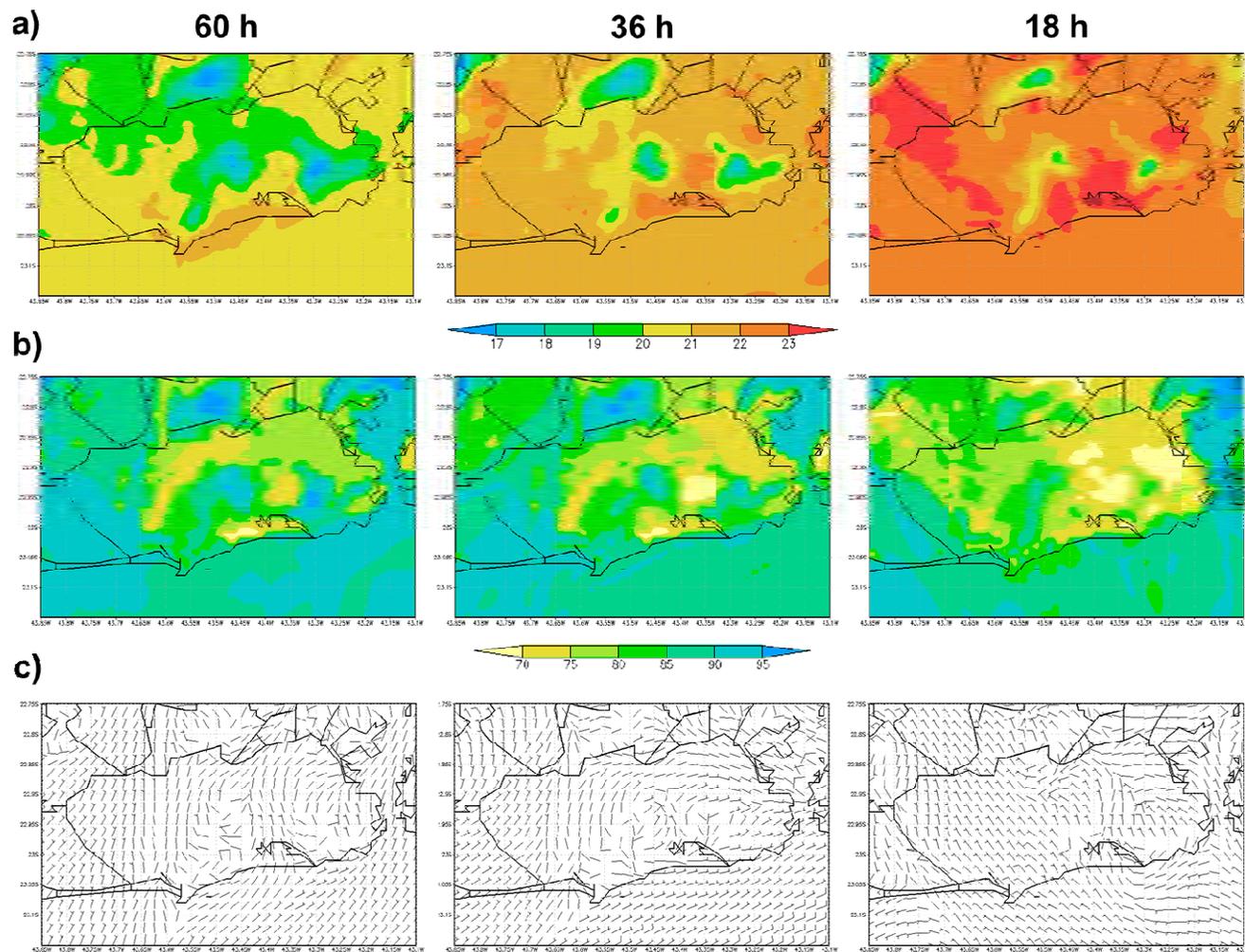


Figura 6.6 - Simulações do modelo WRF para o dia 28/06/09 às 12Z, na resolução de 1km com 60, 36 e 18 horas de integração para **(a)** temperatura do ar à 2 m, em °C; **(b)** umidade relativa do ar à 2 m e **(c)** velocidade do vento à 10 m, em m/s

6.2.3 Avaliação do Conforto Térmico

A avaliação do conforto térmico exibida ao longo desta seção consiste em apresentar os índices calculados, além de seus respectivos graus de estresse fisiológico, classificados de acordo com a Tabela 3.3, para o dia da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro de 2009. Os cálculos foram feitos com valores extraídos das simulações do WRF do dia 28 de junho de 2009, de quatro pontos específicos ao longo do percurso, conforme mostra a Figura 3.6, para três horários de interesse a prova: 09Z (06h local), 12Z (09h local) e 15Z (12h local).

Foi levado em consideração o comportamento dos índices já identificado na seção 5.2, principalmente a tendência da TE_v e TEP de subestimar o grau de estresse fisiológico e sensação térmica, quando comparados aos demais índices. Além disso, vale a pena ressaltar que o vento foi considerado nos cálculos dos índices sem nenhuma correção, já que os maiores desvios em relação ao observado, como foi mostrado na seção 6.1, ocorrem a partir das 12Z .

Para o primeiro horário (Tabela 6.4) a condição geral ao longo do percurso fica entre ligeiro desconforto para o frio ao confortável, sendo esta última mais facilmente atingida durante a atividade física, como mostrado pelo VMP. Notou-se ainda uma variação pequena, porém perceptível, dos parâmetros meteorológicos ao longo do percurso, sendo o vento o mais notável deles.

Ainda assim alguns dos pontos devem ser destacados, como na largada onde há uma maior tendência a desconforto para o frio, devido principalmente ao vento, uma vez que os valores de TE_v e TEP, índices fortemente influenciados por ele, são mais baixos que os demais. Já no ponto de largada da meia maratona observa-se a chance de ligeiro desconforto para o calor na prática de atividade. Outra constatação relevante é que, apesar de não haver mudança no grau de estresse fisiológicos determinado pelos índices, do ponto 2 ao 4 há leve tendência no aumento do desconforto para o frio.

A condição geral do percurso para as 12Z, como pode ser inferido da Tabela 6.5, é de confortável a leve desconforto para o frio, sendo que o ponto de largada se destaca dos demais como o mais suscetível a este último, principalmente na prática esportiva, tendo a intensidade do vento como causa. Alias esta se mostrou grande variação ao longo do percurso, diferente da temperatura que se manteve entre 22°C e pouco mais de 23°C.

Diferente do observado no ponto 1, a TE nos demais pontos indica leve desconforto para o frio, mas optou-se por desconsiderar tal classificação já que os índices fisiológicos, mais representativos principalmente para o caso de atividade física, indicam sensação de conforto à leve desconforto para o calor. Mesmo assim, se observados os índices com maior atenção, é possível identificar entre os pontos 1 e 3 uma ligeira variação positiva dos índices, principalmente para TEF, VMP e TEP, indicando tendência a um leve desconforto para o calor, porém não o suficiente para alterar o grau de estresse fisiológico. Do ponto 3 para o 4 a sensação de conforto volta a ser maior.

Já no último horário analisado, 15Z (Tabela 6.6), a grande variação dos parâmetros meteorológicos, em especial temperatura e vento, tornou inviável estipular uma condição geral de conforto ou desconforto para o percurso da maratona. Além disso, a superestimativa do vento, como já observado na seção 6.1, atrapalha um pouco a avaliação do conforto térmico, fazendo com que a análise da TE_v seja desconsiderada por diferir muito dos demais índices.

Definindo a condição ponto a ponto do percurso, tem-se que na largada predomina o leve desconforto para o calor, podendo atingir o moderado em atividade intensa. No ponto seguinte a condição fica entre confortável e ligeiro desconforto para o calor, com o primeiro prevalecendo devido à intensidade do vento. Em Ipanema a sensação varia entre o ligeiro desconforto para o frio, principalmente por causa do vento intenso, ao confortável. Por último, no ponto de chegada a condição encontrada é de conforto, podendo atingir o leve desconforto para calor.

Tabela 6.4 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE_v, TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 09Z o dia 28/06/09 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.

Ponto 1 - Largada					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
20,6 81,9 1019,1 2,3					
Nublado					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	19,8	15,2	16,0	-0,7	14,4
Estresse Fisiológico	LEF	FEF	LEF	LEF	-
Atividade	-	-	13,1	0,1	5,0
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	CFT	-

Ponto 2 - Largada Meia Maratona					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
19,9 88,6 1019,0 0,3					
Nublado					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	19,4	18,9	18,0	-0,3	16,9
Estresse Fisiológico	LEF	EMF	LEF	CFT	-
Atividade	-	-	17,6	0,6	9,3
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-

Ponto 3 - Ipanema					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
21,1 93,0 1018,9 2,0					
Nublado					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	20,8	16,5	16,8	-0,5	15,3
Estresse Fisiológico	LEF	EMF	LEF	LEF	-
Atividade	-	-	14,5	0,3	6,3
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	CFT	-

Ponto 4 - Chegada					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
19,3 92,6 1019,0 1,2					
Nublado					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	19,0	15,8	15,6	-0,8	14,3
Estresse Fisiológico	LEF	EMF	LEF	LEF	-
Atividade	-	-	13,6	0,1	5,3
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	CFT	-

Tabela 6.5 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE_v, TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 12Z o dia 28/06/09 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro

Ponto 1 - Largada					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
23,6 71,8 1019,3 7,5					
Parcialmente Nublado					
	TE	TE _v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	22,1	16,0	20,1	0,3	18,8
Estresse Fisiológico	CFT	EMF	CFT	CFT	-
Atividade	-	-	16,9	1,0	10,2
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-

Ponto 2 - Largada Meia Maratona					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
23,4 69,9 1019,3 4,8					
Parcialmente Nublado					
	TE	TE _v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	21,8	16,6	21,0	0,4	19,4
Estresse Fisiológico	LEF	EMF	CFT	CFT	-
Atividade	-	-	18,6	1,1	11,3
Estresse Fisiológico	-	-	CFT	LEC	-

Ponto 3 - Ipanema					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
22,5 86,5 1019,4 2,4					
Parcialmente Nublado					
	TE	TE _v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	21,8	17,6	22,6	0,5	20,5
Estresse Fisiológico	LEF	EMF	CFT	CFT	-
Atividade	-	-	21,3	1,3	13,0
Estresse Fisiológico	-	-	CFT	LEC	-

Ponto 4 - Chegada					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
22,2 75,8 1019,4 3,6					
Parcialmente Nublado					
	TE	TE _v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	21,1	16,0	20,5	0,2	19,0
Estresse Fisiológico	LEF	EMF	CFT	CFT	-
Atividade	-	-	18,3	1,0	10,9
Estresse Fisiológico	-	-	CFT	LEC	-

Tabela 6.6 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE_v, TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 15Z o dia 28/06/09 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.

Ponto 1 - Largada					
T (°C)					
UR (%)					
P (hPa)					
V (m/s)					
24,2					
78,3					
1019,9					
6,8					
Parcialmente Nublado					
	TE	TE _v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	23,0	17,3	23,4	0,9	21,7
Estresse Fisiológico	CFT	EMF	LEC	LEC	-
Atividade	-	-	21,2	1,6	14,3
Estresse Fisiológico	-	-	LEC	EMC	-

Ponto 2 - Largada Meia Maratona					
T (°C)					
UR (%)					
P (hPa)					
V (m/s)					
21,9					
80,8					
1019,6					
11,1					
Parcialmente Nublado					
	TE	TE _v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	21,0	13,1	18,7	0,0	18,1
Estresse Fisiológico	LEF	FEF	CFT	CFT	-
Atividade	-	-	13,9	0,7	9,3
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-

Ponto 3 - Ipanema					
T (°C)					
UR (%)					
P (hPa)					
V (m/s)					
20,9					
92,0					
1019,5					
16,6					
Parcialmente Nublado					
	TE	TE _v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	20,5	10,8	16,7	-0,4	16,5
Estresse Fisiológico	LEF	EEF	LEF	CFT	-
Atividade	-	-	11,3	0,3	6,8
Estresse Fisiológico	-	-	EMF	CFT	-

Ponto 4 - Chegada					
T (°C)					
UR (%)					
P (hPa)					
V (m/s)					
21,7					
83,1					
1019,4					
12,6					
Parcialmente Nublado					
	TE _v	TE	TEF	VMP	TEP*
Repouso	20,9	12,6	18,1	-0,1	17,7
Estresse Fisiológico	LEF	EEF	CFT	CFT	-
Atividade	-	-	13,0	0,6	8,6
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-

De maneira a resumir o que pode ser encontrado pelo atleta ao longo do percurso, a seguir são listadas as condições de conforto térmico de acordo com a etapa e o horário em que esta provavelmente é atingida, conforme os horários de largada e duração média da prova. Desta maneira, para o início da prova leva-se em consideração a avaliação ponto 1 das 09Z, para a metade dela os pontos 2 e 4 da análise das 12Z e para o final o ponto 4 das 12Z.

- **Início:** leve desconforto para o frio, algo que pode ser benéfico para o competidor, já que não há grande desgaste devido às condições de tempo, fazendo com que ele atinja um bom ritmo de prova não comprometendo as demais etapas;
- **Metade:** situação de conforto térmico, com pequena tendência à desconforto para o calor, pouca condição para desgaste físico devido às condições de tempo
- **Final:** condição semelhante a anterior, porém com indícios de vento mais intenso na última etapa, algo que pode beneficiar o competidor que já se encontra em grande desgaste físico, abaixando sua temperatura corporal e assim ajudando-o a manter um bom desempenho até o final.

Relação condição de tempo x competição: as temperaturas amenas, que variaram de 19,3°C à 24,2°C ao longo do percurso, e o céu encoberto contribuíram para tornar as condições de competição muito boas em todas as etapas da prova.

6.3 Maratona 2010

6.3.1 Análise Sinótica

A análise do campo de altos níveis para as 12Z do dia 18 de julho de 2010 (Figura 6.7a) mostra ampla circulação anticiclônica centrada na divisa dos estados de TO, GO e MT, atingindo grande parte do centro-norte do Brasil. No centro-norte da Argentina localiza-se o centro de um vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN), ao qual nota-se intensos gradientes de vento e altura geopotencial. Além disso, as correntes de jato, composta tanto o Jato Polar

quanto o Subtropical, circundam esta área ciclônica e seguem em direção à intensa crista localizada a oeste do VCAN e com eixo direcionado ao RJ. Nesta região nota-se um largo núcleo de ventos intensos associados à circulação de jato, com uma ramificação se direciona ao sul do RJ, trazendo condições de nebulosidade e precipitação para os entornos.

Em 500 hPa (Figura 6.7b) é possível observar o aprofundamentos das duas circulações dominantes em altos níveis, com um domínio anticiclônico com centro em MG e se estendendo pelo centro-norte do país e um vórtice ciclônico de forte baroclinia entre a região centro-norte da Argentina e o Chile.

Na superfície (Figura 6.7c) verifica-se uma frente-fria estacionária no oceano atlântico, a leste da divisa do RJ e ES. A circulação pós-frontal associada a essa frente é intensa, com uma área de alta pressão na costa leste da Argentina de 1036 hPa, advectando ar úmido do oceano em direção a faixa leste entre SC e RJ e causando instabilidade de pouca intensidade, segundo reportado pelo boletim técnico do referido dia (GPT-CPTEC/INPE). O mesmo boletim alerta para a ocorrência de ventos fortes de quadrante leste ao longo do dia 18 de junho, desde o RS até o RJ, devido ao grande gradiente de pressão observado, resultado da intensa circulação de alta em contraste com o profundo e extenso cavado que se aproxima, com eixo se localizando do MT até à divisa entre RS e Uruguai.

Na imagem de satélite das 12Z (Figura 6.7d) observa-se nebulosidade estratiforme sobre todo o estado do RJ, devido ao tom cinza escuro da imagem, o que está de acordo com o constatado na análise das cartas sinóticas. Este tipo de nebulosidade, como esperado, causou chuva leve e neblina no município do Rio de Janeiro e seus arredores durante parte da madrugada e manhã do dia 18 de junho, conforme registrou o METAR do SBGL das 06 às 11Z e do SBRJ às 11Z. Nenhuma área de maior instabilidade é identificada nos arredores do RJ no referido dia.

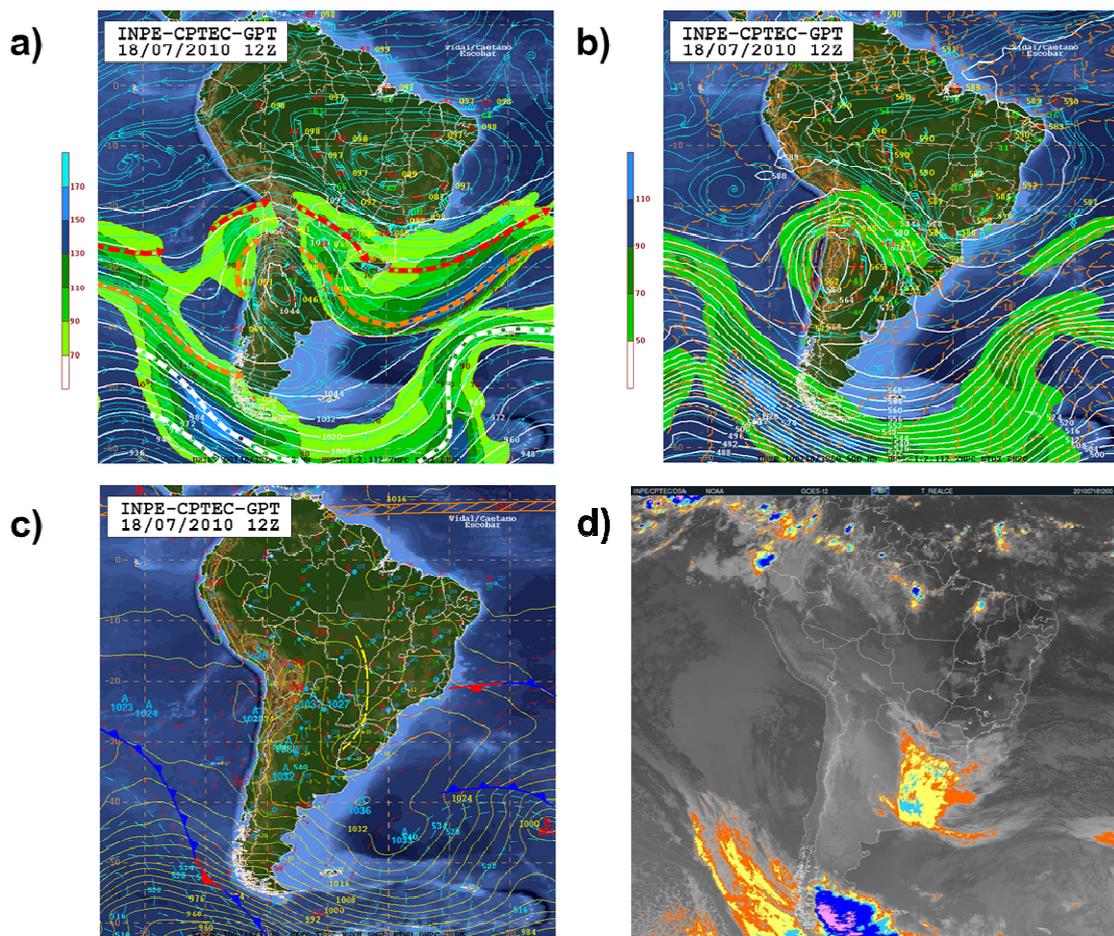


Figura 6.7 - Cartas Sinóticas referentes às 12Z do dia 18/07/2010 em **(a)** altos níveis (250 hPa); **(b)** níveis médios (500 hPa); **(c)** superfície; e **(d)** a imagem no canal do infravermelho do satélite GOES 12 realçada para temperatura do topo de nuvens.

6.3.2 Simulações WRF

De acordo com o observado na Figura 6.8, nota-se que para temperatura (Figura 6.8a) e principalmente umidade relativa (Figura 6.8b) os prognósticos de 36 e 18h apresentam maior detalhamento dos campos e melhor representação das variáveis, principalmente nas regiões serranas e costeiras, quando comparados aos de 60h de antecedência. Isto em parte pode ser relacionado ao desempenho do modelo, conforme explicitado na seção 6.2.2, porém neste caso a melhora na simulação da situação sinótica do dia, ao longo do tempo de integração, é a explicação mais provável para tal aumento de representatividade dos campos de T e UR.

A comparação das simulações de pressão (Figura 6.8c) e de vento (Figura 6.8d) ajuda a esclarecer a afirmação anterior. Na simulação de 60h de antecedência (Figura 6.8c 60h) toda a região costeira do estado do RJ está sob ação de uma faixa de 1023 hPa, com pressões mais altas tanto ao norte quanto ao sul. É notado o indicio da atuação de uma alta pós-frontal na simulação do vento (Figura 6.8d), devido ao giro anticiclônico do escoamento vindo de leste, que por sua vez está associada ao sistema frontal estacionário identificado na carta sinótica de superfície do dia (Figura 6.7c) e não localizado no domínio da figura. Esta alta ainda não se mostra tão forte como de fato ocorreu, talvez por o modelo subestimar a intensidade do cavado que se formou à oeste e/ou simular sua posição mais ao sul ou leste do que foi observado no dia, fazendo com que a característica de fortes gradiente de vento e altura geopotencial na região não ocorra na simulação de 60h de antecedência. Por outro lado, o vento mais forte adentra o continente apenas pelo setor norte do estado do RJ, mantendo o sul do estado, o que inclui a capital, sob influência de ventos de nordeste e média intensidade.

Sendo assim, com base na simulação de 60h de antecedência, seria indicado que a condição de tempo em 18 de julho de 2010 às 12Z (09h local) para a cidade do Rio de Janeiro seria de nebulosidade variável, preferencialmente estratiforme, com baixa chance de precipitação leve, além de alta umidade do ar, por volta de 90%, e temperaturas entre 21 e 22°C.

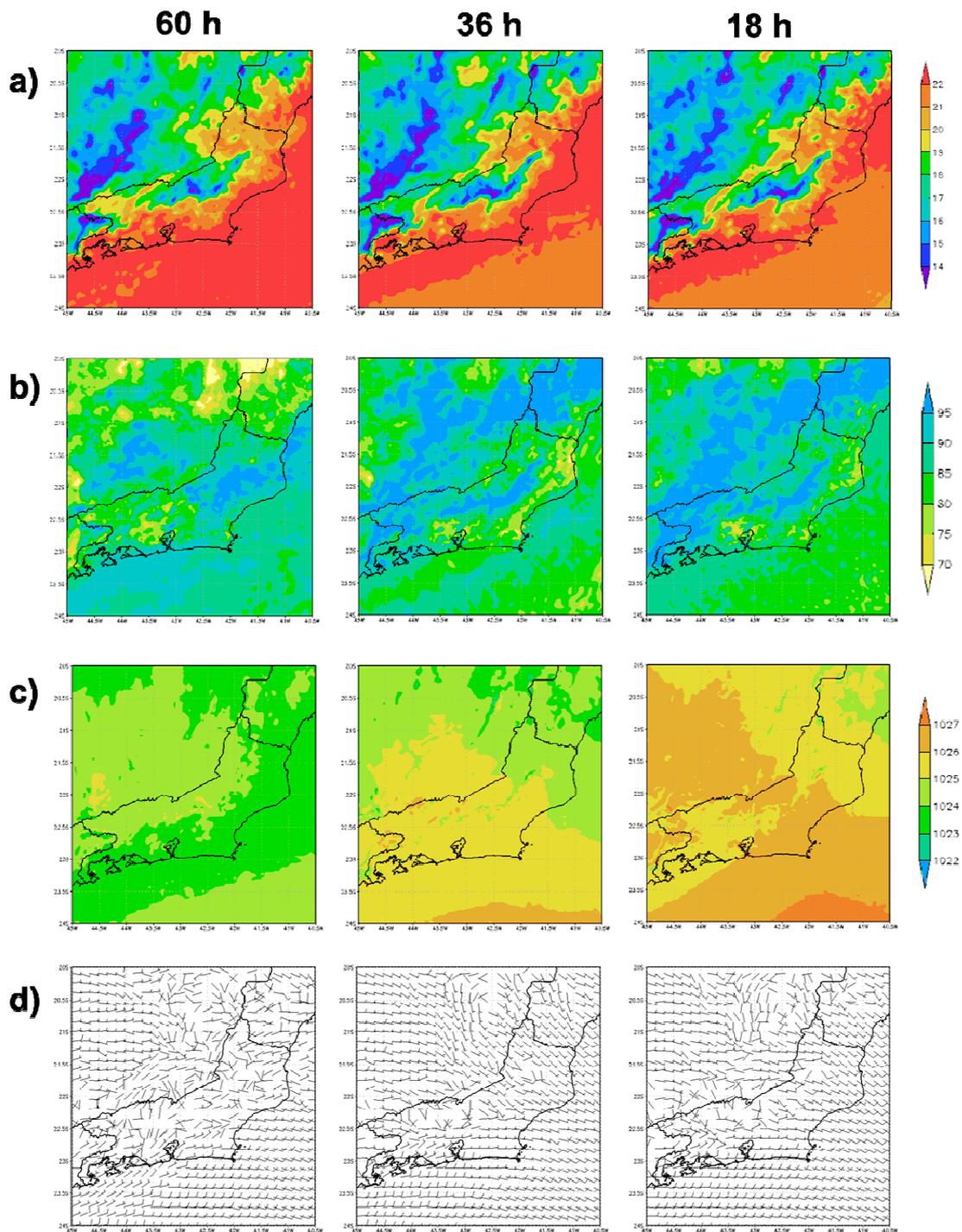


Figura 6.8 - Simulações do modelo WRF para o dia 18/07/10 às 12Z, na resolução de 3km com 60, 36 e 18 horas de integração para **(a)** temperatura do ar à 2 m, em °C; **(b)** umidade relativa do ar à 2 m; **(c)** pressão reduzida ao nível do mar, em hPa e **(d)** velocidade do vento à 10 m, em m/s.

Na simulação seguinte, o campo de pressão (Figura 6.8c 36h) mostra a atuação de uma área de alta pressão que se estende do oceano, com 1026 hPa, e adentra boa parte do estado do RJ, com 1025 hPa. Esta se assemelha àquela de fato observada na carta sinótica do dia (Figura 6.7c), exceto pela pequena diferença no posicionamento e intensidade um pouco menor. Desta maneira, a simulação de 36h do vento (Figura 6.8d 36h) indica ventos fortes de quadrante leste ao longo de toda a costa do RJ, principalmente na capital e no sul do estado. Esta intensa circulação anticiclônica transporta o ar frio das latitudes mais altas de onde se origina em direção ao RJ, como pode ser observado na simulação de 36h da temperatura (Figura 6.8a 36h), devido à uma área de temperatura mais baixa sobre o oceano que não era identificada na simulação anterior.

Além disso, há o transporte de umidade do oceano para o continente, que fica evidenciado pela concentração de umidade principalmente nas áreas serranas, colaborando para a ocorrência de nebulosidade e precipitação ao longo da costa do estado. É possível inferir que a mudança, e consequente aprimoramento, das simulações de 36h em relação aos de 60h pode ser explicado por uma melhor simulação do cavado que se estendia da região centro-oeste ao sul do Brasil, tanto em intensidade quanto em posicionamento, já que os fortes gradientes esperados se mostram na intensificação da área de alta pressão de uma simulação para a outra.

As simulações de 36h de antecedência às 12Z do dia 18 de julho de 2010 permitem inferir que a condição de tempo na cidade do RJ seria atualizada em relação à simulação anterior, informando a ocorrência de céu encoberto com possibilidade de chuva leve, ventos fortes principalmente nas áreas próximas ao mar, mas ainda sim com temperatura amena variando entre 20 e 22°C e alta umidade relativa do ar, acima dos 85%.

Por fim, o campo de pressão de 18h de integração (Figura 6.8c 18h) mostra a eficiente representação da área de alta pressão pós-frontal descrita na seção 6.3.1, com intensidade e posicionamento muito próximos aos observados na Figura 6.7c. Quanto a simulação do vento (Figura 6.8d 18h) não há grande

diferença na direção do escoamento quando comparado a simulação anterior, porém há o aumento de sua intensidade, em especial no setor sul do estado do RJ, o que indica que o modelo representou satisfatoriamente o forte gradiente induzido pelo amplo cavado em aproximação. Apesar da seção 6.1 indicar que o WRF superestima fortemente a velocidade do vento, principalmente na simulação de 18h do dia aqui analisado (Figura 6.2c), os ventos intensos previstos ainda sim devem ser levados em consideração, vista a intensidade do sistema que os governa. O transporte de ar frio e umidade se mantem nos mesmos moldes daquele verificado anteriormente, com destaque ao aumento da área de 20°C de temperatura, no oceano ao sul do RJ, evidenciando mais uma vez o quão forte foi essa alta pressão pós-frontal.

Sendo assim, de acordo com as simulações de 18h de antecedência para às 12Z do referido dia, a condição para a cidade do RJ se manteria como indicado na simulação anterior e também na análise sinótica presente na seção 6.3.1, com tempo nublado e períodos de chuva leve, ventos fortes principalmente na área costeira, temperaturas amenas e alta umidade do ar.

A Figura 6.9 apresenta as simulações de temperatura, umidade relativa e vento nas rodadas de resolução 1 km. Assim como no caso da Maratona 2009, nota-se a boa resposta do modelo à topografia, já que se observa três mínimos de T na Figura 6.9a e três máximos de UR na Figura 6.9b, referentes a presença dos maciços. Observa-se também um padrão mais uniforme destas duas variáveis, não havendo variação significativa de um prognóstico para o outro, possivelmente pelo fato da situação sinótica ter sido mais bem identificada desde a primeira simulação, conforme mostrou a análise das simulações de 3 km.

Apenas as simulações do vento (Figura 6.9c) se mostraram diferentes entre si, o que é perfeitamente explicável pela melhora do modelo em representar a alta pós-frontal em questão, tanto em posicionamento quanto em intensidade. Em 60h de antecedência a parte leste do município era influenciada por ventos de nordeste, reflexo da circulação da alta simulada até então, enquanto que o oeste do estado se observa ventos de norte atravessando a planície entre a

baía de Sepetiba e o maciço da Pedra Branca. A partir da simulação de 36h começa a ser notada a maior influência dos ventos de leste, que passaram a dominar a circulação em todo o município, sobressaindo aos padrões locais. A direção do vento se manteve da mesma maneira na simulação seguinte, de integração de 18h, com diferença apenas em relação à intensidade, que aumentou significativamente no continente e principalmente na costa, pelo fato da situação sinótica ter sido melhor identificada desde a primeira simulação.

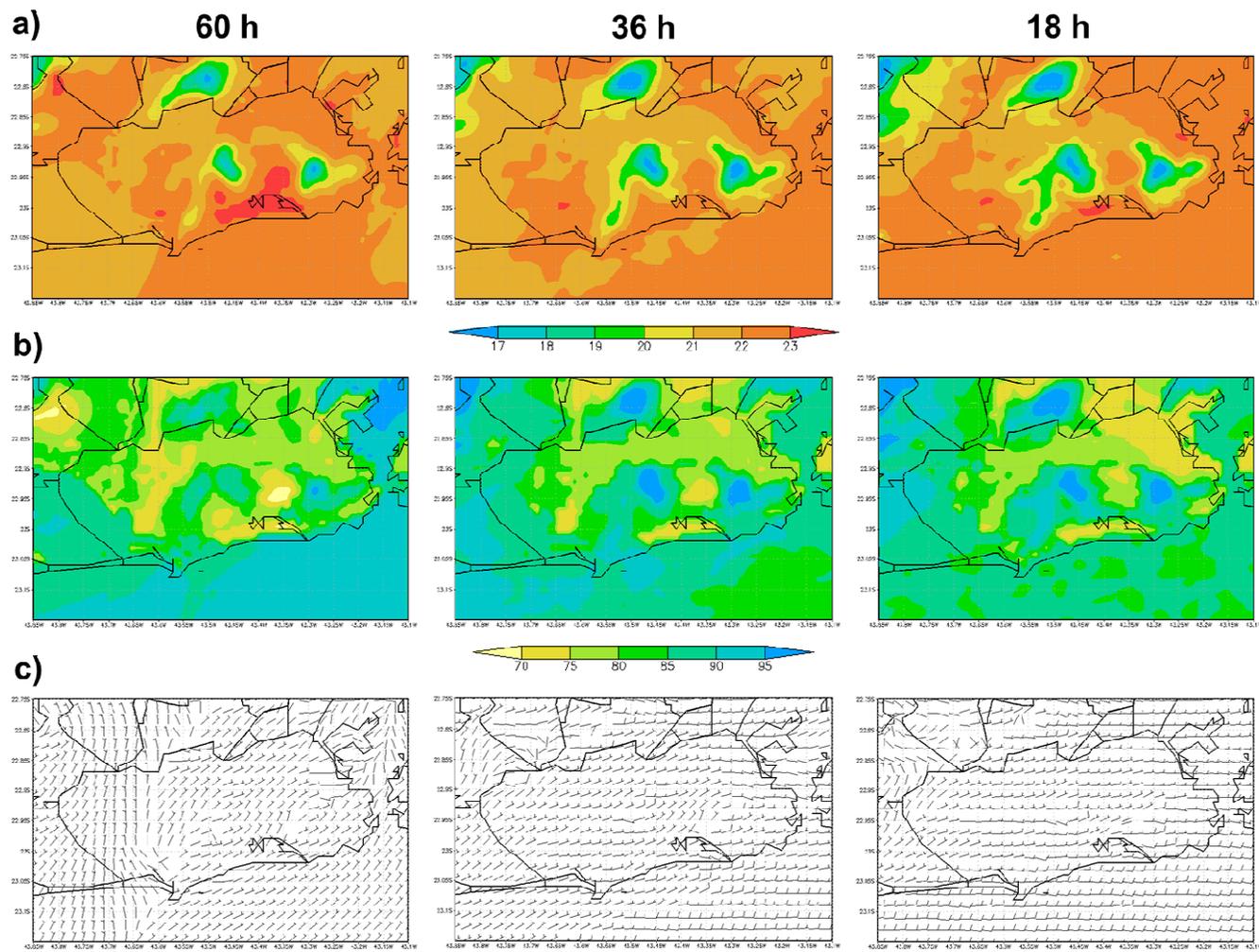


Figura 6.9 - Simulações do modelo WRF para o dia 18/07/10 às 12Z, na resolução de 1km com 60, 36 e 18 horas de integração para **(a)** temperatura do ar à 2 m, em °C; **(b)** umidade relativa do ar à 2 m e **(c)** velocidade do vento à 10 m, em m/s.

6.3.3 Avaliação do Conforto Térmico

A avaliação do conforto térmico desta seção consiste em apresentar os índices calculados, além de seus respectivos graus de estresse fisiológico, classificados de acordo com a Tabela 3.3, para o dia da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro de 2010. Os cálculos foram feitos com valores extraídos dos prognósticos do WRF do dia 18 de julho de 2010, dos mesmos quatro pontos ao longo do percurso já abordados na seção 6.2.3, para os três horários de interesse a prova: 09Z, 12Z e 15Z.

Assim como na avaliação da maratona de 2009, foi levado em consideração o comportamento dos índices já identificado na seção 5.2, principalmente a tendência da TE_v e TEP de subestimar o grau de estresse fisiológico e sensação térmica, quando comparados aos demais índices. Vale a pena ressaltar que o vento foi considerado nos cálculos dos índices sem nenhuma correção, mesmo o desvio em relação ao observado sendo muito grande como visto na seção 6.1. Alguns testes foram feitos calculando os índices com o vento corrigido por um viés médio relacionado, porém não houve mudança significativa no limiar do grau de estresse fisiológico, permitindo assim usar a velocidade do vento diretamente do WRF, sem grandes prejuízos ao resultado final da avaliação.

Para o primeiro horário (Tabela 6.7) a condição geral do percurso vai do leve desconforto para o frio ao confortável. Apesar disso o intenso vento pode ser um limitante na sensação de conforto, já que os índices fortemente influenciados por ele, como TE_v , TEP e até a TEF, mostram baixos valores e indicam o desconforto moderado para o frio, podendo ser até extremo. O vento se manteve constantemente intenso em todos os pontos do percurso, variando pouco como também ocorreu com T e UR.

Ao analisar o percurso da prova ponto a ponto neste horário, é possível perceber que da largada da maratona até a largada da meia maratona há um leve aumento na sensação de conforto, mas não o suficiente para alterar o grau de estresse fisiológico. O ponto seguinte, em Ipanema, é o mais confortável do percurso, onde a combinação de temperatura e umidade mais

altas contribui para que a sensação de conforto seja mais facilmente atingida. O próximo, e último ponto do percurso apresenta novamente uma condição mais propícia ao leve desconforto para o frio.

A condição geral do percurso para as 12Z, estipulada de acordo com a Tabela 6.8, vai do confortável ao ligeiro desconforto para o calor, já que houve um ligeiro aumento na temperatura, referente ao horário, e uma diminuição na velocidade do vento em relação ao horário anterior. Estes dois fatos combinados contribuem para um conforto maior ao longo do percurso. A sensação de conforto oscilou levemente no decorrer do percurso, mas de forma branda, sem alterar o grau de estresse fisiológico.

Para as 15Z (Tabela 6.9) a condição geral ao longo do percurso fica entre o confortável e ligeiro desconforto para o calor. Houve aumento significativo da temperatura, porém o vento se manteve tão intenso quanto no horário anterior, além de constante nos quatro pontos. Na primeira metade do percurso, onde foram registradas as maiores temperaturas, a tendência é o desconforto para o calor ser maior, mesmo que de forma leve, enquanto que nos dois últimos pontos a sensação de conforto é mais provável de ser atingida, já que há uma diminuição na temperatura.

Tabela 6.7 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE_v, TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 09Z o dia 18/07/10 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.

Ponto 1 - Largada					
T (°C)					
UR (%)					
P (hPa)					
V (m/s)					
21,5					
81,9					
1025,9					
10,5					
Nublado					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	20,7	12,6	15,4	-0,7	13,9
Estresse Fisiológico	LEF	EEF	LEF	LEF	-
Atividade	-	-	10,3	0,1	3,4
Estresse Fisiológico	-	-	EMF	CFT	-

Ponto 2 - Largada Meia Maratona					
T (°C)					
UR (%)					
P (hPa)					
V (m/s)					
21,8					
79,3					
1026,0					
11,3					
Nublado					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	20,8	12,8	15,7	-0,6	14,1
Estresse Fisiológico	LEF	EEF	LEF	LEF	-
Atividade	-	-	10,5	0,1	3,6
Estresse Fisiológico	-	-	EMF	CFT	-

Ponto 3 - Ipanema					
T (°C)					
UR (%)					
P (hPa)					
V (m/s)					
22,5					
86,5					
1026,2					
10,4					
Nublado					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	21,8	14,1	16,6	-0,4	15,2
Estresse Fisiológico	LEF	FEF	LEF	CFT	-
Atividade	-	-	11,5	0,4	5,1
Estresse Fisiológico	-	-	EMF	CFT	-

Ponto 4 - Chegada					
T (°C)					
UR (%)					
P (hPa)					
V (m/s)					
21,4					
83,0					
1026,4					
9,0					
Nublado					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	20,6	12,8	15,5	-0,7	14,0
Estresse Fisiológico	LEF	EEF	LEF	LEF	-
Atividade	-	-	10,5	0,1	3,6
Estresse Fisiológico	-	-	EMF	CFT	-

Tabela 6.8 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE_v, TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 12Z o dia 18/07/10 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.

Ponto 1 - Largada					
Nublado					
	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	V (m/s)	
	22,3	70,9	1025,8	9,6	
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	20,8	13,7	18,1	-0,2	16,9
Estresse Fisiológico	LEF	FEF	CFT	CFT	-
Atividade	-	-	13,1	0,6	7,5
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-

Ponto 2 - Largada Meia Maratona					
Nublado					
	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	V (m/s)	
	22,9	75,6	1025,8	9,6	
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	21,6	14,6	18,8	0,0	17,6
Estresse Fisiológico	LEF	FEF	CFT	CFT	-
Atividade	-	-	14,3	0,8	8,6
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-

Ponto 3 - Ipanema					
Nublado					
	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	V (m/s)	
	22,4	85,4	1026,0	9,5	
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	21,7	14,2	18,3	-0,1	17,3
Estresse Fisiológico	LEF	FEF	CFT	CFT	-
Atividade	-	-	13,6	0,7	8,2
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-

Ponto 4 - Chegada					
Nublado					
	T (°C)	UR (%)	P (hPa)	V (m/s)	
	22,5	78,9	1026,1	5,2	
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	21,4	15,5	19,7	0,1	18,5
Estresse Fisiológico	LEF	FEF	CFT	CFT	-
Atividade	-	-	17,0	0,9	10,0
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-

Tabela 6.9 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE_v, TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 15Z o dia 18/07/10 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.

Ponto 1 - Largada					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
24,0 67,5 1025,2 10,2					
Nublado					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	22,2	15,8	21,0	0,5	20,0
Estresse Fisiológico	CFT	FEF	CFT	LEC	-
Atividade	-	-	17,8	1,3	11,8
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-

Ponto 2 - Largada Meia Maratona					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
23,8 70,5 1025,3 10,4					
Nublado					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	22,2	15,7	20,8	0,5	19,8
Estresse Fisiológico	CFT	FEF	CFT	LEC	-
Atividade	-	-	17,4	1,2	11,5
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-

Ponto 3 - Ipanema					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
22,3 86,0 1025,5 9,9					
Nublado					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	21,6	14,0	19,3	0,1	18,7
Estresse Fisiológico	LEF	FEF	CFT	CFT	-
Atividade	-	-	15,2	0,9	10,0
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-

Ponto 4 - Chegada					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
23,4 70,3 1025,4 10,0					
Nublado					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	21,8	15,1	20,4	0,4	19,5
Estresse Fisiológico	LEF	FEF	CFT	CFT	-
Atividade	-	-	16,9	1,1	11,1
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-

Portanto, as condições de conforto térmico encontradas pelo atleta ao longo do percurso são listadas de acordo com a etapa e o horário em que esta provavelmente é atingida, conforme os horários de largada e duração média da prova, assim como feito para a Maratona 2009.

- **Início:** domina o leve desconforto para o frio devido à intensidade do vento. Esta pode vir a prejudicar o início da prova, causando maior desgaste físico, devido à resistência causada pelo vento, e também fisiológico, por ser difícil atingir o conforto em tal situação;
- **Metade:** conforto à leve desconforto para o calor, com o vento um pouco mais fraco que na etapa anterior, contribuindo para um melhor ritmo de prova;
- **Final:** no geral confortável, com vento de intensidade semelhante ao enfrentado na etapa anterior. Esta situação compensa de certa forma o maior desgaste do início da prova, já que um ritmo mais forte de corrida pode ser imposto de maneira mais eficiente.

Relação condição de tempo x competição: A direção do vento, que se mostra preferencialmente de leste de acordo com a Figura 6.9c 18h, além de sua intensidade, contribuiriam para um significativo desgaste físico, se sobressaindo até àquele causado pelo estresse fisiológico. Mas este ainda deve ser levado em consideração, principalmente devido à ocorrência de chuva leve durante parte da manhã, o que poderia causar desconforto para o frio ainda maior, considerando o vento e o movimento do corpo. Sendo assim, as condições meteorológicas tornam desfavorável a realização de uma boa prova, a não ser que o percurso seja estudado criteriosamente.

Um melhor desempenho na maratona neste dia poderia ser obtido se o competidor evitasse se desgastar no início da prova, onde o desconforto é maior devido à temperatura mais baixa, ventos mais fortes e a ocorrência de chuva. Assim ele deixaria para impor um ritmo forte da metade para o final, já que o aumento da temperatura e o fim da chuva contribuiriam para um desgaste fisiológico menor, compensando de certa forma o desgaste físico adicional causado pelo vento.

6.4 Maratona 2011

6.4.1 Análise Sinótica

A análise do campo de altos níveis para as 12Z do dia 17/07/2011 (Figura 6.10a) mostra um cavado extenso, porém pouco amplificado, com eixo entre o Paraguai e Argentina, circundado pelas correntes de jato que apresentam núcleo de velocidade intensa sobre o oceano, na direção do RS, e associado a um forte sistema frontal em superfície. Outro cavado, de pouca amplitude, é observado na região centro-norte do Brasil, oriundo de uma circulação ciclônica que 12 horas antes era associada a um VCAN na mesma região, segundo o boletim técnico das 00Z (GPT-CPTEC/INPE). O estado do RJ encontra-se na vanguarda deste pequeno cavado, porém não sofre influência do escoamento dele, já que sua pouca amplitude não gerou grande perturbação que modificasse as condições de tempo da região.

Nos níveis médios (Figura 6.10b) observa-se uma circulação anticiclônica, cujo centro se posiciona no oceano Atlântico a leste da divisa entre RJ e ES, que se estende por parte das regiões Nordeste, Norte e Sudeste. Tal circulação inibe a formação de nebulosidade significativa e mantém a umidade relativa baixa nessas regiões.

Em superfície (Figura 6.10c) é notada uma frente fria extensa e de lento deslocamento, atravessando o estado de SC e trazendo ar muito frio para a região Sul. Por outro lado, grande parte do país se encontra sob atuação de uma alta, com características do ASAS, centrada sobre o oceano em -33°S e -30°O , com 1027 hPa e estendendo seu giro anticiclônico desde a região nordeste, trazendo nebulosidade e precipitação leve, e adentrando parte das regiões norte e centro-oeste e sudeste, colaborando para o tempo mais seco e com pouca nebulosidade. Ao norte do estado do RJ, próximo a divisa com o ES, é observado um cavamento da alta pelo sistema frontal que se aproxima do sudeste.

A imagem de satélite das 12Z (Figura 6.10d) mostra alguma nebulosidade baixa ou média na divisa entre SP e RJ, mas o restante da costa do estado se

mostra com tempo aberto. Os registros do METAR deste dia, tanto no SBRJ quanto no SBGL, apontaram pouca ou nenhuma nebulosidade, sem ocorrência de precipitação e boas condições de visibilidade.

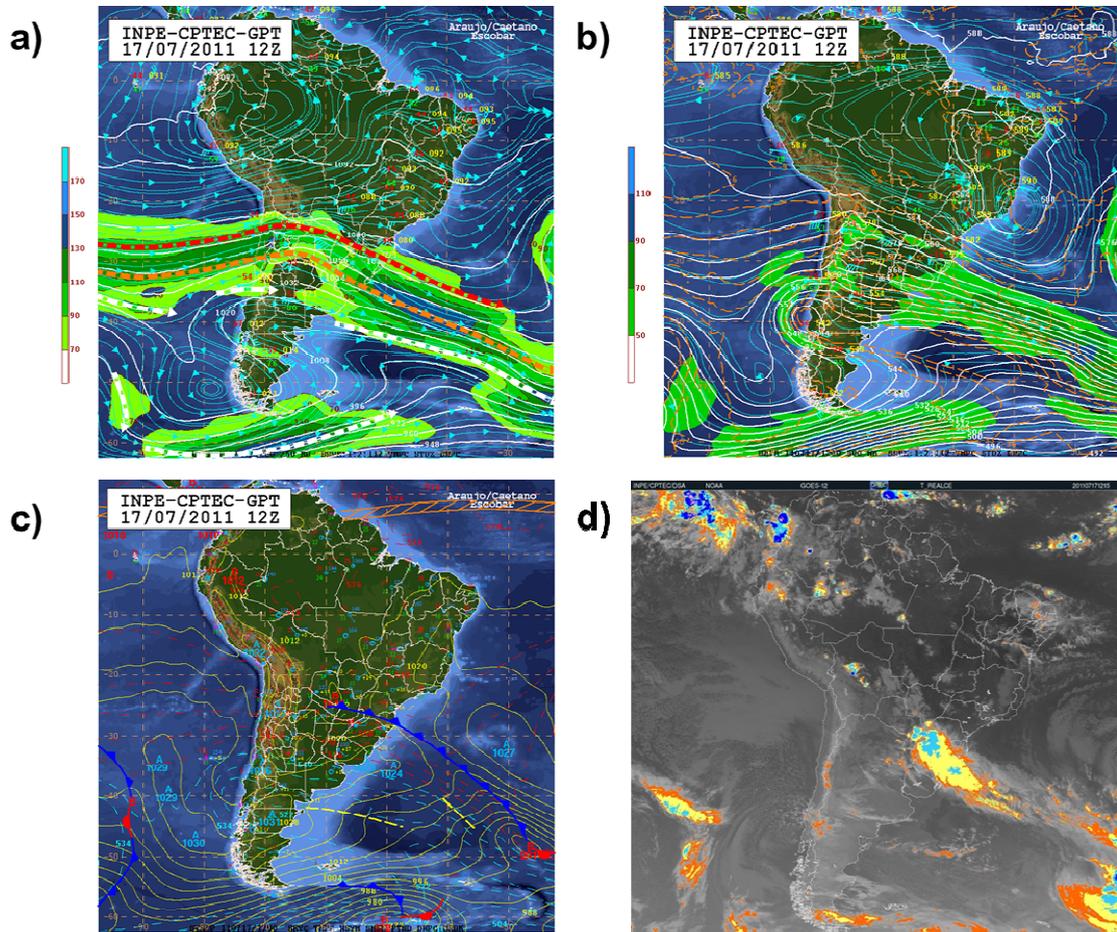


Figura 6.10 - Cartas Sinóticas referentes às 12Z do dia 17/07/2011 em **(a)** altos níveis (250 hPa); **(b)** níveis médios (500 hPa); **(c)** superfície; e **(d)** a imagem no canal do infravermelho do satélite GOES 12 realçada para temperatura do topo de nuvens.

6.4.2 Simulações WRF

Ao analisar de maneira geral a Figura 6.11 é notável o quanto as três simulações são parecidas entre si, para as quatro variáveis simuladas. Mesmo assim, ainda é possível perceber nas simulações de 60h a subestimativa da temperatura em relação aos de 36 e 18h (Figura 6.11a), já que com a diminuição do tempo de integração os núcleos de maiores (menores)

temperaturas se expandem (contraem), além de um maior aquecimento na região sul do RJ que só se mostrou presente no prognóstico de 18h.

As simulações da umidade relativa (Figura 6.11b) apresentaram um padrão até então não identificado nas demais análises, já que comparando o campo de 60h com o de 36h foi notado um aumento generalizado na UR, enquanto na comparação deste último com o de 18 h é identificada a diminuição da UR em grande parte da região de abrangência. Uma das únicas regiões que manteve o padrão de diminuição com a diminuição das horas de integração foi a divisa entre RJ e SP.

Ao analisar as simulações da pressão em superfície (Figura 6.11c) vê-se que o modelo simulou de maneira satisfatória a penetração da baixa pressão na circulação dominante do ASAS, devido a movimentação de uma frente fria ao sul. No entanto, somente a simulação de 60h de antecedência representou de maneira eficiente à posição e intensidade dessa baixa, de acordo com o identificado na carta sinótica do dia (Figura 6.10c), enquanto os demais a mostram mais intensa e abrangendo uma área maior. Uma possível explicação pode estar no lento deslocamento apresentado pelo sistema frontal em direção a região sudeste, conforme reportado pelo boletim técnico do GPT-CPTEC/INPE. Sendo assim, nas simulações de 36 e 18h o modelo aparentemente posiciona a frente mais ao norte do que de fato ocorreu, acelerando seu deslocamento e introduzindo com maior rapidez e intensidade a área de baixa pressão no RJ.

Uma vez que comportamento do vento pode ser relacionado ao campo de pressão, vê-se na Figura 6.11 que a característica mais evidente das simulações do vento é um núcleo intenso de nordeste, localizado no oceano e atingindo a costa norte do RJ, em resposta justamente ao gradiente de pressão causado pela entrada da baixa pressão anteriormente discutida. Nota-se que o núcleo de fortes ventos se intensifica e se expande de uma simulação para o outro, tal qual a baixa pressão da Figura 6.11c, mas como foi constatado o adiantamento desta última nos campos de 36 e 18h de integração é possível

inferir que o vento no oceano fica mais bem representado no prognóstico de 60h de integração.

O padrão do vento no continente não muda muito com a diminuição do tempo de integração, vindos preferencialmente do quadrante norte em direção ao RJ, seguindo a circulação dominante do ASAS. Esta circulação, bem simulada desde o início, contribui para manter o tempo quente e seco principalmente no centro sul do estado, como pode ser observado nos prognósticos de temperatura (Figura 6.11a) e umidade (Figura 6.12b). Destaca-se um núcleo secundário de fortes ventos, que cortam a baía de Sepetiba em direção ao oceano, e se mostra semelhante nos três prognósticos, salvo apenas uma pequena diminuição na intensidade a partir de 36h de integração. Tal circulação é proveniente da canalização dos ventos de norte nesta área de planície, já que ela se encontra cercada por montanhas, fazendo com que a velocidade aumente.

Sendo assim, a condição de tempo indicada para a cidade do RJ no dia 17 de julho de 2011 à 12Z seria praticamente a mesma em 60, 36 ou 12h de antecedência, com tempo aberto, temperaturas em elevação, passando dos 25°C e baixa umidade do ar, podendo chegar a menos de 50% em algumas regiões. A respeito da baixa pressão que adentra o estado nessa ocasião, sua atuação aumentaria a chance de precipitação convectiva no período da tarde, já que a inibição da formação de nuvens pela circulação do ASAS deixaria de ser dominante. Vale a pena ressaltar que mesmo os prognósticos de 36 e 18h de integração superestimando a área de baixa pressão, uma previsão de tempo feita com base neles só traria de diferente uma maior possibilidade de pancadas de chuva no período da tarde.

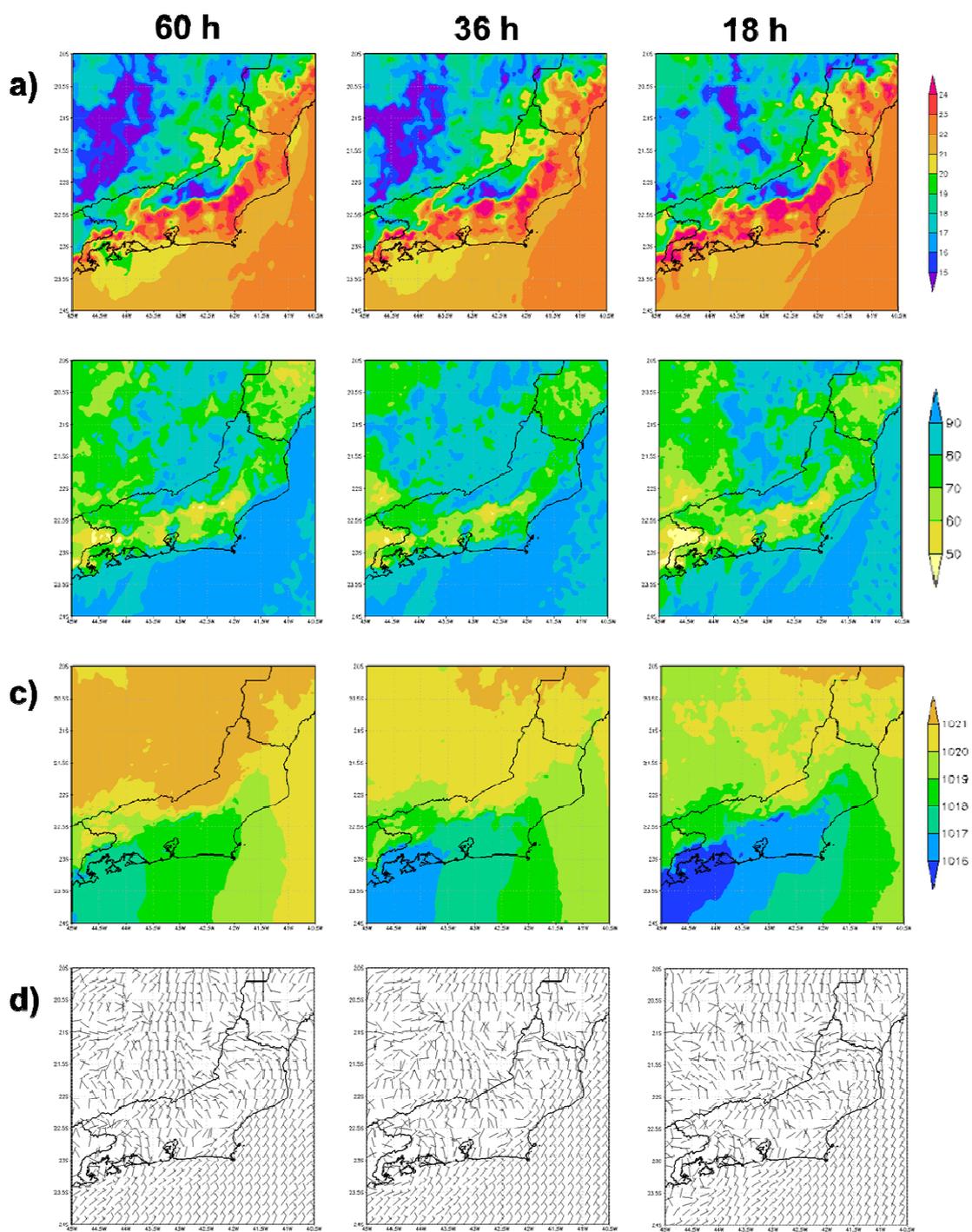


Figura 6.11 - Simulações do modelo WRF para o dia 17/07/11 às 12Z, na resolução de 3km com 60, 36 e 18 horas de integração para **(a)** temperatura do ar à 2 m, em °C; **(b)** umidade relativa do ar à 2 m; **(c)** pressão reduzida ao nível do mar, em hPa e **(d)** velocidade do vento à 10 m, em m/s.

A Figura 6.12 apresenta as simulações de temperatura, umidade relativa e vento nas rodadas de resolução 1 km. A topografia da região continua evidente nos campos de temperatura (Figura 6.12a), com os mínimos posicionados sobre os maciços, porém estes não ficam evidenciados nos campos de umidade (Figura 6.12b). Isto se deve ao fato dos ventos de quadrante norte, que influenciam a cidade como já comentada na análise das simulações de 3 km, trazerem ar mais seco, prejudicando o acúmulo de umidade nestas elevações.

Assim, como já identificado nas simulações de 3 km, os campos de temperatura, umidade e vento não variam significativamente com a diminuição do tempo de integração. Apenas é notado um aumento na temperatura na simulação de 18h em relação aos demais, estendendo áreas com mais de 25°C, além de uma diminuição na umidade relativa na simulação de 36h em relação ao anterior e seguinte. Com 18h de antecedência é indicada a ocorrência de baixa umidade do ar em grande parte do município do RJ, com valores abaixo de 60%. As simulações do vento (Figura 6.12c) são as que mais se assemelham entre si, apresentando pequenas diferenças apenas na intensidade dos núcleos.

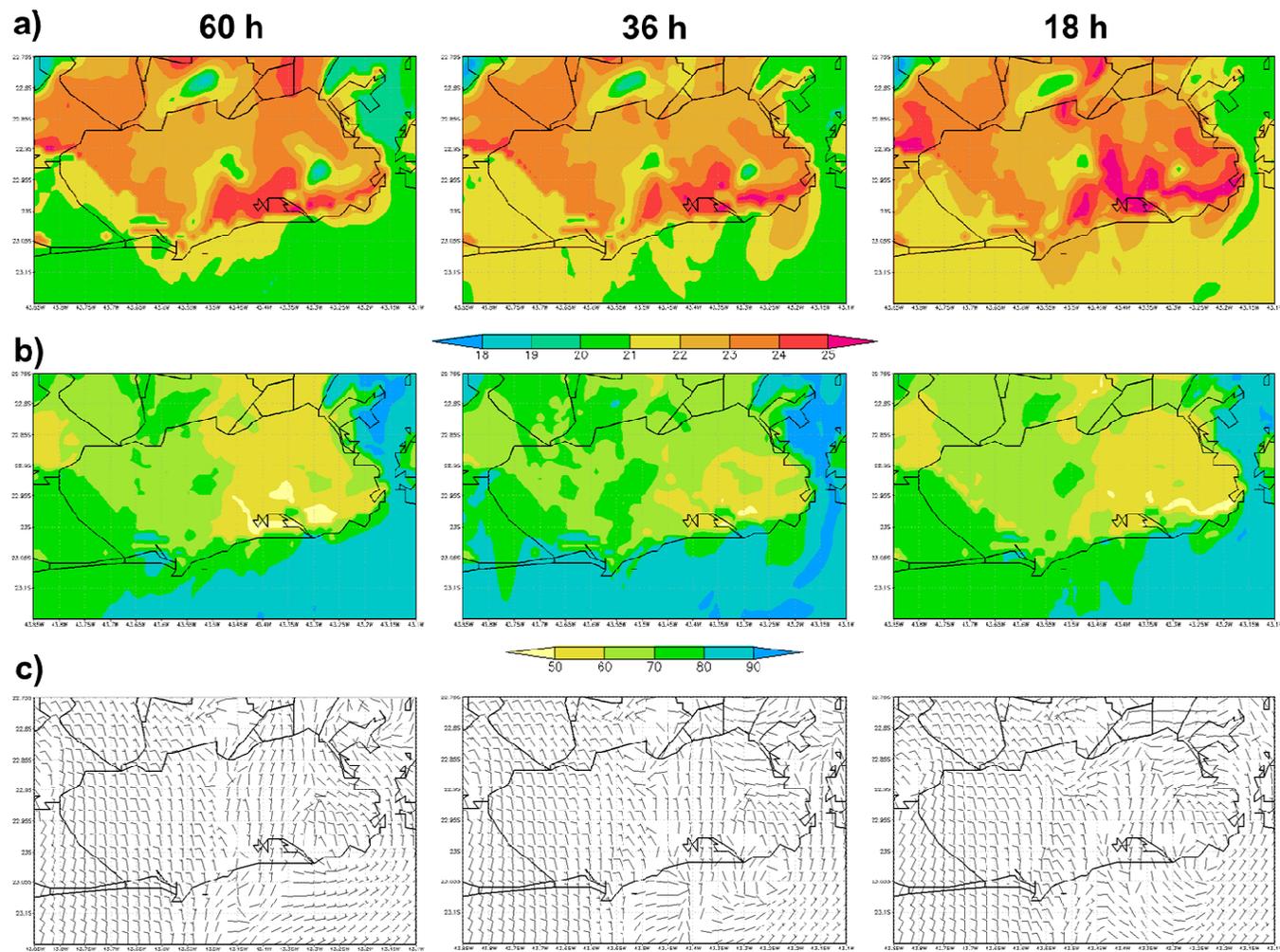


Figura 6.12 - Simulações do modelo WRF para o dia 17/07/11 às 12Z, na resolução de 1km com 60, 36 e 18 horas de integração para **(a)** temperatura do ar à 2 m, em °C; **(b)** umidade relativa do ar à 2 m e **(c)** velocidade do vento à 10 m, em m/s.

6.4.3 Avaliação do Conforto Térmico

A avaliação do conforto térmico nesta seção consiste em apresentar os índices calculados, além de seus respectivos graus de estresse fisiológico, classificados de acordo com a Tabela 3.3, para o dia da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro de 2011. Os cálculos foram feitos com valores extraídos dos prognósticos do WRF do dia 17 de julho de 2011, dos mesmos quatro pontos ao longo do percurso já abordados nas demais avaliações das maratonas, para os três horários de interesse a prova: 09Z, 12Z e 15Z.

Foi levado em consideração o comportamento dos índices já identificado na seção 5.2, principalmente a tendência da TE_V e TEP de subestimar o grau de estresse fisiológico e sensação térmica, quando comparados aos demais índices. Vale a pena ressaltar que o vento foi considerado nos cálculos dos índices sem nenhuma correção, já que para este caso além do viés ter um valor baixo comparado aos demais casos, se houvesse correção alguns pontos deixariam de ser influenciados pelo vento, variando significativamente o grau de estresse fisiológico e prejudicando a representatividade da avaliação.

A condição geral do percurso às 09Z (Tabela 6.10) fica entre o leve desconforto para o frio e o confortável, com tendência a incomodo devido ao vento em alguns pontos específicos, já que este varia significativamente ao longo do percurso. A superestimativa do vento nesta avaliação pode ser problemática, uma vez que a falta da cobertura de nuvens e as temperaturas amenas do começo da manhã, somadas a um vento intenso, abaixam muito os valores dos índices, principalmente durante a prática de atividade, como mostram os valores da TEF e principalmente da TEP. O ponto mais desconfortável da prova neste horário é a chegada, onde a temperatura é menor que nos outros pontos e a velocidade do vento alta.

No segundo horário (Tabela 6.11) a condição geral ao longo do traçado da prova varia entre o confortável e o leve desconforto para o calor, mas ainda assim a avaliação do conforto térmico se mostra difícil de padronizar, provavelmente devido à variação do vento do percurso. Por outro lado, o

aumento significativo da temperatura ajudou a amenizar a recorrente indicação de desconforto para o frio, observada até então.

Analisando ponto a ponto o percurso às 12Z, é visto que na largada há uma maior tendência ao desconforto para o calor, podendo até ser moderado, como indicado pelo VMP na situação de atividade física, mesmo com o vento intenso a temperatura mais alta se destaca. No ponto seguinte a temperatura é quase um grau mais baixa, e a velocidade do vento menor, o que faz manter a condição geral entre o confortável e o leve desconforto para o calor. Ipanema é o ponto mais confortável do percurso, com uma temperatura mais amena, umidade mais alta e vento mais intenso. Na chegada a condição de conforto à leve desconforto para o calor é novamente atingida, devido principalmente a diminuição do vento, com destaque ao baixo valor da umidade relativa.

Por fim, às 15Z (Tabela 6.12) a combinação das altas temperaturas com a diminuição significativa da velocidade do vento faz com que o desconforto para o calor domine todo o percurso, variando no geral entre moderado e forte. Mesmo assim foi notada certa heterogeneidade entre os pontos, devido principalmente a variação do vento.

Na largada a condição fica entre moderado e forte desconforto para o calor, com maior tendência ao último devido principalmente a temperatura de mais de 27°C. No ponto seguinte, o desconforto moderado ao calor domina devido ao menor valor da temperatura, mais ainda sim é possível atingir o forte desconforto, principalmente com o corpo em atividade intensa. Em Ipanema apesar da temperatura amena, a combinação do vento fraco com a intensa insolação, já que não há nebulosidade, faz o desconforto para o calor ser forte, podendo até chegar a extremo, como indica o valor do VMP no caso de atividade física. Por fim, no ponto de chegada a situação se mostra um pouco mais confortável devido ao vento intenso, mesmo com a temperatura mais alta do percurso a sensação fica entre moderado e forte desconforto para o calor. Vale a pena destacar a baixa umidade do ar neste ponto, que atingiu 43%.

Tabela 6.10 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE_v, TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 09Z o dia 17/07/11 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.

Ponto 1 - Largada					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
20,7 67,5 1016,8 7,3					
Céu Claro					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	19,3	12,1	13,9	-1,1	11,8
Estresse Fisiológico	LEF	EEF	LEF	LEF	-
Atividade	-	-	9,0	-0,3	0,7
Estresse Fisiológico	-	-	EMF	CFT	-

Ponto 2 - Largada Meia Maratona					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
21,0 75,2 1016,9 1,7					
Céu Claro					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	19,9	16,3	15,3	-0,8	13,6
Estresse Fisiológico	LEF	EMF	LEF	LEF	-
Atividade	-	-	12,7	0,1	4,1
Estresse Fisiológico	-	-	EMF	CFT	-

Ponto 3 - Ipanema					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
21,8 79,2 1016,9 4,8					
Céu Claro					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	20,9	14,9	15,5	-0,7	13,6
Estresse Fisiológico	LEF	FEF	LEF	LEF	-
Atividade	-	-	11,1	0,1	3,4
Estresse Fisiológico	-	-	EMF	CFT	-

Ponto 4 - Chegada					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
19,0 77,0 1017,1 5,5					
Céu Claro					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	18,2	10,8	12,3	-1,5	10,2
Estresse Fisiológico	EMF	EEF	EMF	LEF	-
Atividade	-	-	7,6	-0,7	-1,0
Estresse Fisiológico	-	-	FEF	LEF	-

Tabela 6.11 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE_v, TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 12Z o dia 17/07/11 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.

Ponto 1 - Largada					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
24,7 57,0 1016,3 7,5					
Céu Claro					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	22,2	17,0	22,9	0,8	21,0
Estresse Fisiológico	CFT	EMF	CFT	LEC	-
Atividade	-	-	20,5	1,5	13,3
Estresse Fisiológico	-	-	CFT	EMC	-

Ponto 2 - Largada Meia Maratona					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
23,6 62,8 1016,4 5,3					
Céu Claro					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	21,6	16,4	22,9	0,6	20,9
Estresse Fisiológico	LEF	EMF	CFT	LEC	-
Atividade	-	-	20,9	1,4	13,4
Estresse Fisiológico	-	-	CFT	LEC	-

Ponto 3 - Ipanema					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
23,3 73,3 1016,0 12,7					
Céu Claro					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	21,9	14,6	19,6	0,3	18,8
Estresse Fisiológico	LEF	FEF	CFT	CFT	-
Atividade	-	-	15,1	1,0	10,1
Estresse Fisiológico	-	-	LEF	LEC	-

Ponto 4 - Chegada					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
24,4 53,2 1016,5 8,1					
Céu Claro					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	21,7	16,3	22,0	0,6	20,4
Estresse Fisiológico	LEF	EMF	CFT	LEC	-
Atividade	-	-	19,3	1,4	12,5
Estresse Fisiológico	-	-	CFT	LEC	-

Tabela 6.12 - Avaliação do conforto térmico pelos índices TE, TE_v, TEF, VMP e TEP*, e seus respectivos graus de estresse fisiológico, para as 15Z o dia 17/07/11 em quatro pontos específicos do percurso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro.

Ponto 1 - Largada					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
27,3 52,9 1015,1 2,6					
Céu Claro					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	24,0	21,4	35,0	2,4	28,9
Estresse Fisiológico	CFT	LEF	FEC	EMC	-
Atividade	-	-	35,1	3,0	23,9
Estresse Fisiológico	-	-	FEC	FEC	-

Ponto 2 - Largada Meia Maratona					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
25,6 57,5 1015,2 2,4					
Céu Claro					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	23,0	20,0	33,2	2,0	27,8
Estresse Fisiológico	CFT	LEF	EMC	EMC	-
Atividade	-	-	33,1	2,7	22,5
Estresse Fisiológico	-	-	EMC	FEC	-

Ponto 3 - Ipanema					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
23,7 66,9 1015,3 0,5					
Céu Claro					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	21,9	21,1	39,3	3,0	33,2
Estresse Fisiológico	LEF	LEF	FEC	FEC	-
Atividade	-	-	39,8	3,5	29,3
Estresse Fisiológico	-	-	FEC	EEC	-

Ponto 4 - Chegada					
T (°C) UR (%) P (hPa) V (m/s)					
28,7 43,1 1015,5 4,2					
Céu Claro					
	TE	TE v	TEF	VMP	TEP*
Repouso	24,5	21,8	34,3	2,4	28,2
Estresse Fisiológico	CFT	LEF	EMC	EMC	-
Atividade	-	-	34,3	3,1	22,9
Estresse Fisiológico	-	-	EMC	FEC	-

Resumindo o que pode ser encontrado pelo atleta ao longo do percurso, a seguir estão listadas as condições de conforto térmico de acordo com a etapa e o horário em que esta provavelmente é atingida, conforme os horários de largada e duração média da prova, assim como feito para as Maratonas de 2009 e 2010.

- **Início:** leve desconforto para o frio à confortável, algo que pode ser benéfico para o competidor, já que não há grande desgaste devido às condições de tempo, fazendo com que ele atinja um bom ritmo de prova não comprometendo as demais etapas;
- **Metade:** confortável com tendência a leve desconforto para o calor devido ao aumento da temperatura. O vento contribui para uma maior sensação de conforto, o que ajuda o atleta a poupar energia para a etapa final da competição;
- **Final:** estresse moderado ao calor com tendência a ser forte devido às temperaturas ainda maiores, tempo ensolarado e vento fraco. Esta condição pode ser muito prejudicial ao atleta, uma vez que ele se encontra desgastado fisicamente, além do alto nível de atividade do corpo fazer com que o desconforto para o calor seja ainda maior.

Relação condição de tempo x competição: As condições meteorológicas e de conforto térmico são favoráveis a um bom desempenho de prova do início à metade do percurso, porém no final o desconforto para o calor aumenta muito, o que pode limitar o competidor a aumentar seu ritmo nesta última etapa. Além disso, deve-se levar em consideração a baixa umidade do ar neste período, com valores por volta de 50% ou até menores, que pode vir a causar um maior desgaste se o atleta não se hidratar corretamente.

Um melhor desempenho nesta maratona poderia ser alcançado se o atleta aumentasse seu ritmo na metade da prova, ao invés do final, além de tomar um maior cuidado com a hidratação desde esta etapa até a chegada. Assim ele faria seu arranque quando a condição de conforto fosse mais favorável, poupando energia para fazer prova favorável.

6.5 Relação entre os Tempos de Prova e as Condições de Conforto Térmico

As seções anteriores apresentaram avaliações detalhadas do conforto térmico ao longo do percurso das maratonas de 2009, 2010 e 2011. Ao final de cada uma delas foi indicada, de maneira subjetiva, se as condições meteorológicas e de conforto favoreciam ou não um bom desempenho de prova.

A Tabela 6.13 a seguir relaciona o melhor tempo (T_1) e a média dos cinco melhores tempos (T_5) das provas masculinas de cada edição à tendência do desempenho de prova (TDP), classificada em bom, regular ou ruim de acordo com as conclusões apresentadas nas seções 6.2.3, 6.3.3 e 6.3.4. Optou-se por mostrar também o melhor tempo, a fim de verificar se o ganhador da prova também sofreu influência das condições meteorológicas ou se seu desempenho era acima da média dos demais competidores.

Tabela 6.13 - Relação entre a média dos cinco melhores tempos (T_5) e o melhor tempo (T_1) das edições de 2009, 2010 e 2011 da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro com a tendência do desempenho de prova (TDP) estipulada.

Maratona	T_5	T_1	TDP
2009	2h 18m 22s	2h 17m 10s	BOM
2010	2h 20m 16s	2h 19m 54s	RUIM
2011	2h 19m 11s	2h 18m 14s	REGULAR

Portanto confirma-se a hipótese proposta de que as situações termicamente mais confortáveis contribuem para um melhor desempenho de prova, no caso particular da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro, para os competidores em geral. O melhor dos tempos das edições estudadas, da Maratona de 2009, se deu sob uma tendência de bom desempenho de prova, uma vez que a combinação das temperaturas amenas com o céu encoberto daquele dia resultou em situações confortáveis durante todo o percurso, sem nenhum ponto crítico de maior desgaste físico ou fisiológico.

Por outro lado, a edição que se mostrou termicamente mais desconfortável dentre as três, a Maratona de 2010, está relacionada ao pior dos tempos, também confirmando a hipótese de que situações de desconforto térmico influenciam em um pior desempenho de prova, atingindo os competidores de um modo geral. A associação entre vento forte e a chuva que ocorreu em parte da manhã favoreceram um maior desconforto para o frio ao longo do percurso, resultando em uma tendência ruim de prova. No entanto a direção do vento desfavorável ao percurso pode ter contribuído de maneira significativa para tal tendência de desempenho, já que poderia causar um desgaste físico maior aos atletas que, somado ao desgaste fisiológico, os prejudicaria de maneira significativa.

7 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentadas análises climatológicas, prognósticos de tempo e avaliações de conforto térmico direcionados ao esporte. Com a experiência adquirida na participação do serviço meteorológico prestado ao LII CPM foi possível desenvolver uma metodologia que pode vir a ser aplicada no Brasil futuramente, de modo a auxiliar o desenvolvimento de produtos meteorológicos em benefício dos Jogos Olímpicos 2016, no Rio de Janeiro.

Os conceitos e resultados apresentados ao longo deste estudo mostram quanto à meteorologia aplicada ao esporte pode ser explorada, trazendo benefícios reais às modalidades esportivas, principalmente aquelas praticadas ao ar livre, contribuindo cada vez mais para a inovação à cerca deste tema tão relevante no país atualmente.

A análise do serviço meteorológico no LII CPM mostrou que a rotina de trabalhos ao longo dos dias de competição foi essencial para compreender como as condições de tempo influenciam o esporte. Estar no local das provas fazendo previsões e coletando dados permitiu também conhecer a preparação dos atletas, fazendo com que os boletins fossem elaborados de maneira cada vez mais específica, podendo assim ajudá-los efetivamente a conquistar um melhor desempenho.

As altas temperaturas enfrentadas no fim da semana das competições, principalmente na sexta-feira, fizeram com que o comitê organizador consultasse o serviço meteorológico, de modo a verificar se era necessário alterar o horário das disputas. O fato do evento combinado do pentatlo ter início às 14h, nos dias em que foi divulgado alerta de forte estresse ao calor, fez com que os meteorologistas sugerissem o adiamento da prova para as 15h, quando a insolação já seria um pouco menor e a influência do vento de brisa marítima tornaria a prova termicamente mais confortável para os atletas.

As comparações entre previsão e dados observados no pentatlo permitiram concluir que tais prognósticos foram satisfatórios, principalmente para velocidade do vento, sendo que a umidade relativa também apresentou um comportamento razoável. Já as previsões para temperatura do ar e temperatura aparente não se mostraram eficientes, devido à constante subestimativa em relação ao observado. Com a análise do viés entre a previsão e os dados observados foi encontrado um indício de erro sistemático na medida da temperatura, que possivelmente se deu por o instrumento de coleta no local estar exposto diretamente ao Sol.

As análises de correlação e viés entre previsão e os dados de temperatura da estação meteorológica convencional mais próxima (Roma Urbe), indicaram resultados muito bons quando comparados à primeira análise. Ficou assim confirmado o erro sistemático do instrumento de coleta, deixando evidente também a necessidade de uma estação meteorológica que atenda os padrões da WMO nas redondezas. Sendo assim, pode-se concluir que as previsões divulgadas foram, no todo, bem sucedidas.

Os resultados referentes à análise climatológica na cidade do Rio de Janeiro, para o período de realização dos Jogos Olímpicos, mostraram que não são esperadas situações extremas de tempo, principalmente tempestades ou temperaturas extremamente baixas (no período analisado a temperatura mais baixa encontrada foi aproximadamente 11°C). Ao longo do período JAS a ocorrência de precipitação no Rio de Janeiro se deve a passagem de frentes frias, mas os acumulados são os menores do ano todo. A umidade relativa atinge os índices mais baixos do ano em JAS, devido a predominância da circulação do ASAS, mas mesmo assim a presença do mar e das baías mantem a condição confortável.

A avaliação do conforto térmico na situação média não indicou no período JAS desconforto extremo nem para o frio nem para o calor. As noites e manhãs tendem a apresentar ligeiro desconforto para frio, que é amenizado com o passar dos meses, enquanto manhãs e tardes variam desde a sensação de conforto à ligeiro, ou moderado, desconforto para o calor. As tardes do mês de

setembro se mostram mais suscetíveis a desconforto moderado para o calor, que no caso de prática de atividade física pode até ser forte.

Quando avaliado o conforto térmico nas situações de máxima e mínima de cada mês foram encontrados extremos de desconforto térmico, tanto para o frio quanto para o calor. Destaque especial para o mês de setembro, pelo extremo estresse ao calor, e julho e setembro pelo extremo estresse ao frio. Apesar das medições duvidosas da estação na qual está avaliação se baseou, os resultados devem ser levados em consideração, pois altas temperaturas podem ser resultado de período prolongado de ação do ASAS e baixas temperaturas podem ser causadas pela passagem de SFs, que se mostram intensos também em setembro.

Uma análise climatológica, semelhante à desenvolvida neste trabalho, se divulgada com antecedência às delegações competidoras de determinado evento esportivo, poderia ser uma ferramenta diferencial na preparação dos atletas. Treinos sob condições meteorológicas semelhantes àquelas que podem ser enfrentadas melhoram a capacidade de competição do atleta, afetando até mesmo o psicológico, por ele saber que está preparado para competir uma boa prova independente se chova, faça muito calor ou muito frio.

No caso de grandes eventos mundiais, como os Jogos Olímpicos Rio 2016, a importância desse tipo de análise é ainda maior, pois o país sede recebe delegações de várias partes do mundo, que certamente não tem familiaridade com o clima do local. Ceder informações desse tipo a todos os competidores é importante para o bom desenvolvimento dos Jogos e beneficia significativamente os atletas do país.

A análise prognóstica de tempo aplicada ao esporte se mostrou eficiente para o caso da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro, principalmente devido à alta resolução espacial. As simulações do WRF para as três maratonas estudadas apresentaram boa representatividade da temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa, exceto por alguns desvios significativos desta última. Por outro lado, a simulação do vento se mostrou muito problemática,

superestimando fortemente a situação real, o que trouxe algum prejuízo às análises do conforto térmico, uma vez que alguns índices são muito sensíveis a essa variável.

Ao comparar as simulações de diferentes tempos de integração com a análise sinótica do dia em questão, foi possível concluir que o WRF fornece, no geral, simulações mais representativas a partir de 36h de antecedência. Com 18h antes elas se mostraram ainda melhores, descrevendo eficientemente a situação sinótica que viria a ser encontrada. Somente as simulações da Maratona de 2011 apresentaram padrão diferente, já que simulação de 60h representou melhor a situação sinótica do que a de 18h.

A avaliação das condições meteorológicas e de conforto térmico em pontos específicos do percurso da maratona, ao longo do período no qual ela se realiza, mostrou que há diferenças significativas entre as etapas da prova. Os resultados obtidos para a Maratona de 2011 evidenciam tal afirmação, já que a competição teve início sob condição de leve desconforto para o frio e terminou com tendência à forte desconforto para o calor. Por ser uma prova longa, tanto em extensão quanto em tempo, um prognóstico detalhado como este poderia melhorar a elaboração de estratégias de competição por atletas e seus técnicos, na busca pelo desempenho.

Por fim, foi possível concluir que uma situação termicamente mais confortável implica em melhores tempos de prova para os competidores da Maratona da Cidade do Rio de Janeiro, já que na edição de 2009, onde a situação era de conforto em praticamente todas as etapas, foi obtido o melhor tempo dentre os três estudados. A recíproca também é verdadeira, uma vez que a Maratona de 2010 foi considerada a de maior desconforto térmico, além de contar com vento intenso e chuva, e seu tempo médio de prova sendo quase 2 minutos maior que o de 2009.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUTERA, F. B. Chapter 3 – Principles of thermal comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.2, p. 39-66, 1998.
- CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 463 p.
- CHENG, V.; NG, E.; CHAN, C; GIVONI, B. Outdoor thermal comfort study in a sub-tropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong. **International Journal of Biometeorology**, v. 56, p. 43-56, 2012.
- DERECZYNSKI, C. P.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, C. O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 24-38, 2009.
- DERECZYNSKI, C. P.; MARENGO, J.; SILVA, M. G. A. J.; SANTOS, I. A. **Impactos sobre o meio físico: clima e mudanças climáticas na cidade do Rio de Janeiro**. Cap. 2. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011.
- FANGER, P. O. **Thermal comfort**. New York: McGraw Hill, 1972.
- GAGGE, A. P.; FOBELETS, A. P; BERGLUND, L.G. A standard predictive index of human response to the thermal environment. **ASHRAE Trans**, v. 92, P. 709-731, 1986.
- GAGGE, A. P; STOLWIJK, A. J; HARDY, J. D. Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. **Environmental Research**, n. 1, p. 1-20, 1967.
- GIVONI, B.; NOGUCHI, M.; SAARONI, H.; POCHTER, O.; YAACOV, Y.; FELLER, N.; BECKER, S. Outdoor comfort research issues. **Energy and Buildings**, v. 35, p. 77-86, 2003.
- GOBBO, J. P. A.; GALVANI, E. Aplicação de índice de conforto térmico no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17., 2012, Gramado. **Anais..** Rio de Janeiro: SBMet, 2012.
- _____. O conforto térmico no Rio Grande do Sul: Estudo de caso a partir de dados das normais climatológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17., 2012, Gramado. **Anais..** Rio de Janeiro: SBMet, 2012.
- HENTSCHEL, G. **Die thermischen Empfindungen des Menschen unter natürlichen klimatischen Bedingungen**. Berlin: Akademie-Verlag, 1961.

HÖPPE, P. R.; MAYER, H. Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas. **Landschaft Stadt**, v. 19, p. 22-29, 1987.

_____. Heat balance modelling. **Experientia**, v. 49, p. 741-746, 1993.

_____. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 71-75, 1999.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em 20 maio. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAS/CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (INPE/CPTEC). **Boletim técnico e cartas sinóticas**. Grupo de Previsão de Tempo, Divisão de Operações. Disponível em: <http://tempo1.cptec.inpe.br/bol_tecnico.shtml>. Acesso em: 15 de outubro de 2012.

_____. **Banco de dados de imagens**. Divisão de Satélites Ambientais. Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp>. Acesso em: 15 de outubro de 2012.

JOHANSSON, E. **Urban design and outdoor thermal comfort in warm climates. Studies in Fez and Colombo**. 237 p. Tese de Doutorado – Lund University, Lund, 2006.

MAIA, J. A. **Uma análise do conforto térmico e suas relações meteorotrópicas na cidade de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MARATONA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Página oficial da maratona caixa da cidade do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://www.maratonadorio.com.br>>. Acesso em: 23 de março de 2012.

MATZARAKIS, A.; MAYER, H.; IZIOMON, M. G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 76-84, 1999.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – application of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, v. 51, p. 323-334, 2007.

METEOBLUE. Charts and tools. Disponível em:
<http://www.meteoblue.com/pt_PT/tempo/charts/fourteenday/roma_it_22102>.
Acesso em: 07 de maio de 2012.

MISSENARD, A. **L'Homme at lê climat**. Paris: Plon, 1937.

MONTEIRO, L. M; ALUCCI, M. P. Questões teóricas de conforto térmico em espaços abertos: consideração histórica, discussão do estado da arte e proposição de classificação de modelos. **Ambiente Construído**, v.7, n. 3, p. 43-58, 2007.

NEDEL, A. S. **Condições meteorológicas favoráveis à ocorrência de doenças respiratórias em crianças na cidade de São Paulo**. 189p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, A. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia**. 134 p. (INPE-4008-TDL/239). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MCT-m13@80/2005/08.22.13.12>> . Acesso em: 08 de janeiro de 2013.

PERRY, A. Sports tourism and climate variability. **Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg**, n. 12, p. 174-179, 2004.

PEZZOLI, A.; CRISTOFORI, E. Analizi, previsioni e misure meteorologiche applicate agli sport equestre. In: CONVEGNO: NUOVE ACQUISIZIONI IN MATERIA DI IPPOLOGIA (NEW FINDINGS IN EQUINE PRACTICES), 10., 2008, Druento (Turin-Italy). **Proceedings...** Druento: Centro Internazionale del Cavallo, Druento, 2008.

PEZZOLI, A.; CRISTOFORI, E.; GOZZINI, B.; MARCHISIO, M.; PADOAN, J. Analysis of the thermal comfort in cycling athletes. **Procedia Engineering**, v. 34, p. 433-438, 2012.

REBOITA, M.S.; GAN, M. A.; DA ROCHA, R. P., AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, p. 185-204, 2010.

REDE DE METEOROLOGIA DO COMANDO DA AERONÁUTICA. **Consulta de mensagens meteorológicas– METAR**. Disponível em: <http://www.redemet.aer.mil.br/consulta_msg/consulta_de_mensagem.php?ID_REDEMET=lpc009v8vgkojdddu5o0g9ikq0>. Acesso em: 15 de outubro de 2012.

RIO 2016. **Página oficial dos jogos olímpicos 2016**. Disponível em: <<http://www.rio2016.org/>>. Acesso em: 20 de março de 2012.

RORIZ, M. **Conforto térmico em edificações**: um modelo matemático e uma aplicação. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

SAHA, S; et al. The NCEP climate forecast system. **Bulletin American Meteorology Society**, v. 91, n.10, p. 1015-1057, 2010.

SKAMAROCK, W. C., et al. **A description of the advanced research WRF version 3**. NCAR Technical Note – Mesoscale and Microscale Meteorology Division, National Center for Atmospheric Research, Colorado, EUA, 2008.

SIPLE, P.; PASSEL, C. Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. **Proceedings of the American Philosophical Society**, v. 89, p. 177-199, 1945.

SISTEMA DE ALERTA RIO DA PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Alerta Rio Dados Meteorológicos**. Disponível em: <http://www0.rio.rj.gov.br/alertario/?page_id=862>. Acesso em: 30 mar. 2012.

SPELLMAN, G. Marathon running an all-weather sport? **Weather**, v. 51, p. 118-125, 1977.

STEADMAN, R. G. Indices of Windchill of clothed persons. **Journal of Applied Meteorology**, v. 10, p. 674-682, 1971.

SUPING, Z.; GUANGLIN, M.; YANWEN, W.; JI, L. Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of the meteorotropic effects on distance runners. **International Journal of Biometeorology**, v. 36, p. 63-68, 1992.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, p. 57-60, 1959.

THORNES, J. E. The effect of weather on sport. **Weather**, v.32, p. 258-268, 1977.

TROMP, S. W. **Biometeorology**: the impact of the weather and climate on humans and their environment (animals and plants). London: Heiden, 1980.

WEATHER UNDERGROUND. **Weather forecast and reports** – Histórico para Roma Urbe AFB, Italy. Disponível em:

<http://portuguese.wunderground.com/history/airport/LIRU/2010/12/1/DailyHistory.html?req_city=NA&req_state=NA&req_statename=NA&MR=1>. Acesso em: 15 de setembro de 2012.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Weather and Sports. **WMO**, n. 835, 1996.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2. Ed. Academic Press, 2006. International Geophysics Series.

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o International Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São as sequências de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.