



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-16658-TDI/1616

**ESTUDO DA PREVISIBILIDADE DE EVENTOS
SEVEROS SOBRE O SUDESTE DA AMÉRICA DO SUL
COM ÊNFASE NA REGIÃO DA SERRA DO MAR
USANDO PREVISÃO DE CURTO PRAZO POR
ENSEMBLE**

Josiane Ferreira Bustamante Fonseca

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pela
Dra. Chou Sin Chan, aprovada em 17 de dezembro de 2009.

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/12.09.11.17>>

INPE
São José dos Campos
2010

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

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) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO:

Presidente:

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

Membros:

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

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

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

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

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

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

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Simone A. Del-Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

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



Ministério da
Ciência e Tecnologia



INPE-16658-TDI/1616

**ESTUDO DA PREVISIBILIDADE DE EVENTOS
SEVEROS SOBRE O SUDESTE DA AMÉRICA DO SUL
COM ÊNFASE NA REGIÃO DA SERRA DO MAR
USANDO PREVISÃO DE CURTO PRAZO POR
ENSEMBLE**

Josiane Ferreira Bustamante Fonseca

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pela
Dra. Chou Sin Chan, aprovada em 17 de dezembro de 2009.

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/12.09.11.17>>

INPE
São José dos Campos
2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Fonseca, Josiane Ferreira Bustamante.

F733es Estudo da previsibilidade de eventos severos sobre o sudeste da América do Sul com ênfase na região da Serra do Mar usando previsão de curto prazo por ensemble / Josiane Ferreira Bustamante Fonseca. – São José dos Campos : INPE, 2010.

218 p. ; (INPE-16658-TDI/1616)

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

Orientadora : Dra. Chou Sin Chan.

1. Previsão de curto prazo por conjunto. 2. Modelagem regional. 3. Previsibilidade. 4. Modelo ETA. 5. Eventos severos. I.Título.

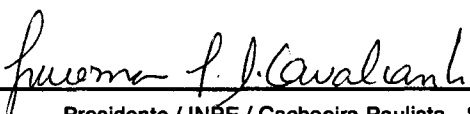
CDU 551.509.313.4(8)

Copyright © 2010 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 © 2010 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 Doutor(a) em
Meteorologia**

**Dra. Iracema Fonseca de Albuquerque
Cavalcanti**




Presidente / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dra. Chou Sin Chan



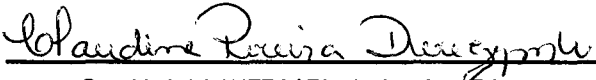
Orientador(a) / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Prakki Satyamurty



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dra. Claudine Pereira Dereczynski



Convidado(a) / UFRJ / Rio de Janeiro - RJ

Dr. Marcio Cataldi



Convidado(a) / UFF / Rio de Janeiro - RJ

Aluno (a): Josiane Ferreira Bustamante Fonseca

São José dos Campos, 17 de dezembro de 2009

*Com carinho para as duas pessoas que mais me compreendem, meu esposo
Luiz Fernando e minha filha Gabriela.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu esposo Luiz Fernando e a minha filha Gabriela, pela paciência e pelos incentivos que sempre me oferecem.

À Dra. Chou Sin Chan, pela orientação e apoio que foram importantes para a realização deste trabalho.

A meus pais, João e Finota, pelo apoio constante em todas as etapas de minha vida.

Aos membros do Conselho de Curso da Meteorologia do INPE, que sempre se colocaram a disposição nos momentos necessários.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC, pela oportunidade de estudo e por disponibilizarem seus recursos para a execução do trabalho.

Ao projeto Serra do Mar/FAPESP (04/09649-0), pelo auxílio à pesquisa.

À bibliotecária Alice Dupont, que sempre se mostrou solícita em atender aos inúmeros pedidos de artigos e livros.

A todos aqueles que de forma direta ou indireta colaboraram para a realização deste trabalho.

RESUMO

As características da previsibilidade de eventos severos são estudadas a partir de simulações com Sistemas de Previsão de Curto Prazo por Conjunto utilizando o modelo Eta com resolução horizontal de 10 km e 38 níveis na vertical. São testadas diferentes metodologias de incorporação das incertezas na previsão. Tanto os erros devido às incertezas das condições iniciais quanto os erros em decorrência das imperfeições do modelo são considerados na estrutura do Ensemble de Curto Prazo. Quatro experimentos foram realizados utilizando 4 casos de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e 4 casos de passagem de Sistema Frontal (SF) que ocorreram sobre a região da Serra do Mar no Sudeste do Brasil. Dois conjuntos foram experimentados para levar em consideração as incertezas das condições iniciais, um em que foram inicialmente perturbados o vento e a temperatura, e outro em que além destes dois campos iniciais, também foi perturbada a variável umidade específica. Os membros fornecidos pela previsão por conjunto do modelo global do CPTEC são utilizados como condições iniciais e de contornos laterais para os experimentos de curto prazo. Um terceiro experimento incorpora às previsões as incertezas nas descrições de processos físicos do modelo. Neste conjunto de previsões, 7 integrações do modelo Eta foram conduzidas com alterações em cada uma delas, quer seja no esquema de parametrização convectiva, no esquema de superfície ou em ambos os esquemas. O quarto conjunto corresponde à combinação das previsões fornecidas pelos membros do ensemble de curto prazo de condição inicial e de parametrizações físicas, formando um conjunto com 11 membros, sendo uma previsão controle, 4 membros de condição inicial e 6 membros de parametrização física. Os resultados são apresentados por meio de índices estatísticos de acerto que normalmente são empregados em avaliações de previsões fornecidas por sistemas de previsão de tempo por conjunto. O *ensemble* de curto prazo sofre os efeitos das modificações do *ensemble* de médio prazo do global, produzindo perturbações que crescem mais rápido do que naqueles casos em que não são aplicadas perturbações na umidade específica. As avaliações estatísticas dos 4 conjuntos indicam que em termos de previsão de precipitação o conjunto de previsões que inclui incertezas das parametrizações leva vantagens em relação aos demais, principalmente nos casos de ZCAS. As previsões probabilísticas foram avaliadas empregando o Diagrama de Talagrand e os índices *Brier Score* e *Brier Skill Score*. Através do Diagrama de Talagrand a variável precipitação acumulada em 24 horas tem distribuição mais homogênea para o conjunto com 11 membros, indicando que o aumento do número de membros pode conduzir a melhoria da qualidade das previsões probabilísticas. A previsão determinística de alta resolução, 5km na horizontal e 50 níveis na vertical, foi comparada em dois eventos com a previsão probabilística de resolução mais baixa. Baseado no RMSE a previsão probabilística apresenta vantagem em relação à previsão determinística.

PREDICTABILITY STUDY OF THE EXTREMES EVENTS OVER SOUTHEAST BRAZILIAN REGION USING SHORT-RANGE ENSEMBLE PREDICTION SYSTEMS

ABSTRACT

Extreme events predictability characteristics are studied from simulations of Short-Range Ensemble Predictions Systems (SREPS) using the Eta model with 10-km horizontal resolution and 38 levels in the vertical. Different methodologies are used to include uncertainties to forecast. Errors from initial conditions and from models deficiencies are considered in the SREPS. South Atlantic Convergence Zone (SACZ) and Frontal Systems (FS) cases which occurred over Serra do Mar region (Southeast of Brazil) were used for tests and evaluation. To investigate the impacts of the initial conditions uncertainties different initial variables were perturbed. One ensemble runs perturbed the wind and temperature, and another included moisture perturbations in the Ensemble Prediction System of the global model (GEPS). The Eta Model SREPS uses these GEPS forecasts as initial and lateral boundary conditions. The third ensemble runs included uncertainties from model physics. In this ensemble, 7 Eta Model integrations were carried out including modifications in two different convective parameterization schemes and one surface parameterization scheme. The fourth ensemble runs is a combination of initial condition and model errors experiments. A SREPS with 11 members was constructed (4 members from initial condition experiment, 6 members from model errors experiment and 1 control unperturbed member). The SREPS perturbations grow faster when moisture perturbations are included. Statistical evaluation indicates better performance for ensemble including model physics than ensemble of initial conditions mainly in ZCAS cases. Talagrand diagrams and Brier Score were used to evaluate the constructed probabilistic forecasts. The 24-hr accumulated precipitation forecast has a flat Talagrand diagram in 11-member ensemble. The increase in the ensemble size leads to more efficient probabilistic forecasts. Brier Score components show for all ensemble experiments good reliability and poor resolution. The high resolution deterministic forecasts, with 5 km in horizontal resolution and 50 levels in the vertical, were compared against lower resolution probabilistic forecasts. Based on RMSE the probabilistic forecasts results shown advantage over high resolution deterministic forecast.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	
1 INTRODUÇÃO.....	27
1.1 Objetivos.....	29
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	33
2.1 Previsibilidade de Eventos Severos.....	33
2.2 Incertezas da Condição Inicial.....	35
2.3 Incertezas do Modelo.....	36
2.4 Previsões de Curto Prazo por Conjunto.....	37
3 DADOS E METODOLOGIA.....	43
3.1 Modelo Regional Eta.....	45
3.2 Sistema de Previsão de Curto-Prazo por <i>Ensemble</i>	47
3.2.1 <i>Ensemble</i> de Perturbação da Condição Inicial.....	47
3.2.1.1 Método EOF Utilizado pelo SPE do Modelo Global CPTEC.....	48
3.2.1.2 Previsão de Curto-Prazo por Ensemble.....	50
3.2.2 <i>Ensemble</i> de Perturbação da Física.....	53
3.2.2.1 Esquema de Convecção Betts-Miller-Janjic.....	55
3.2.2.2 Esquema de Convecção Kain-Fritsch.....	56
3.2.2.3 Esquema de Superfície NOAH.....	58
3.2.2.4 Características dos Membros do SREPF.....	59
3.3 Experimentos de Alta Resolução.....	62
3.4 Dados Utilizados.....	64
3.5 Medidas Utilizadas na Avaliação das Previsões.....	65
3.5.1 <i>Ensemble</i> Médio e Erro Médio Quadrático.....	66
3.5.2 Espalhamento do <i>Ensemble</i>	67
3.5.3 Equitable Threat Score (ETS) e BIAS.....	68
3.5.4 Diagrama de Talagrand.....	69
3.5.5 Brier e Brier Skill Scores.....	70
3.5.6 Considerações sobre as Características das Avaliações Estatísticas.....	72
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	75
4.1 Descrição dos Casos Avaliados.....	75
4.2 Avaliação das Incertezas.....	80
4.2.1 Incertezas das Condições Iniciais.....	82

4.2.2 Incertezas Decorrentes dos Erros dos Modelos.....	111
4.2.3 Incertezas Combinando Perturbações das Condições Iniciais e dos Erros do Modelo.....	123
4.3 Comparação da Previsibilidade dos Casos de ZCAS versus Casos SF...	149
4.4 Previsão Determinística de Alta Resolução versus Previsões Probabilísticas com Resolução mais Baixa.....	158
5 CONCLUSÕES.....	171
6 SUGESTÕES.....	177
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	179
ANEXO A – Artigo publicado no periódico Journal of Geophysical Research.....	189

LISTA DE FIGURAS

Pág.

- Figura 3.1 – Estações meteorológicas consideradas no cálculo do ETS e BIAS.....65
- Figura 4.1 - Precipitação acumulada em 6 dias (mm) no período entre: a) 31/12/1999 e 5/01/2000 (ZCAS2000); b) 26 e 31/01/2003 (ZCAS2003); c) 25 e 30/01/2004 (ZCASjan2004); d) 20 e 25/02/2004 (ZCASfeb2004).....79
- Figura 4.2 - Precipitação acumulada em 24 horas (mm) às 1200 UTC ocorrida no dia: a) 09 de dezembro 2002 (SF2002); b) 22 de abril 2004 (SF2004); c) 09 de abri 2006 (SF2006); d) 13 de janeiro 2008 (SF2008).....80
- Figura 4.3 - Umidade específica em 850-hPa (g/kg): diferença entre a condição inicial do membro perturbado e a análise sem perturbações do NCEP: a) EPS e b) EPSH. Valores negativos em sombreado.....83
- Figura 4.4 - Umidade específica em 850-hPa (g/kg) diferenças entre as previsões do EPSH e EPS: a) previsão de 72 horas e b) previsão de 144 horas. Valores negativos em sombreado indicam a redução da umidade inicial do EPSH em relação ao EPS.....84
- Figura 4.5 - Umidade específica em 850-hPa (g/kg) diferença entre as previsões do SREPH and SREP: a) previsão de 72 horas e b) previsão de 144 horas. Valores negativos em sombreado indicam a redução da umidade inicial do SREPH em relação ao SREP.....85
- Figura 4.6 - Umidade específica em 850-hPa (g/kg) média das diferenças entre as previsões do ensemble e a previsão controle de todos os membros dos quatro casos de ZCAS: a) EPSH e EPS; b) SREPH e SREP.....86
- Figura 4.7 - Perfil Vertical da diferença entre a primeira perturbação EOF e o membro não perturbado da umidade específica (g/kg) na latitude 23°

S do: a) instante inicial do SREP; b) instante inicial do SREPH; c) 24 horas de previsão do SREP; d) 24 horas de previsão do SREPH; e) 72 horas de previsão do SREP; f) 72 horas de previsão do SREPH; g) previsão de 144 horas do SREP; h) previsão de 144 horas do SREPH.....	88
Figura 4.8 - Espalhamento das previsões do ensemble do SREP (linha sólida), SREPH (linha tracejada), EPS (linha pontilhada) and EPSH (linha tracejada-pontilhada) para: a) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e b) precipitação acumulada em 3 horas (mm/3h).....	90
Figura 4.9 - RMSE e SPR para os casos de ZCAS da: a) temperatura em 850-hPa (°C) e b) umidade específica em 850-hPa (g/kg). RMSE é a linha sólida e tracejada para o SREPH, SREP e a rodada controle (com círculos). SRP é a linha tracejada-pontilhada e pontilhada para o SREPH e SREP.....	93
Figura 4.10 - Precipitação acumulada em 24 horas média para todo o domínio: ensemble médio previsto pelo SREP (barras em vermelho); ensemble médio previsto pelo SREPH (barras em verde); precipitação observada (barras em preto).....	94
Figura 4.11 – ETS e BIAS do ensemble médio do SREP e SREPH da precipitação acumulada em 24 horas dos casos de ZCAS: Os números na abcissa são os valores dos limiares de precipitação em mm (linha superior) e o número de observações em cada limiar (linha inferior).....	95
Figura 4.12 - Diagramas de Talagrand para a TEMP para as previsões dos casos de ZCAS de: a) 24 horas; b) 144 horas.....	97
Figura 4.13 - Diagramas de Talagrand para a UMES para as previsões dos casos de ZCAS de: a) 24 horas; b) 144 horas.....	97
Figura 4.14 - Diagramas de Talagrand para a PNMM para as previsões dos casos de ZCAS de: a) 24 horas; b) 144 horas.....	97
Figura 4.15 - Diagramas de Talagrand para a precipitação acumulada em 24 horas para as previsões do caso de ZCAS de: a) 24 horas; b) 144 horas.....	98

Figura 4.16 – Brier Score da PNMM dos casos de ZCAS. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.....	101
Figura 4.17 – Brier Score da TEMP dos casos de ZCAS. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.....	102
Figura 4.18 - RMSE e SPR para os casos de SF da: a) temperatura em 850-hPa ($^{\circ}$ C) e b) umidade específica em 850-hPa (g/kg). RMSE é a linha sólida e tracejada para o SREPH, SREP e a rodada controle (com círculos). SRP é a linha tracejada-pontilhada e pontilhada para o SREPH e SREP.....	104
Figura 4.19 - ETS e BIAS do ensemble médio do SREP e SREPH da precipitação acumulada em 24 horas dos casos de SF: Os números na abcissa são os valores dos limiares de precipitação em mm (linha superior) e o número de observações em cada limiar (linha inferior).....	105
Figura 4.20 - Diagramas de Talagrand para a TEMP para as previsões dos casos de SF de: a) 24 horas; b) 72 horas.....	107
Figura 4.21 - Diagramas de Talagrand para a UMES para as previsões dos casos de SF de: a) 24 horas; b) 72 horas.....	107
Figura 4.22 - Diagramas de Talagrand para a PNMM para as previsões dos casos de SF de: a) 24 horas; b) 72 horas.....	107
Figura 4.23 - Diagramas de Talagrand para a precipitação acumulada em 24 horas para as previsões do caso de SF de: a) 24 horas; b) 72 horas.....	108
Figura 4.24 – Brier Score da PNMM dos casos de Sistema Frontal. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.....	109
Figura 4.25 – Brier Score da TEMP dos casos de Sistema Frontal. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.....	110
Figura 4.26 - RMSE e SPR para os casos de ZCAS da: a) temperatura em 850-hPa ($^{\circ}$ C) e b) umidade específica em 850-hPa (g/kg). RMSE é a	

linha tracejada para o SREPF e a rodada controle (com círculos). SRP é a linha cheia para o SREPF.....	113
Figura 4.27 - Diagramas de Talagrand para a TEMP para as previsões dos casos de ZCAS.....	114
Figura 4.28 - Diagramas de Talagrand para a UMES para as previsões dos casos de ZCAS.	114
Figura 4.29 - Diagramas de Talagrand para a PNMM para as previsões dos casos de ZCAS.....	115
Figura 4.30 - Diagramas de Talagrand para a precipitação acumulada em 24 horas para as previsões dos casos de ZCAS.	115
Figura 4.31 – Brier Score PNMM dos caso de ZCAS dos membros do SREPF. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.....	117
Figura 4.32 – Brier Score TEMP dos casos de ZCAS dos membros do SREPF. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.....	118
Figura 4.33 - RMSE e SPR para os casos de SF da: a) temperatura em 850- hPa (°C) e b) umidade específica em 850-hPa (g/kg). RMSE é a linha tracejada para o SREPF e a rodada controle (com círculos). SRP é a linha cheia para o SREPF.....	119
Figura 4.34 - Diagramas de Talagrand para a TEMP para as previsões dos casos de SF.....	120
Figura 4.35 - Diagramas de Talagrand para a UMES para as previsões dos casos de SF.....	121
Figura 4.36 - Diagramas de Talagrand para a PNMM para as previsões dos casos de SF.....	121
Figura 4.37 - Diagramas de Talagrand para a precipitação acumulada em 24 horas para as previsões dos casos de SF.....	122
Figura 4.38 - Brier Score da PNMM dos casos de Sistema Frontal dos membros do SREPF. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.....	123

Figura 4.39 - Brier Score TEMP dos casos de Sistema Frontal dos membros do SREPF. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.....	124
Figura 4.40 - RMSE e SPR para os casos de ZCAS da: a) temperatura em 850-hPa ($^{\circ}\text{C}$), b) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e c) PNMM (hPa). RMSE é a linha tracejada para o SREPH, SREPF e SREPT e a rodada controle (com círculos). SRP é a linha cheia para o SREPH, SREPF e SREPT.....	127
Figura 4.41 - Diferenças do RMSE do EM do SREPH (curva verde), SREPF (curva azul) e SREPT (curva roxo) com o RMSE da previsão controle para os casos de ZCAS da: a) temperatura em 850-hPa ($^{\circ}\text{C}$), b) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e c) PNMM (hPa).....	128
Figura 4.42 - Diferença entre RMSE do ensemble médio e SPR da previsão para os casos de ZCAS da: a) temperatura em 850-hPa ($^{\circ}\text{C}$), b) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e c) PNMM (hPa).....	130
Figura 4.43 - ETS e BIAS do ensemble médio do SREPT, SREPF e SREPH da precipitação acumulada em 24 horas dos casos de ZCAS. Os números na abcissa são os valores dos limiares de precipitação em mm (linha superior) e o número de observações em cada limiar (linha inferior).....	131
Figura 4.44 - Diagramas de Talagrand para a TEMP para as previsões dos casos de ZCAS do SREPT.....	133
Figura 4.45 - Diagramas de Talagrand para a UMES para as previsões dos casos de ZCAS do SREPT.....	133
Figura 4.46 - Diagramas de Talagrand para a PNMM para as previsões dos casos de ZCAS do SREPT.....	133
Figura 4.47 - Diagramas de Talagrand para a precipitação acumulada em 24 horas para as previsões dos casos de ZCAS do SREPT.....	134
Figura 4.48 – Brier Score da PNMM dos casos de ZCAS dos membros do SREPH, SREPF e SREPT. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.....	136

Figura 4.49 – Brier Score TEMP dos casos de ZCAS dos membros do SREPH, SREPF e SREPT. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.....	137
Figura 4.50 - RMSE e SPR para os casos de SF da: a) temperatura em 850-hPa (°C), b) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e c) PNMM (hPa). RMSE é a linha tracejada para o SREPH, SREPF e SREPT e a rodada controle (com círculos). SRP é a linha cheia para o SREPH, SREPF e SREPT.....	140
Figura 4.51 - Diferença entre RMSE do ensemble médio e RMSE da previsão controle para os casos de SF da: a) temperatura em 850-hPa (°C), b) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e c) PNMM (hPa).....	141
Figura 4.52 - Diferença entre RMSE do ensemble médio e SPR da previsão para os casos de SF da: a) temperatura em 850-hPa (°C), b) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e c) PNMM (hPa).....	142
Figura 4.53 - ETS e BIAS do ensemble médio do SREPT, SREPF e SREPH da precipitação acumulada em 24 horas dos casos de SF. Os números na abcissa são os valores dos limiares de precipitação em mm (linha superior) e o número de observações em cada limiar (linha inferior).....	143
Figura 4.54 - Diagramas de Talagrand para a TEMP para as previsões dos casos de SF do SREPT.....	145
Figura 4.55 - Diagramas de Talagrand para a UMES para as previsões dos casos de SF do SREPT.....	145
Figura 4.56 - Diagramas de Talagrand para a PNMM para as previsões dos casos de SF do SREPT.....	146
Figura 4.57 - Diagramas de Talagrand para a precipitação acumulada em 24 horas para as previsões dos casos de SF do SREPT.....	146
Figura 4.58 – Brier Score PNMM dos casos de Sistema Frontal dos membros do SREPH, SREPF e SREPT. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score..	147

- Figura 4.59 – Brier Score da TEMP dos casos de Sistema Frontal dos membros do SREPH, SREPF e SREPT. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.....149
- Figura 4.60 – Previsões de precipitação da previsão determinística e do ensemble médio do SREPH, SREPF e SRET do caso ZCAS2000 acumulada em: a-d) 6 dias; e-q) acumulada em 24 horas para os prazos de previsão de 24, 72 e 144 horas.....160
- Figura 4.61 – Precipitação acumulada em 144 horas do caso ZCAS2000. Previsão e valores observados: a) previsão determinística; c) EM do SREPH; e) EM do SREPF; g) EM do SREPT. Diferença entre a previsão e a observação: b) previsão determinística; d) EM do SREPH; f) EM do SREPF; h) EM do SREPT.....162
- Figura 4.62 – Previsões de precipitação da previsão determinística e do ensemble médio do SREPH, SREPF e SRET do caso ANGRA2002 acumulada em: a-d) 3 dias; e-q) 24 horas.....164
- Figura 4.63 – Precipitação acumulada em 72 horas do caso ANGRA2002. Previsão e valores observados: a) previsão determinística; c) EM do SREPH; e) EM do SREPF; g) EM do SREPT. Diferença entre a previsão e a observação: b) previsão determinística; d) EM do SREPH; f) EM do SREPF; h) EM do SREPT.....166
- Figura 4.64 – RMSE do caso ANGRA2002 para as variáveis: a) temperatura em 850 hPa; c) umidade específica em 850 hPa; e) pressão ao nível médio do mar. RMSE do caso ZCAS2000 para as variáveis: a) temperatura em 850 hPa; c) umidade específica em 850 hPa; e) pressão ao nível médio do mar.....168

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 3.1 - Valores dos desvios padrões utilizados para reescalonar os campos de temperatura (T), vento (V) e umidade específica (U), para cada nível sigma (σ) do MCGA-CPTEC. Para a umidade específica os valores estão multiplicados por um fator de 10^3	52
Tabela 3.2: Descrição dos membros do SREPF.....	61
Tabela 4.1: Descrição dos casos de Zona de Convergência do Atlântico Sul e passagem de Sistema Frontal escolhidos para avaliação.....	77
Tabela 4.2: Valores dos percentuais da distribuição do Diagrama de Talagrand para os casos de ZCAS das previsões de 24 e 144 horas dos experimentos SREPT, SREPF e SREPH. C_1 corresponde a % de previsões que caem no intervalo de classe 1 e C_{n+1} corresponde ao intervalo de classe do número de membros do ECP mais 1.....	134
Tabela 4.3: Valores dos percentuais da distribuição do Diagrama de Talagrand para os casos de SF das previsões de 24 e 72 horas dos experimentos SREPT, SREPF e SREPH. C_1 corresponde a % de previsões que caem no intervalo de classe 1 e C_{n+1} corresponde ao intervalo de classe do número de membros do ECP mais 1.....	145
Tabela 4.4: Valores do índice ETS para os casos de ZCAS e SF dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.....	150
Tabela 4.5: Valores do RMSE do ensemble médio da PNMM (hPa) para os casos de ZCAS e SF dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.....	151
Tabela 4.6: Valores do RMSE do ensemble médio da TEMP ($^{\circ}$ C) para os casos de ZCAS e SF dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.....	152
Tabela 4.7: Valores do RMSE do ensemble médio da UMSE (g/kg) para os casos de ZCAS e SF dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.....	152
Tabela 4.8: Valores do espalhamento do ensemble da PNMM (hPa) para os casos de ZCAS e SF dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.....	153

Tabela 4.9: Valores do espalhamento do ensemble da TEMP (°C) para os casos de ZCAS e SF dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.....	154
Tabela 4.10: Valores do Espalhamento do ensemble da UMES (g/kg) para os casos de ZCAS e SF dos experimentos SREPT, SREPH e SREP.....	154
Tabela 4.11: Índice Brier Score; componente confiabilidade dos casos de sistema frontal e ZCAS da variável PNMM dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.....	155
Tabela 4.12: Índice Brier Score; componente resolução dos casos de sistema frontal e ZCAS da variável PNMM dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.....	155
Tabela 4.13: Índice Brier Score; componente incerteza dos casos de sistema frontal e ZCAS da variável PNMM dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.....	156
Tabela 4.14: Índice BS dos casos de SF e ZCAS da variável PNMM dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.....	156
Tabela 4.15: Índice Brier Score; componente confiabilidade dos casos de sistema frontal e ZCAS da TEMP dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.....	157
Tabela 4.16: Índice Brier Score; componente resolução: dos casos de sistema frontal e ZCAS da variável TEMP dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.....	157
Tabela 4.17: Índice Brier Score; componente incerteza: dos casos de sistema frontal e ZCAS da variável TEMP dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.....	157
Tabela 4.18: Índice BS dos casos de sistema frontal e ZCAS da TEMP dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.....	157

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AC	Análise de Cluster
BMJ	Betts-Miller-Janjic
BS	Brier Score
BSS	Brier Skill Score
COSMO-LEPS	COntortium for Small-scale Modeling – Limited Ensemble Prediction System
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecast
ECP	Ensemble de Curto Prazo
EM	Ensemble Médio
EMP	Ensemble de Médio Prazo
EOF	Empirical Orthogonal Function-based perturbation
EPS	Experimento SPE sem umidade
EPSH	Experimento SPE com umidade
ETS	Equitable Threat Score
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
KF	Kain-Fritsch
LEPS	Limited-area Ensemble Prediction System
MOGREPS	Met Office Global and Regional Ensemble Prediction System
MM5	Mesoscale Model versão 5
NCEP	National Center for Environmental Prediction
REL	Componente confiabilidade do BS
RES	Componente resolução do BS
RMSE	Root Mean Square Error
PNMM	Pressão ao Nível Médio do Mar
TEMP	Temperatura em 850 hPa
UMES	Umidade Específica em 850 hPa
SAMEX	Storm and Mesoscale Ensemble Experiment
SF	Sistema Frontal
SF2002	Sistema Frontal ocorrido em dezembro de 2002
SF2004	Sistema Frontal ocorrido em abril de 2004
SF2006	Sistema Frontal ocorrido em abril de 2006

SF2008	Sistema Frontal ocorrido em janeiro de 2008
SM	Serra do Mar
SPE	Sistema de Previsão por Ensemble
SPR	Espalhamento da Previsão por Ensemble
SREP	Sistema de Previsão por Ensemble de Curto-Prazo experimento seco
SREPF	Sistema de Previsão por Ensemble de Curto-Prazo de física
SREPH	Sistema de Previsão por Ensemble de Curto-Prazo experimento úmido
SREPT	Sistema de Previsão por Ensemble de Curto-Prazo de condição inicial e física
UNC	Componente Incerteza do BS
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCAS2000	Zona de Convergência do Atlântico Sul ocorrido em janeiro de 2000
ZCAS2003	Zona de Convergência do Atlântico Sul ocorrido em janeiro de 2003
ZCAS2004J	Zona de Convergência do Atlântico Sul ocorrido em janeiro de 2004
ZCAS2004F	Zona de Convergência do Atlântico Sul ocorrido em fevereiro de 2004
WMO	Organização Meteorológica Mundial

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios da modelagem numérica da atmosfera é fornecer previsões de curto, médio e longo prazos com alto grau de acerto. Isto se deve, entre outros fatores, a grande variação das escalas espaciais e temporais dos fenômenos meteorológicos. Enquanto situações meteorológicas, onde o padrão de grande escala é dominante, são previstas com satisfatório índice de acerto, permanece uma grande dificuldade em prever com acurácia eventos de mesoescala, principalmente aqueles eventos caracterizados como severos.

Outros dois fatores são fundamentais para a qualidade das previsões: o quão próximo ao estado real da atmosfera esteja a condição inicial utilizada no instante inicial da integração do modelo e como são as representações dos processos físicos e dinâmicos da atmosfera neste modelo. Reynolds (1994) classificou estes dois fatores como duas fontes de erros para as previsões numéricas, denominando-os como erros internos (decorrentes da presença de incertezas nas condições iniciais) e erros externos (devido às deficiências dos modelos). Estes erros crescerão com o avanço do prazo de integração em função do escoamento atmosférico atuante, tornando assim a previsibilidade atmosférica dependente do estado. A consideração destes erros na elaboração de um sistema de previsão deve influir na previsibilidade dos eventos de tempo e clima e, conseqüentemente, na utilidade das previsões. Charney (1951) indica em seus estudos que mesmo com o avanço tecnológico dos modelos tornando-os cada vez mais próximos à realidade, ainda permaneceria um limite para a utilidade das previsões numéricas da atmosfera, ou seja, um limite de previsibilidade dos fenômenos atmosféricos. Em Lorenz (1963 a, b) este limite de previsibilidade nas latitudes médias é estimado em duas semanas, mesmo que modelos numéricos e condições iniciais perfeitos sejam utilizados, pois a atmosfera terrestre comporta-se como um sistema caótico, onde pequenas perturbações nas condições iniciais crescerão com o avanço do prazo de previsão.

Sendo inevitável a presença de deficiências que limitam a qualidade das previsões e, conseqüentemente, o limite de previsibilidade dos diferentes fenômenos atmosféricos, a aplicação da técnica de previsão por conjunto, conhecida também como previsão por *ensemble* (TOTH; KALNAY, 1993) é uma maneira de explorar estas incertezas e conduzir as previsões numéricas a resultados com maior eficácia do que uma única previsão determinística. Desta forma torna-se possível prever a probabilidade de ocorrência de um evento futuro com maior confiabilidade do que uma única previsão, pois esta última por não considerar as pequenas incertezas nas condições iniciais e os erros dos modelos, pode conduzir a resultados que apresentem baixa confiabilidade. Em geral, espera-se, que em média a previsão por *ensemble* seja melhor do que a previsão determinística de qualquer um dos membros do conjunto (TOTH; KALNAY, 1993; TRACTON; KALNAY, 1993; MOLTENI ET AL., 1996; BUIZZA, 1997).

Desta forma, os possíveis cenários futuros para a previsão fornecidos por um sistema de previsão por *ensemble* geram a probabilidade de ocorrência dos eventos de acordo com o número de membros que compõe cada cenário. Uma previsão na qual a maioria dos membros converge para um resultado próximo é considerada uma previsão com alto grau de confiança. Assim a previsão de diferentes situações meteorológicas pode ser utilizada de acordo com o grau de previsibilidade, em função do espalhamento fornecido pela previsão por *ensemble*, ou seja, situações meteorológicas com espalhamento grande demonstram baixa confiabilidade, enquanto que situações com pequeno espalhamento representam situações atmosféricas com alta confiabilidade na previsão.

Eventos severos normalmente estão associados a padrões atmosféricos com baixa previsibilidade e, previsões determinísticas, mesmo que sejam obtidas a partir de modelos numéricos com alta resolução, apresentam dificuldade em prever tais eventos corretamente. O emprego da técnica de *ensemble* em combinação com modelos de alta resolução pode tornar as previsões de eventos severos mais eficientes.

1.1 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é estudar a previsibilidade de eventos severos através do uso de um sistema de previsão por *ensemble* (SPE) empregando um modelo numérico de alta resolução. O modelo a ser utilizado será o modelo de área limitada Eta (BLACK, 1992; MESINGER, 1988). Os estudos serão concentrados sobre a região da Serra do Mar, onde eventos severos ocorrem com alta frequência e os efeitos sobre a população local são fortemente sentidos, como, por exemplo, a ocorrência de episódios de chuvas intensas associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) durante o verão. O ambiente meteorológico de grande escala, a influência da topografia e a contribuição da brisa marítima são fatores que devem ser amplamente conhecidos, pois influem diretamente na formação ou intensificação dos eventos severos. Para os estudos foram escolhidos casos de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e de passagem de sistemas frontais que estão catalogados no Banco de Morte do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

Algumas questões fundamentais deverão ser exploradas:

- a) Qual o impacto da inclusão de novas fontes de incerteza na condição inicial sobre os resultados da previsão por *ensemble*? O *ensemble* atualmente em operação no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) emprega perturbações iniciais apenas nos campos de vento e temperatura. Espera-se com a inclusão de uma terceira fonte de perturbações, a umidade específica, que a metodologia de previsão de curto-prazo por *ensemble* aumente sua habilidade em capturar as incertezas presentes na condição inicial.

- b) Qual das formas de previsão fornece maior grau de acerto para os fenômenos de chuva intensa na região da Serra do Mar? A previsão determinística de alta resolução ou as previsões por conjunto com

resolução menor? Espera-se que o desempenho de previsões por *ensemble*, mesmo com resolução menor que a determinística de alta resolução, seja similar ou melhor que esta.

- c) Qual técnica de *ensemble* deverá ser aplicada? Previsões por *ensemble* podem ser feitas com diferentes técnicas, tais como: explorando a incerteza da condição inicial (MARSIGLI, 2000); empregando diferentes parametrizações físicas em um mesmo modelo de previsão numérica (STENSRUD ET AL., 2000, CLARK ET AL., 2008); utilizando diferentes modelos numéricos (DU ET AL., 2004); usando diferentes métodos de assimilação (ECKEL; MASS, 2005); ou combinando todas estas técnicas (DU ET AL., 2006).
- d) Qual o impacto do número de membros de um sistema de previsão por *ensemble*? A combinação de previsões por conjunto de condição inicial e de física deve conduzir à melhores resultados, além de ser uma maneira de aumentar o número de membros de um sistema de previsão por *ensemble*. Buizza e Palmer (1998) mostraram que aumentando o tamanho do *ensemble* de 8 para 32 membros a destreza do *ensemble* médio foi estendida em 6 horas de previsão enquanto que para as previsões probabilísticas a destreza foi estendida em 12 horas.

Diante das questões acima mencionadas este trabalho explora, principalmente, os seguintes aspectos:

1. Aplicação de um sistema de previsão por *ensemble*, a casos de eventos severos ocorridos sobre a região da Serra do Mar (SM), na Região Sudeste do Brasil.
2. Avaliação do quanto a previsibilidade destes eventos é alterada em função das diferentes perturbações nos processos físicos empregados e ou das diferentes condições iniciais e de contorno lateral utilizadas.

Com os resultados obtidos espera-se auxiliar na implantação de um sistema de *ensemble* de curto prazo que possibilite um ganho na previsibilidade dos eventos severos de tempo.

A revisão bibliográfica dos recentes trabalhos relacionados ao tema em estudo é apresentada no Capítulo 2. As descrições das metodologias usadas para configurar e executar os experimentos, além da metodologia de avaliação e os dados utilizados são apresentados no Capítulo 3. No Capítulo 4 são descritos os casos selecionados para estudo e discutidos os resultados. As conclusões são apresentadas no Capítulo 5. Sugestões de trabalhos futuros são indicadas no Capítulo 6.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi estruturada em 4 tópicos principais: estudos sobre previsibilidade; influência das perturbações sobre as condições iniciais nas previsões (erros internos); influência de perturbações dos modelos nas previsões (erros externos) e metodologias de previsões de curto prazo por conjunto.

2.1 Previsibilidade de Eventos Severos

A previsibilidade das previsões de tempo e clima é determinada pela projeção das incertezas das condições iniciais e das formulações dos modelos sobre as instabilidades dependentes do escoamento. Então, torna-se essencial estimar o impacto destas incertezas sobre a precisão das previsões. Tennekes (1991) afirma que não há justificativa em fazer previsões sem ter um senso da acurácia destas previsões, ou seja, nenhuma previsão numérica de tempo pode ser considerada completa sem uma estimativa de seu desempenho.

Segundo Lorenz (1963 a, b) sistemas dinâmicos instáveis tem limite finito de previsibilidade, enquanto que sistemas estáveis são infinitamente previsíveis. A atmosfera terrestre é um sistema caótico, o que implica que a evolução deste sistema é sensível as especificações dos estados iniciais. Desta forma fica evidente a importância de quantificar o papel dos erros iniciais na limitação da acurácia das previsões de tempo e clima.

Outro fator de extrema importância quando se está estudando a previsibilidade dos eventos meteorológicos é a determinação da taxa de crescimento do erro da previsão. Em Baumehefner (1984) é demonstrado que o erro típico dos fenômenos de grande escala dobra em dois dias e que este tempo de crescimento do erro é menor para fenômenos de menor escala. Warner (1992) sugere que alguns fenômenos de mesoescala têm maior previsibilidade do que outros especialmente aqueles forçados por características de superfície, como por exemplo, a topografia.

Pesquisas em previsibilidade de fenômenos de mesoescala tiveram início com o trabalho de Anthes et al. (1985), que mostraram pouca divergência entre previsões obtidas a partir de simulações usando diferentes condições iniciais em um modelo de mesoescala de área limitada.

Mais recentemente, Zhang et al. (2002, 2003) demonstraram a possível influência de pequenos erros de pequena amplitude e escala sobre previsões numéricas em casos de tempestades de neve. Eles acharam que erros iniciais crescem rapidamente em escalas abaixo de 200 km na presença de processos úmidos.

Nuss e Miller (2001) investigaram o impacto de pequenos erros de grande escala sobre o crescimento dos erros de mesoescala e a limitação que a falta de resolução dos modelos pode causar sobre os limites da previsibilidade.

Eventos severos são freqüentemente associados ao desenvolvimento de sistemas de mesoescala que atingem sua intensidade máxima sobre regiões relativamente pequenas e que são fortemente afetadas pela topografia local. Nestes casos a alta resolução horizontal pode ser essencial para capturar a intensidade dos eventos de tempo. Stensrud e Fritsch (1994 a, b) mostraram a sensibilidade das previsões à presença ou ausência, de detalhes de mesoescala na condição inicial dos modelos.

Por outro lado, estudos da previsibilidade de eventos extremos de precipitação durante a estação quente usando modelos de alta resolução indicaram que apenas o aumento de resolução não é suficiente para conduzir à melhor previsão (ZHANG ET AL., 2006). A previsibilidade determinística limitada destes eventos é um indicativo da necessidade do desenvolvimento da previsão probabilística de mesoescala.

2.2 Incertezas das Condições Iniciais

Explorar a incerteza da condição inicial é a idéia primeiramente empregada na técnica de previsão por *ensemble*. Desde que eventos extremos estão entre aqueles fenômenos atmosféricos que apresentam maior dificuldade de previsão, a aplicação da técnica de *ensemble* pode conduzir as previsões numéricas a resultados com maior confiabilidade. No entanto, o número de membros de um *ensemble* deve ser tal que todas as representações possíveis do estado inicial da atmosfera sejam obtidas (TOTH; KALNAY, 1993). Isto pode levar a um número excessivo de membros, o que pode significar um alto custo computacional, além de que alguns elementos do conjunto podem conduzir a previsões muito semelhantes. Torna-se então conveniente a escolha de um método de perturbações que gere condições iniciais em um número mínimo que levem a distintas previsões.

Determinar o melhor método de perturbação da condição inicial não é trivial. Um dos problemas é a falta de conhecimento do erro da análise. O que se torna mais crítico ainda para fenômenos de mesoescala (STENSRUD ET AL., 1999).

Entre os métodos de perturbação da condição inicial mais comumente conhecidos estão: o método de Monte Carlo (LEITH, 1974), que utiliza variações (perturbações) em torno dos valores da análise inicial adicionando números randômicos característicos dos erros das observações utilizadas; o método de Hoffman e Kalnay (1983) onde as condições iniciais da data corrente são fornecidas pelas rodadas anteriores do modelo válidas para a data presente; o método conhecido como *Singular Vector* (MOLTENI ET AL., 1996) que vem sendo utilizado no *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF); a técnica denominada como *Breeding* (TOTH; KALNAY, 1993) aplicada no *National Center for Environmental Prediction* (NCEP); o método de Zhang (1977) que gera perturbações iniciais ideais para as regiões tropicais baseado em uma análise de componentes principais, denominado *Empirical Orthogonal Function* (EOF). Este método vem sendo utilizado operacionalmente no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

(CPTEC). Estudos recentes com novas fontes de perturbação e diferentes regiões perturbadas utilizando a técnica EOF foram realizados por Mendonça e Bonatti (2009). Mais recentemente, métodos baseados em *Ensemble Kalman Filter* vêm sendo desenvolvidos (WEI ET AL., 2006; OTT ET AL., 2004; WANG; BISHOP, 2003).

Técnicas de *ensemble* de condição inicial usadas na previsão numérica de tempo foram primeiramente empregadas utilizando modelos globais para previsões de médio prazo (de 5 a 15 dias) e demonstram evidentes vantagens das previsões do *ensemble* médio sobre as previsões determinísticas (TOTH; KALNAY, 1993; TRACTON; KALNAY, 1993; MOLTENI ET AL., 1996; BUIZZA, 1997; MENDONÇA; BONATTI, 2006). Outros estudos comparativos entre previsões determinísticas e previsões por *ensemble* (RICHARDSON, 2000; TOTH ET AL. 1998) indicam que previsões por *ensemble* apresentam maior acurácia, maior destreza e agregam mais informações que as previsões determinísticas.

2.3 Incertezas dos modelos

Aliado as incertezas na condição inicial, existem os erros associados às incertezas dos modelos, ou seja, erros devido a nossa reduzida habilidade em representar computacionalmente a totalidade das equações que governam a atmosfera. Palmer et al. (2005) afirmam que modelos numéricos inadequados são inevitáveis, pois ainda não é possível representar numericamente as leis físicas da atmosfera em sua totalidade. Além disto, processos físicos que ocorrem em escalas espaciais menores do que as escalas de truncamento dos modelos podem ter sido parametrizados com aproximações inadequadas.

Mesmo que a contribuição da física dos modelos para as incertezas sejam principalmente devido às representações imperfeitas dos processos atmosféricos, estas incertezas podem também ser dependentes da resolução dos modelos. Tribbia e Baumhefner (1988) associam as imperfeições das

representações à resolução dos modelos, pois, como as escalas de tempo e espaço são diferentes nos modelos globais e de mesoescala, os aspectos da previsão que são relevantes são diferentes em cada um dos modelos. Atger (2001) associa esta deficiência dos modelos em prever eventos severos ao fato que os processos físicos que estão presentes nestes eventos não são bem resolvidos nos modelos atmosféricos, devido às aproximações introduzidas, como por exemplo, a parametrização de convecção, a limitação das resoluções horizontal e vertical, e a representação da topografia.

Apesar do constante avanço computacional das últimas décadas, que permitiram o desenvolvimento de modelos numéricos mais aperfeiçoados, previsões acuradas de condições extremas de tempo, especialmente quando relacionado a estruturas de precipitação intensa e localizada, ainda são de difícil previsão para além de 2 dias (MULLEN; BUIZZA, 2001). Esta limitação deve-se, entre outras razões, ao inerente baixo grau de previsibilidade típico dos fenômenos físicos de mesoescala.

Diversos casos de eventos severos têm sido estudados usando ensemble de física, entre eles os casos de tornados sobre a Europa (STENSRUD, 2001). Neste estudo um sistema de previsão por ensemble de curto-prazo utilizando diferentes parametrizações de convecção e de superfície, num total de 6 membros foi aplicado e índices de instabilidade foram avaliados.

2.4 Previsões de Curto Prazo por Conjunto

A falta de resolução horizontal dos modelos globais, que normalmente são empregados nos SPE não possibilita a representação de uma forma realística dos sistemas de mesoescala, o que reduz a possibilidade de previsão de eventos severos com alguns dias de antecedência (MARSIGLI ET AL., 2001). Uma alternativa é o uso de modelos regionais de alta resolução em combinação com sistemas de previsão de curto prazo por *ensemble*.

A previsão por *ensemble* é amplamente empregada em modelos globais e quando utilizada em modelos regionais pode melhorar a forma de usar a previsão de curto prazo (HAMILL; COLLUCCI, 1997; STENSRUD ET AL. 1999). As incertezas nas condições iniciais e os esquemas de parametrização física dos modelos podem ser usados para gerar estes conjuntos (STENSRUD; FRITSCH, 1994b).

A sensibilidade dos modelos de previsão numérica de tempo às incertezas nas condições iniciais ou no esquema de parametrização física empregado depende do fenômeno envolvido (STENSRUD ET AL., 1999). Casos de ciclogêneses explosivas sofrem grande influência dos erros de condições iniciais (MULLEN; BAUMHEFNER, 1989, 1994), enquanto que a simulação de linhas de instabilidade é afetada pela função gatilho que determina quando e onde a parametrização de convecção deve ser ativada (KAIN; FRITSCH, 1992). O que demonstra a necessidade de combinar as incertezas das condições iniciais com as incertezas dos modelos em um sistema de previsão de curto prazo por *ensemble*.

McQueen et al., 2004, comparam diferentes esquemas de *ensemble* de curto prazo envolvendo perturbação da condição inicial, perturbação da física e a utilização de vários modelos. A combinação dos diferentes esquemas proporciona maior espalhamento e aumento da habilidade em capturar as incertezas da previsão.

Stensrud et al., 2000, usando o modelo regional MM5 (*Mesoscale Model*, versão 5), simularam o desenvolvimento de sistemas convectivos de mesoescala aplicando um esquema de *ensemble* de condições iniciais em conjunto com um esquema de *ensemble* de física num total de 19 membros. No esquema de *ensemble* de física foram empregados 5 esquemas de parametrização convectiva diferentes, 2 esquemas de parametrização de superfície e a alteração de um parâmetro de controle dos fluxos de calor

sensível e latente. Os resultados indicam o aumento da previsibilidade tanto com o uso do *ensemble* de física quanto com o de condições iniciais.

Um *ensemble* de curto prazo utilizando modelo de área limitada no *Hydro-Meteorological Service of Emilia-Romagna Region of Italy*, foi desenvolvido a partir de uma metodologia baseada em um algoritmo que seleciona membros a partir de um SPE de um modelo global. Os membros selecionados, chamados de membros representativos, são usados como condições iniciais e de controle para a integração do modelo de área limitada (MOLTENI ET AL., 2001). Este sistema foi denominado *Limited-area Ensemble Prediction System* (LEPS) e vem sendo aplicado em casos de eventos severos (MOLTENI ET AL., 2001; MARSIGLI ET AL., 2001).

Montani et al. (2003a) e Marsigli et al. (2004, 2005) utilizaram o sistema de previsão acima citado, em diversos casos, inclusive em casos sobre ou próximo a regiões montanhosas, para prazos de previsão de até 120 horas. Os resultados indicam que o LEPS apresentou melhores resultados que o sistema de previsão por *ensemble* do ECMWF em eventos de precipitação intensa, tanto em termos de localização geográfica quanto de intensidade.

Os resultados obtidos por Montani et al. (2001), ao investigarem dois casos de inundações, indicam que integrações de um modelo de área limitada empregando alta resolução em um *Ensemble* de Curto Prazo (ECP) mostram um maior detalhamento do padrão de precipitação e aumentam a capacidade de previsão, com alguns dias de antecedência, da ocorrência de precipitação intensa sobre regiões localizadas, conduzindo o LEPS a melhores resultados quando comparado a sistema de previsão por *ensemble* utilizando modelos globais.

Tendo como objetivo fazer uma verificação dos resultados de diferentes sistemas de previsão por ECP, um projeto denominado *Storm and Mesoscale*

Ensemble Experiment (SAMEX) foi realizado em 1998 (HOU ET AL. 2001). Neste projeto diversos métodos de perturbações e diferentes modelos de área limitada foram integrados, formando um vasto conjunto de dados para a intercomparação de modelos e *ensembles*. Também possibilitou uma comparação entre previsões determinísticas de alta resolução versus previsões probabilísticas com resolução mais baixa. Os resultados indicam que a combinação dos diversos *ensembles* conduz à melhores resultados do que qualquer *ensemble* isolado. Isto se deve a representação mais realística das incertezas quando todos os ensembles são agrupados.

Legg e Mylne (2004) mostram uma tentativa de aplicar um sistema de previsão de curto prazo por *ensemble* para gerar uma previsão probabilística de tempo severo e a criação de um sistema de emissão de alertas. As previsões são dadas de forma probabilística com 5 dias de antecedência, e avisos de inundações são emitidos quando eventos severos são esperados dentro de poucas horas. Desta forma torna-se possível fornecer alertas com alto grau de certeza o mais cedo possível a partir de um SPE.

Clark et al. (2008) comparou a contribuição de diferentes metodologias de *ensemble* de curto-prazo sobre as previsões de precipitação na tentativa de identificar as vantagens e desvantagens de cada metodologia de perturbação. Foram assumidas duas condições: “modelo perfeito”, onde são empregadas perturbações nas condições iniciais e “análise perfeita”, onde diferentes configurações de um modelo regional são usadas. Os resultados indicam que as duas metodologias são sub-dispersivas, porém a metodologia da “análise perfeita” tem maior espalhamento que a metodologia do “modelo perfeito”.

Nos últimos anos sistemas de ECP tornaram-se operacionais em vários centros meteorológicos mundiais. O NCEP foi o centro meteorológico mundial pioneiro no desenvolvimento de um *ensemble* de curto prazo, utilizando dois modelos regionais diferentes, o modelo Eta e o modelo espectral denominado *Regional Spectral Model* (HAMILL; COLUCCI, 1998). Estes modelos eram integrados a

partir de condições iniciais provenientes de diferentes esquemas de assimilação de dados. Mais recentemente a configuração do ensemble de curto prazo do NCEP conta com 21 membros utilizando três diferentes modelos com resolução horizontal variando entre 32 e 45 km. Algumas variações nos modelos foram introduzidas de maneira que diferentes parametrizações físicas fossem empregadas, assegurando que as incertezas dos modelos estivessem incorporadas ao *ensemble* (DU ET AL, 2006). As condições iniciais são fornecidas pelo método *Breeding Vectors* e o prazo de integração é de 87 horas.

No Serviço Meteorológico Espanhol um *ensemble* de curto prazo utiliza 5 modelos diferentes para cobrir toda a área da Europa e Oceano Atlântico. O *ensemble* utiliza 4 conjuntos diferentes de condições iniciais e de contorno lateral fornecidas por diferentes modelos numéricos globais (GARCIA-MOYA ET AL., 2007).

No Instituto Meteorológico Norueguês um ensemble de curto prazo com 21 membros, roda sobre a Escandinávia com resolução espacial de 28 km (FROEGNER ET AL., 2006) com condições iniciais e de contorno perturbadas fornecidas pelo SPE do ECMWF. O aumento da resolução tornou o sistema mais hábil em prever os eventos de precipitação mais intensos nas áreas montanhosas.

O *CO*nsortium for *S*mall-scale *M*odeling – *L*imited *E*nsemble *P*rediction *S*ystem (COSMO-LEPS) (MARSIGLI ET AL. 2008) é um *downscaling* do SPE do ECMWF com a intenção de possibilitar aumento de resolução principalmente em casos de precipitação intensa forçada orograficamente. O SPE do ECMWF fornece 16 membros perturbados selecionados através de uma análise de *cluster* que são utilizados como condições iniciais e de contorno para os membros do COSMO-LEPS. Este sistema tem se mostrado mais eficaz para previsões de 2 a 5 dias.

No *UK Met Office* um sistema conhecido como *Met Office Global and Regional Ensemble Prediction System (MOGREPS)* é composto por um ensemble regional e global (BOWLER ET AL., 2008). As perturbações das condições iniciais são calculadas usando a técnica *Ensemble Kalman Filter*, enquanto que as incertezas do modelo são exploradas através de perturbações estocásticas. Resultados indicam que o desempenho do ensemble regional é superior ao desempenho do ensemble global.

3 DADOS E METODOLOGIA

Entender os mecanismos de mesoescala presentes nos eventos severos que ocorrem sobre a região da Serra do Mar é de fundamental importância para o estudo da previsibilidade. O desenvolvimento destes eventos envolve interações não lineares, freqüentemente entre características de pequena escala na atmosfera. Tais interações são dificilmente previstas desde que pequenos erros nas análises de tais características podem conduzir a grandes diferenças na evolução das previsões. Previsões por ensemble têm provado ser um modo eficiente de trabalhar com estas incertezas das previsões de tempo e clima (BUIZZA ET AL., 2005). Porém, os sistemas de ensemble de médio prazo foram projetados para prazos de 3 a 10 dias onde os principais focos de incerteza são devidos as instabilidades baroclínicas de escala sinótica. No entanto, existem também significantes incertezas em escalas temporais e espaciais menores que a sinótica, o que leva a necessidade do desenvolvimento de SPE que capture estas incertezas.

Utilizando um sistema de previsão por conjunto de curto prazo foram estudados dois tipos de fenômenos meteorológicos, Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e passagem de Sistema Frontal (SF), sobre a região da Serra do Mar. Esta região é caracterizada pela presença de uma topografia relativamente complexa, o que causa alterações no escoamento atmosférico provocando fenômenos tais como ondas de montanhas, turbulência, chuvas orográficas, bloqueio de sistemas frontais entre outros. Os eventos severos sobre a Serra do Mar podem ser caracterizados tanto por chuvas de alta intensidade em um curto espaço de tempo, como por exemplo, chuvas convectivas, quanto por chuvas de baixa intensidade em longos períodos, tais como os episódios de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul. A seguir é feita uma breve descrição dos fenômenos ZCAS e SF.

O fenômeno conhecido como ZCAS, é um fenômeno típico de verão do Hemisfério Sul com características de grande escala que ocorre sobre a América do Sul (KOUSKY, 1988). É caracterizado pela presença de uma banda

de nebulosidade orientada de noroeste para sudeste sobre a região sudeste do Brasil com chuvas que persistem por um período de no mínimo 3 dias (CAVALCANTEI ET AL., 2009). Em associação com efeitos orográficos e a brisa marítima produzem intensa precipitação, provocando deslizamentos e alagamentos. Suas principais características são: (i) estendem-se para leste, nos subtropicais, a partir de regiões tropicais específicas de intensa atividade convectiva; (ii) formam-se ao longo de jatos subtropicais em altos níveis e a leste de cavados semi-estacionários; (iii) são zonas de convergência em uma camada inferior úmida, espessa e baroclínica; (iv) estão localizadas na fronteira de massas de ar tropical úmida, em regiões de forte gradiente de umidade em baixos níveis, com geração de instabilidade convectiva por processo de advecção diferencial. Os sistemas frontais atuam durante o ano todo sobre o Brasil com frequências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas e, são um dos maiores causadores de distúrbios meteorológicos sobre o país (CAVALCANTI ET AL., 2009). O deslocamento desses sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala. A intensificação ou dissipação dos mesmos está relacionada com as características atmosféricas sobre o continente. Algumas regiões do Brasil, tais como as Regiões Sul e Sudeste são regiões frontogenéticas, ou seja, as frentes podem se intensificar ou podem se formar sobre estas regiões (SATYAMURTI; MATTOS, 1989). Durante o regime de verão, as frentes frias ao ingressarem no sul do país, associam-se a um sistema de baixa pressão em superfície sobre o Paraguai conhecida como Baixa do Chaco e intensificam-se. Durante o período do inverno pode-se notar o contraste térmico entre as duas massas separadas pela zona frontal no interior do continente. Este contraste em alguns casos, afeta a Região Central, estendendo-se até o sul da Região Norte.

No desenvolvimento de um SPE de curto prazo três aspectos básicos devem ser considerados (BOWLER ET AL., 2008):

- a) O uso de um modelo de alta resolução;

- b) Perturbações das condições iniciais efetivas nos instantes iniciais da integração. Nem todos os métodos eficientes para SPE de médio prazo são eficientes para SPE de curto prazo, deste modo a escolha do método de perturbação da condição inicial torna-se fundamental;
- c) É essencial a inclusão de uma metodologia que capture as incertezas dos erros dos modelos.

A metodologia deste trabalho enfoca estes três aspectos: a utilização do modelo Eta com alta resolução; o papel das perturbações nas condições iniciais e a influência dos erros dos modelos.

3.1 Modelo Regional Eta

O modelo a ser utilizado é o modelo Eta (Mesinger et al., 1988; Black, 1994). Este modelo é mais vantajoso em regiões de orografia complexa devido à coordenada vertical eta (Mesinger, 1984), pois esta trata adequadamente os problemas numéricos próximos de regiões com inclinação topográfica. Por ser um modelo regional, onde alta resolução pode ser aplicada, ele também se mostra adequado para estudos de fenômenos de mesoescala que são característicos nos eventos severos.

Este modelo vem sendo usado pelo CPTEC desde 1996, e, atualmente fornece previsões de até 168 horas (sete dias) para a maior parte da América do Sul, duas vezes por dia. Normalmente utiliza como condição inicial a análise proveniente do NCEP, enquanto que as condições de contorno laterais são fornecidas pelo modelo global CPTEC, atualizadas a cada 6 horas.

Uma das principais características do modelo é a sua coordenada vertical (coordenada η) em forma de degraus discretos, definida por (Mesinger, 1984):

$$\eta = \left(\frac{P - P_T}{P_S - P_T} \right) * \left[\frac{P_r(z_S) - P_T}{P_r(0) - P_T} \right] \quad (3.1)$$

Onde, p é a pressão atmosférica. Os índices S e T se referem à superfície e ao topo da atmosfera, respectivamente. O índice r é o valor da pressão de uma atmosfera de referencia e z_S é a altitude da superfície.

A topografia é resolvida na forma de degraus discretos. O topo do modelo está em 25 hPa e a superfície em 1013,25 hPa.

O esquema de integração é por particionamento explícito (*'split-explicit'*). Os termos de ajuste devido às ondas de gravidade são tratados pelo esquema *'forward-backward'* modificado por Janjic (1979), e os termos de advecção são tratados pelo *'Euler-backward'*. O passo de tempo fundamental do modelo é o do ajuste, que equivale à metade do passo de tempo da advecção. O esquema de diferenças finitas no espaço emprega o método de Janjic (1984) que controla o falso escoamento de energia para as ondas mais curtas. A difusão horizontal é não-linear de 2ª ordem. As variáveis prognósticas são: temperatura, umidade, vento horizontal, pressão à superfície, energia cinética turbulenta, hidrometeoros, umidade e temperatura do solo.

O modelo possui complexa representação dos processos físicos que são tratados através de esquemas de parametrizações. As trocas turbulentas na vertical são resolvidas pelo esquema de Mellor-Yamada (1982) no nível de fechamento 2.5, onde a energia cinética turbulenta é prevista. As trocas de energia à superfície se baseiam na teoria de similaridade de Monin-Obukhov e utilizam as funções de estabilidade de Paulson. O tratamento dos fluxos radiativos na atmosfera foi desenvolvido pelo *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* (GFDL), sendo que radiação de onda curta se baseia no esquema de Lacis e Hansen (1974) e a radiação de onda longa se baseia no esquema de Fels e Schwarzkopf (1975). As taxas de aquecimento ou resfriamento

devido aos processos radiativos são calculadas a cada hora de integração. As distribuições de dióxido de carbono, ozônio e do albedo iniciais são retiradas da climatologia. A hidrologia de superfície é baseada no esquema NOAH (CHEN ET AL., 1997). O modelo possui 4 camadas no solo e um mapa com 12 tipos de cobertura vegetal e 7 tipos de solo. A produção de chuva convectiva se baseia no esquema do tipo ajuste de Betts-Miller-Janjic (Janjic, 1994), neste esquema o perfil termodinamicamente instável é ajustado em direção a um perfil de referência. A chuva e as nuvens estratiformes do modelo são representadas pelo esquema de microfísica de nuvens (FERRIER, 2002) que trata de diferentes tipos de hidrometeoros. Mais detalhes do modelo Eta podem ser obtidos no Apêndice B em Pielke (2002).

3.2 Sistema de Previsão de Curto Prazo por Ensemble

Duas metodologias serão aplicadas ao sistema de previsão de curto prazo por *ensemble*: perturbação da condição inicial e perturbação da física.

O modelo Eta utilizado no sistema de previsão por curto prazo será integrado com resolução horizontal de 10 km e 38 níveis na vertical, e cobre grande parte das regiões sul e sudeste do Brasil. Os resultados das previsões com perturbações introduzidas nas condições iniciais e na física do modelo serão avaliadas e comparadas, além da formação de um último conjunto combinando os *ensembles* de condição inicial e de física. Os casos de ZCAS foram integrados por 144 horas, enquanto os casos de passagem de sistema frontal foram integrados por 72 horas.

3.2.1- Ensemble de Perturbação da Condição Inicial

Nesta seção é descrita a metodologia do SPE do modelo global, que será utilizado para fornecer as condições iniciais e de contorno do *Ensemble* de Curto Prazo (ECP), além do experimento de *ensemble* de curto prazo de condição inicial.

3.2.1.1- Método EOF Utilizado pelo SPE do Modelo Global CPTEC

A seguir é feita uma breve descrição do método EOF empregado no SPE do modelo global do CPTEC, pois as condições iniciais e de contorno do sistema de previsão de curto prazo serão fornecidas por este SPE.

As condições iniciais controle (não perturbadas) utilizadas são análises das 1200 UTC fornecidas pelo NCEP. O modelo global utilizado no SPE é um modelo espectral com truncamento T126 que corresponde a uma resolução espacial de aproximadamente 100 km. Na vertical a atmosfera é dividida em 28 níveis sigma e o passo de tempo do modelo é de 600s. O SPE operacional do CPTEC aplica o método denominado *EOF-based perturbation* proposto por Zhang and Krishnamurti (1999).

Este método consiste basicamente em adicionar randomicamente erros característicos das condições iniciais em algumas variáveis pré-definidas. As magnitudes destas perturbações são baseadas no tamanho de erro típico da variável. Estes erros foram estimados por Coutinho (1999) que recomendou valores em torno de 5 m s^{-1} e 1.5 K, para as magnitudes de perturbação de vento e temperatura, respectivamente. Estes valores foram obtidos a partir do trabalho de Daley e Mayer (1986). Estas perturbações são aplicadas num cinturão latitudinal compreendido entre as latitudes 30°N e 45°S nos 28 níveis verticais do modelo global.

O procedimento usado no CPTEC para produzir análises perturbadas pode ser resumido nas seguintes etapas (MENDONÇA; BONATTI, 2009):

a) Sete pequenas perturbações randômicas são adicionadas à temperatura e às componentes horizontais do vento da análise de controle (análise do NCEP). Estas perturbações são normalmente distribuídas com média zero e desvio padrão (magnitude das perturbações) comparáveis aos erros das previsões de 3 horas;

b) as 7 análises perturbadas randomicamente e a análise de controle (não perturbada) são utilizadas para integrar o modelo por 36 horas, com saídas a cada 3 horas de integração. Nenhuma suavização horizontal ou vertical ou balanço é imposto às perturbações randômicas iniciais, entretanto as primeiras 6 horas de integração do modelo são descartadas a fim de permitir um auto-ajuste do modelo às condições iniciais perturbadas e, conseqüentemente, o desenvolvimento de perturbações das previsões mais balanceadas;

c) Sete séries temporais da diferença dos campos previstos são construídas subtraindo a previsão de controle da previsão perturbada para cada intervalo de 3 horas de saída do modelo;

d) uma análise de função ortogonal empírica da série temporal de diferenças é realizada sobre um domínio de interesse para cada uma das séries temporais a fim de obter as perturbações de crescimento rápido;

e) estas perturbações são re-escaladas de forma que o desvio padrão destas perturbações seja da mesma ordem das perturbações iniciais;

f) adicionando e subtraindo estas perturbações re-escaladas à análise de controle produz-se um conjunto de 14 estados iniciais perturbados.

Desta forma um conjunto com 15 condições iniciais é gerado, sendo uma análise controle sem perturbações e 14 análises perturbadas. Estas análises são integradas e geram um conjunto de previsão com 15 membros. A partir deste conjunto é procedida uma análise de cluster (WILKS, 1995) sobre as previsões de 120 horas baseada no algoritmo de variância mínima de Ward's utilizando a variável altura geopotencial em 500 hPa. O procedimento de análise de cluster (AC) agrupa os diferentes membros de um SPE de forma a minimizar diferenças entre membros de um dado cluster e maximizar as diferenças entre os membros de diferentes clusters. O número de clusters deve considerar o nível de agrupamento que se deseja obter de forma subjetiva. No presente trabalho foram considerados 4 agrupamentos.

Testes iniciais com o *ensemble* de curto prazo foram conduzidos utilizando a totalidade dos membros gerados pelo SPE, no entanto os resultados são relativamente próximos quando o *ensemble* de curto prazo é estruturado utilizando somente os membros selecionados pela análise de cluster, pelo menos em termos de *ensemble* médio e espalhamento do *ensemble*. Apesar do número de membros de um sistema de previsão por *ensemble* ser fator determinante na qualidade das informações geradas, neste caso mostrou-se que o uso dos 15 membros fornecidos pelo SPE implicaria em um custo computacional desnecessário, pois os resultados quando apenas 5 membros do *ensemble* de curto prazo são realizados fornecem as mesmas informações. É mais interessante então investir em outras formas de perturbação, tais como *ensemble* de física, em associação a perturbação da condição inicial com um número menor de membros como será abordado neste trabalho. Uma descrição detalhada do SPE do modelo global do CPTEC pode ser obtida em Mendonça e Bonatti (2009).

3.2.1.2 Previsão de Curto Prazo por *Ensemble*

Ao se empregar um *ensemble* de condição inicial assume-se a hipótese de que os erros da previsão até um determinado prazo são dominados pelas incertezas da condição inicial. Portanto são necessários diferentes cenários iniciais para a geração do *ensemble*. A escolha de diferentes cenários da atmosfera, que servirão como condições iniciais e de contorno para o modelo de alta resolução, pode ser feita a partir do conjunto de membros gerados pelo SPE de um modelo global.

O CPTEC roda operacionalmente um SPE utilizando um modelo global com baixa resolução duas vezes ao dia. Deste SPE com 15 membros, são selecionados 4 membros representativos que são utilizados como diferentes condições iniciais e de contorno para o SREP. Como descrito anteriormente, a seleção dos membros representativos é feita por análise de *cluster*.

O SPE operacional do CPTEC gera perturbações levando em consideração apenas duas variáveis, vento e temperatura. Mendonça e Bonatti (2006) avaliaram o SPE operacional do CPTEC usando alguns índices estatísticos e mostraram que, para a variável altura geopotencial em 500 hPa, as previsões apresentavam características de um sistema sub-dispersivo com taxa de crescimento do espalhamento muito inferior à taxa de crescimento do erro das previsões do *ensemble* médio.

Diante desta deficiência do SPE um novo experimento foi conduzido onde as incertezas no campo de umidade específica são consideradas através do cálculo das perturbações EOF para este campo. Desta forma, dois experimentos de *ensemble* de curto prazo foram realizados: o primeiro onde as condições iniciais e de contorno são fornecidas pelo SPE com perturbações iniciais feitas apenas nas componentes do vento e na temperatura, denominado como experimento SREP, e um segundo onde, além das perturbações nos campos de vento e temperatura das condições iniciais do SPE foi também perturbado o campo de umidade específica, denominado como SREPH. As magnitudes das perturbações randômicas iniciais das variáveis perturbadas são apresentadas na Tabela 3.1. Apesar das alterações das fontes de perturbação terem sido feitas no SPE do modelo global, o efeito destas perturbações afetam o *ensemble* de curto prazo, pois há uma forte dependência do modelo regional às condições iniciais e de fronteira fornecidas pelo modelo global.

Tabela 3.1 - Valores dos desvios padrões utilizados para reescalonar os campos de temperatura (T), vento (V) e umidade específica (U), para cada nível sigma do MCGA-CPTEC. Para a umidade específica os valores estão multiplicados por um fator de 10^3 .

Nível σ	Desvio Padrão			Nível σ	Desvio Padrão		
	T (K)	V (m/s)	U (g/kg)		T (K)	V (m/s)	U (g/kg)
1	0.6	3.0	1.019	15	0.6	3.0	0.142
2	0.6	3.0	0.926	16	0.6	3.0	0.081
3	0.6	3.0	0.872	17	0.6	3.0	0.049
4	0.6	3.0	0.797	18	0.6	3.0	0.024
5	0.6	3.0	0.703	19	0.6	3.0	0.008
6	0.6	3.0	0.641	20	0.6	3.0	0.002
7	0.6	3.0	0.629	21	0.6	3.0	0.000
8	0.6	3.0	0.571	22	0.6	3.0	0.000
9	0.6	3.0	0.595	23	0.6	3.0	0.000
10	0.6	3.0	0.546	24	0.6	3.0	0.000
11	0.6	3.0	0.434	25	0.6	3.0	0.000
12	0.6	3.0	0.345	26	0.6	3.0	0.000
13	0.6	3.0	0.276	27	0.6	3.0	0.000
14	0.6	3.0	0.204	28	0.6	3.0	0.000

Estudos feitos por Mendonça e Bonatti (2009), indicam que algum aumento da dispersão dos membros do SPE é alcançado quando outras fontes de incerteza são acrescentadas às perturbações iniciais, no entanto este aumento de dispersão ocorre principalmente no Hemisfério Norte. No referido trabalho foram incluídas as perturbações da umidade específica e da pressão no instante inicial.

O experimento do *ensemble* de curto prazo considerando a incerteza na condição inicial possibilita a investigação do papel de outras fontes de perturbações e do crescimento do erro com o avanço do prazo de previsão. Tendo em vista a deficiência apresentada pelo SPE operacional do CPTEC, espera-se com a inclusão de uma nova fonte de perturbações minimizar o caráter sub-dispersivo por este apresentado, e conseqüentemente, diminuir esta influência sobre o SPE de curto prazo. No entanto, uma verificação do erro das previsões também deverá ser conduzida, pois o caráter sub-dispersivo pode estar sendo mascarado por uma taxa de erro excessiva, decorrente muitas das vezes de erros sistemáticos apresentados pelos modelos.

Tanto o SREP, quanto o SREPH, será composto por 5 membros, sendo 1 membro controle, rodado com as condições iniciais e de contorno sem perturbações e 4 membros rodados com condições iniciais e de controle perturbadas.

3.2.2 Ensemble de Perturbação da Física

A idéia de se aplicar um sistema de previsão por *ensemble* de curto prazo de física (SREPF) é no sentido de explorar algumas deficiências dos esquemas de parametrização utilizados nos modelos numéricos na representação dos processos de subgrade. Erros gerados a partir destas deficiências podem ser amplificados com o avanço do prazo de previsão.

Erros do modelo podem ter um significativo, ou até mesmo, dominante impacto nas previsões de curto prazo (STENSRUD ET AL., 2000), em média crescendo como a raiz quadrada do prazo de integração (ORRELL ET AL., 2001). Embora o erro da condição inicial inicialmente domine a magnitude total do erro, parte do crescimento deste erro é devido às inadequações do modelo, principalmente nos instantes iniciais de integração. A especificação da incerteza do modelo é então mais relevante nos instantes iniciais da previsão

no período anterior ao predomínio do crescimento do erro em função dos erros da condição inicial.

Incluir incertezas dos modelos em um SPE de curto prazo não é trivial, pois há falta de informações detalhadas sobre a eficiência destes modelos. A existência de numerosos erros nas parametrizações de sub-grade combinados com a substancial dependência das previsões ao escoamento, levam a um grande número de fontes de erros nos modelos que são difíceis de isolar e diagnosticar. Portanto, deve-se tomar o cuidado ao estruturar um SPE que explore os erros externos no sentido de se evitar que a diversidade das previsões não ocorra em função da presença de tendências de erros sistemáticos entre os diferentes pacotes de física utilizados. Ao se projetar um *ensemble* de física estas considerações devem ser levadas em conta, pois, os diferentes membros do ensemble podem ter diferentes destrezas, e desta forma contaminar as previsões de probabilidade do *ensemble*.

O SREPF foi estruturado combinando o uso de diferentes esquemas de parametrização convectiva com alterações dos parâmetros do esquema de superfície. São aplicadas modificações nos esquemas de convecção de Betts-Miller-Janjic (JANJIC, 1994), denominada como BMJ, e de Kain-Fritsch (KAIN; FRITSCH, 2004), denominada como KF. Estes dois esquemas diferem principalmente no que diz respeito ao mecanismo de formação dos processos convectivos. Também são modificados alguns parâmetros de superfície no esquema de superfície NOAH (CHEN ET AL., 1997).

A seguir são comentadas algumas das principais características destes esquemas e a modificação da previsão esperada quando são ajustados alguns parâmetros destes esquemas.

3.2.2.1 Esquema de Convecção Betts-Miller-Janjic

O esquema de parametrização de BMJ é um tipo de esquema de ajuste convectivo, que se baseia no conceito de que quando a atmosfera exibe um “lapse-rate” instável, a mistura ocorre espontaneamente e provoca o retorno para um “lapse-rate” neutro. Em condições saturadas, ocorre condensação e o estado final é um “lapse-rate” neutro úmido. A atmosfera é relaxada em direção a um perfil vertical prescrito.

O esquema BMJ usa um perfil de referência que é cuidadosamente escolhido para representar a estrutura termodinâmica tipicamente observada em situações convectivas e que se assemelha a um estado de quase-equilíbrio entre a forçante de grande escala e a convecção cúmulos.

No esquema de BMJ três parâmetros de ajuste do perfil termodinâmico de referência são usados:

- **Déficit de pressão de saturação:** que determina o perfil de referência de umidade. O déficit de pressão de saturação representa o quanto a pressão de uma dada parcela deverá ser reduzida por levantamento para que a parcela atinja a saturação. Este parâmetro é definido em três níveis, na base da nuvem, no nível de congelamento e no topo da nuvem e interpolado linearmente nos níveis intermediários.
- **Coefficiente de estabilidade:** que determina o “lapse-rate” da temperatura de referência comparada à adiabática úmida.
- **Tempo de ajuste:** que é o tempo de relaxação para a remoção da instabilidade encontrada na coluna.

Os parâmetros de déficit de pressão de saturação são alterados para compor os membros do SREPF. Ao se alterar estes parâmetros, o perfil de referência

do esquema de convecção muda e diferenças significativas, principalmente em termos de magnitude da precipitação são esperadas. Também são alterados os parâmetros que controlam o perfil de referência sobre o continente e o oceano, mudando o padrão e a quantidade da precipitação prevista sobre o continente e o oceano.

3.2.2.2- Esquema de Convecção Kain-Fritsch

O esquema de parametrização cumulus KF foi desenvolvido a partir do esquema de parametrização convectiva de Fritsch-Chappell (FRITSCH; CHAPPELL, 1980). É um esquema de parametrização do tipo de fluxo de massa, que usa o método da parcela Lagrangeano, para estimar onde existe instabilidade na atmosfera. Basicamente o esquema KF é dividido em três partes fundamentais:

- **Função de gatilho:** o primeiro desafio é identificar camadas com potencial para nuvens convectivas. A temperatura da parcela é comparada a do ambiente e verifica-se se existe flutuabilidade positiva ou negativa. Calcula-se então a velocidade vertical na base da nuvem e em todos os níveis. São incluídos os efeitos do entranhamento e detranhamento.
- **Formulação do fluxo de massa:** os fluxos ascendentes convectivos são representados usando um modelo estável de entranhamento/detranhamento. Neste modelo as taxas de entranhamento e detranhamento são inversamente proporcionais. Na versão mais recente do esquema existe uma taxa de entranhamento mínima.
- **Fechamento:** Fundamentalmente o esquema redistribui a massa na coluna usando os fluxos de massa ascendentes, descendentes e com o ambiente até que 90% do CAPE (Convective Available Potential Energy) inicial seja removido.

Foram utilizadas três versões do esquema KF na composição do SREPF: a versão original sem modificações; uma segunda incluindo a parametrização do fluxo de momentum convectivo (BASTOS, 2007) e outra incluindo o controle do particionamento da precipitação em função da resolução espacial do modelo (GOMES; CHOU, 2009).

A parametrização do fluxo de momentum é baseada no fluxo de massa aplicado aos fluxos de calor do esquema. Os fluxos de massa da base da nuvem, e as taxas de entranhamento e detranhamento são os mesmos aplicados aos fluxos de momentum e umidade. A inclusão da parametrização do fluxo de momentum muda o tempo de ocorrência do evento e a distribuição da área de precipitação, porém não muda significativamente a quantidade de precipitação da área. Os campos de vento e temperatura nos baixos níveis também sofrem grande impacto da inclusão da parametrização do fluxo de momentum.

A modificação do esquema de parametrização KF que inclui o controle do particionamento da precipitação consiste basicamente em incluir um parâmetro adicional que atuará evaporando a fração da água líquida/gelo que permanece no ponto de grade do modelo, de modo que as tendências de temperatura e de umidade devido a essa fração evaporada deixem de ser aplicadas pelo esquema. Deste modo, parte da água é mantida como água/gelo de nuvem e parte é evaporada aumentando a umidade e resfriando o ambiente. O parâmetro incluído pode assumir qualquer valor entre 0 (quando todo o conteúdo de água líquida/gelo é mantido no ponto de grade do modelo) e 1 (quando todo o conteúdo de água líquida/gelo é evaporado).

Tanto o padrão, quanto a intensidade dos campos de precipitação prevista pelos membros utilizando o esquema de parametrização KF devem apresentar diferenças significativas, principalmente em comparação aos campos de precipitação previstos pelos membros utilizando o esquema BMJ.

3.2.2.3- Esquema de Superfície NOAH

O esquema NOAH (CHEN ET AL., 1997) inclui um modelo de superfície terrestre mais completo, incluindo parametrizações do solo/vegetação/hidrologia e uma parametrização da camada superficial atmosférica com maior capacidade de absorver as novas características fornecidas pelo modelo de superfície terrestre. Esta nova versão resolve bem a variação diurna observada dos fluxos de superfície e da temperatura da superfície, além de capturar a evolução sazonal na evaporação e umidade do solo.

O esquema possui uma parametrização da camada superficial que permite o cálculo do coeficiente de troca na superfície para o momentum, calor e vapor d'água, usados para determinar o fluxo destas quantidades entre a superfície terrestre e a atmosfera. Estes cálculos são baseados na teoria da similaridade de Monin-Obukhov usando a função de estabilidade e o comprimento de rugosidade para determinar os coeficientes de troca na superfície para o calor e a umidade. O esquema permite o cálculo da razão entre o comprimento de rugosidade para o calor e para o momentum em função do número de Reynolds ou a partir de um valor pré-determinado. Este ajuste torna possível a correção de problemas de erros de sub ou superestimativa da temperatura de superfície.

A relação entre o comprimento de rugosidade para o momentum e para o calor dependente do fluxo de calor ou do número de Reynolds é calculada pela equação de Zilitinkevich (1995):

$$\frac{z_{0m}}{z_{0t}} = \exp(kC\sqrt{Re^*}) \quad (3.2)$$

$$Re^* = \frac{u_*^* z_{0m}}{\nu} \quad (3.3)$$

Nas quais, z_{0m} é o comprimento de rugosidade do momentum, z_{0t} é o comprimento de rugosidade do calor, k é a constante de Kármán, C é uma constante empírica que modula quão fortemente a razão $\frac{z_{0m}}{z_{0t}}$ depende do Re^* que é o número de Reynolds do escoamento, u_0^* é a velocidade de fricção na superfície e ν é a viscosidade molecular cinemática.

Na composição dos membros do SREPF foram alterados alguns parâmetros das sub-rotinas de cálculo dos fluxos de superfície de modo a causar impacto nas variáveis prognósticas: temperatura a 2 metros, vento a 10 metros, nos fluxos de superfície e nos campos de precipitação. Foram alterados os parâmetros denominados como epsust, wwst e ztmax que interferem diretamente no cálculo da velocidade de fricção u_0^* , além do fator C da equação de rugosidade térmica de Zilitinkevich que irá influenciar diretamente na temperatura em 2 metros, nos fluxos de superfície e no padrão de precipitação e de sensibilidade aos valores limites da camada da superfície. Os valores alterados estão descritos na Tabela 3.2.

3.2.2.4- Características dos membros do SREPF

A seguir é feita uma breve descrição de cada um dos membros que foram selecionados para compor o SREPF; os valores dos parâmetros utilizados em cada membro são fornecidos na Tabela 3.2.

1. **Membro controle:** utiliza a mesma configuração da versão operacional. O esquema de parametrização convectiva é o BMJ e no esquema de superfície os parâmetros originais são mantidos.
2. **Membro 1-** Esquema de convecção BMJ com alterações nos parâmetros do perfil convectivo (ver Tabela 3.2) em relação ao membro controle. Esquema de superfície NOAH com alteração dos parâmetros ztmax e epsust. Com este experimento será avaliado o impacto da alteração dos

fluxos de superfície sobre a previsão. São esperadas alterações na quantidade e nos padrões de precipitação prevista.

3. **Membro 2-** Esquema de convecção BMJ com alterações nos parâmetros do perfil convectivo (ver Tabela 3.2) em relação ao membro controle. Esquema de superfície NOAH com alteração do fator C na equação da rugosidade térmica de Zilitinkevich, z_{max} e ww_{st} . São esperados impactos principalmente nos padrões de precipitação.
4. **Membro 3** – Esquema de convecção BMJ com alterações nos parâmetros do perfil convectivo (ver Tabela 3.2) em relação ao membro controle. Esquema de superfície NOAH com alteração apenas no parâmetro z_{max} . Também deverão ocorrer alterações dos campos de precipitação prevista.
5. **Membro 4** – Esquema de convecção KF original sem alterações (ver Tabela 3.2). Parâmetros do esquema de superfície permanecem inalterados. São esperadas diferenças tanto no padrão quanto na quantidade da precipitação prevista quando comparados as previsões geradas pelos membros empregando o esquema BMJ.
6. **Membro 5** – Esquema de convecção KF com a inclusão da parametrização do fluxo de momentum convectivo. A inclusão do transporte de momentum convectivo considera os efeitos da corrente ascendente e descendente. Espera-se um impacto na quantidade de chuva prevista.
7. **Membro 6** - Esquema de convecção KF com a inclusão do controle do particionamento da precipitação em função da resolução espacial do modelo. Espera-se um impacto na quantidade e no padrão da chuva prevista.

Desta forma será gerado um conjunto de previsões com 7 membros, sendo um dos membros a versão controle do esquema BMJ e um a versão controle do esquema KF. Todos os membros foram integrados tendo como condição inicial a análise NCEP T126L28 e como condição de contorno lateral as previsões do modelo global CPTEC T126L28.

Tabela 3.2: Descrição dos membros do SREPF

Membro	Esq	Parâmetros convectivos	Parâmetros de superfície			
			zmax	epsust	c	wwst
controle	B M J	DSPBFL= -4500; DSP0FL=-5500; DSPTFL=-2000 FSL= 0,85 DSPBFS= -3875; DSP0FS=-5875; DSPTFS=-1875 FSS= 0,85 UNIS= true	1	0,07	0,2	1,2
membro 1	B M J	DSPBFL= -5000; DSP0FL=-7000; DSPTFL=-1500 FSL= 1,0 DSPBFS= -3875; DSP0FS=-5875; DSPTFS=-1875 FSS= 1,0 UNIS= true	10	0,01	0,2	1,2
membro 2	B M J	DSPBFL= -5000; DSP0FL=-7000; DSPTFL=-1500 FSL= 1,0 DSPBFS= -3875; DSP0FS=-5875; DSPTFS=-1875 FSS= 1,0 UNIS=true	10	0,07	0,5	1,1
membro 3	B M J	DSPBFL= -5000; DSP0FL=-7000; DSPTFL=-1500 FSL= 1,0 DSPBFS= -3875; DSP0FS=-5875; DSPTFS=-1875 FSS= 1,0 UNIS=false	10	0,07	0,5	1,1
membro 4	K F	Parâmetros originais KF	1	00,7	0,2	1,2
membro 5	K F	Esquema KF com Fluxo de momentum	1	00,7	0,2	1,2
membro 6	K F	Esquema KF com Fluxo de momentum mais dependência da resolução	1	00,7	0,2	1,2

3.3- Experimentos de Alta Resolução

Apesar do rápido desenvolvimento dos computadores nos últimos tempos, a demanda por recursos computacionais é sempre crescente. Esta situação é particularmente verdadeira nos centros operacionais onde sempre se procura dar o melhor uso aos recursos computacionais. Portanto esta disponibilidade limitada de recursos leva a uma competição entre previsões determinísticas de alta resolução e previsões probabilísticas por conjunto, pois ambas as técnicas exigem alta demanda computacional.

O principal argumento, a favor de previsões determinísticas de alta resolução, vem da necessidade do modelo de previsão ser capaz de prever os diferentes fenômenos atmosféricos observados. Na realidade previsões com alta resolução são valiosas para situações comumente observadas que apresentam características de pequena escala e que tem alto impacto social e econômico, tais como, tempestades severas e brisa marítima. No entanto alguns experimentos que avaliam previsões operacionais de alta resolução (por exemplo, com espaçamento de grade entre 2 e 4 km) de casos com convecção profunda sugerem que a falta da informação da incerteza prejudica a qualidade destas previsões (STENSRUD, 2001b). Em previsões sobre o oeste do estado de Washington, Colle et al. (2000) mostrou significativa melhoria da previsão com o espaçamento da grade do modelo diminuindo de 36 para 12 km. No entanto, pouca melhoria da previsão foi notada quando o espaçamento de grade é diminuído de 12 para 4 km. Gallus (1999) indica pequeno ou igual desempenho das previsões quando o espaçamento de grade é reduzido de 30 para 10 km em simulações de sistemas convectivos severos. Estes resultados claramente indicam que o espaçamento de grade dos modelos por si só não necessariamente responde por melhorias da previsão. Enquanto o espaçamento ótimo de um dado modelo depende de uma série de fatores, entre eles, do sistema de assimilação de dados, da densidade observacional e dos esquemas de parametrização, não se deve assumir que qualquer redução da grade, ou aumento de resolução, automaticamente irá conduzir a previsões com maior qualidade.

Por outro lado, a utilização de *ensemble* com resolução mais baixa do que modelos de alta resolução tem mostrado grande utilidade. Alguns estudos indicam que ensemble com modelos de menor resolução apresentam melhor desempenho do que previsões determinísticas de modelos com resolução mais alta quando verificadas para uma grande amostra de eventos (STERNSRUD ET AL., 1999; WANDISHIN ET AL., 2001; GRIMIT; MASS, 2002). Buizza (2008) compara um ensemble de resolução mais baixa (T_L399L62) com 51 membros com um ensemble de resolução mais alta (T_L799L91) com apenas 6 membros e mostra que o ensemble de resolução mais baixa apresenta melhores resultados, concluindo que o número de membros do ensemble é mais importante para as previsões de médio prazo que para as previsões de curto prazo.

Desde que existem vantagens, desvantagens e desafios em se utilizar alta resolução ou previsão por ensemble, ao invés de promover uma competição entre uma ou outra forma, o ideal é combinar estas duas técnicas de modo que as vantagens e desvantagens de cada uma se sobreponham as outras.

No intuito de responder a um dos questionamentos iniciais deste trabalho, dois experimentos determinísticos com resolução mais alta que a utilizada no ECP foram conduzidos. Para estes experimentos o modelo regional Eta foi configurado com resolução horizontal de 5 km e com 50 níveis na vertical. As condições iniciais e de contorno foram fornecidas pelo membro controle do SPE do modelo global. O modelo foi integrado em modo não hidrostático. Foi estudado um caso de ZCAS ocorrido em janeiro de 2000 e um caso de chuvas intensas associadas à passagem de um sistema frontal ocorrido em dezembro de 2002.

Foram feitas avaliações subjetivas dos campos de precipitação prevista em comparação a precipitação observada e calculado o índice *Root Mean Square Error* (RMSE) das variáveis pressão ao nível médio do mar (PNMM),

temperatura em 850 hPa (TEMP) e umidade específica em 850 hPa (UMES). Estes resultados serviram para a comparação entre previsões fornecidas por um modelo com altíssima resolução e previsões probabilísticas e do *ensemble* médio fornecidas por um SPE de curto prazo com menor resolução espacial.

3.4– Dados Utilizados

Foi utilizada como condição inicial a análise fornecida pelo NCEP e como condições de contorno lateral as previsões provenientes do modelo global CPTEC na resolução T126L28, aproximadamente 100 km na horizontal e com 28 níveis na vertical, tanto para a rodada determinística de alta resolução, quanto para a previsão do membro controle. Todas as integrações tiveram como condição inicial dados das 1200 UTC.

Para o *ensemble* de curto prazo de condição inicial foram utilizadas algumas das condições iniciais e das previsões perturbadas fornecidas pelo SPE do modelo global, enquanto que para o *ensemble* de curto prazo de física foram utilizadas a condição inicial e as previsões não perturbadas do SPE. As avaliações foram feitas para todo o domínio do modelo.

Para as avaliações subjetivas e para calcular os índices estatísticos, foram utilizadas as análises do NCEP que foram consideradas como a melhor estimativa disponível do estado real da atmosfera. As avaliações objetivas da variável precipitação foram calculadas utilizando os dados observacionais coletados em estações meteorológicas distribuídas conforme a Figura 3.1. Foram também utilizados dados da Climatologia Reanálises 2 do NCEP (KANAMITSU ET AL., 2002) no cálculo do índice estatístico *Brier Skill Score* das variáveis pressão ao nível médio do mar e temperatura em 850 hPa. Os resultados fornecidos pelos índices estatísticos são uma forma objetiva de medir o desempenho do sistema de previsão em simular os fenômenos meteorológicos estudados e de esclarecer o impacto de cada experimento.

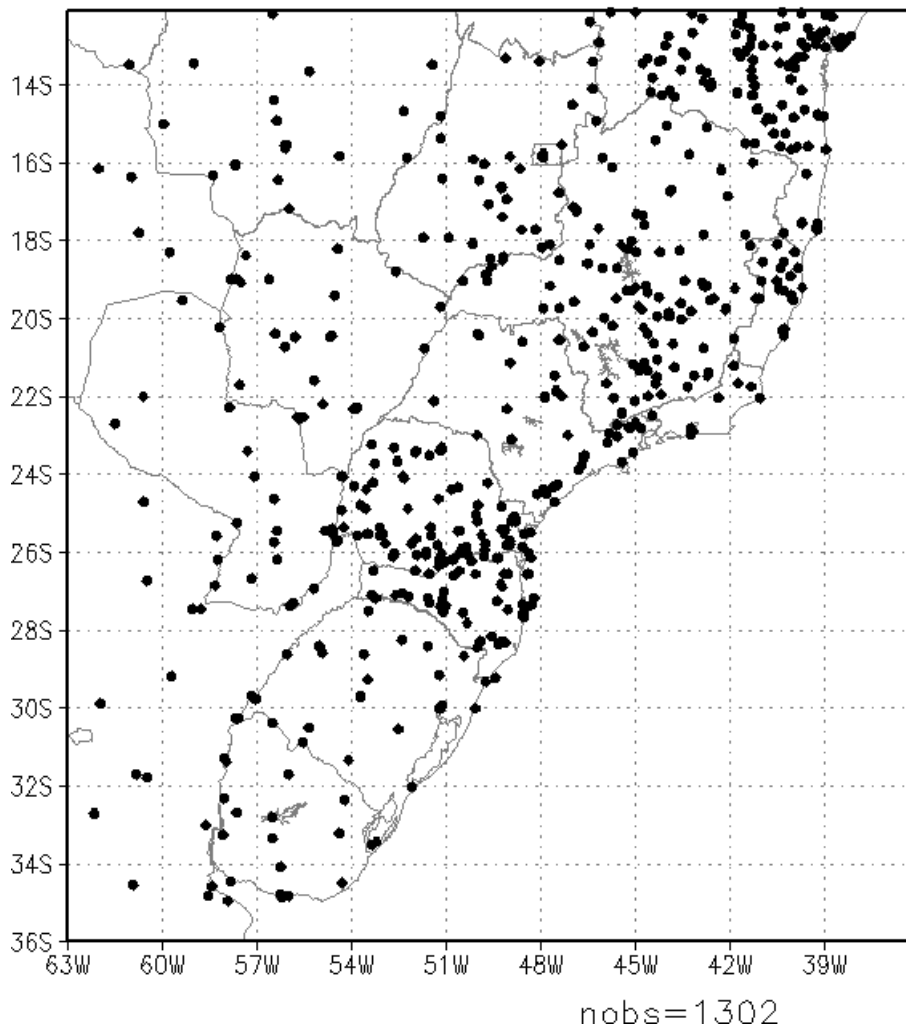


Figura 3.1 – Estações meteorológicas consideradas no cálculo do ETS e BIAS.

3.5– Medidas Utilizadas na Avaliação das Previsões

Segundo Buizza et al. (2005) em uma avaliação de um sistema de previsão por *ensemble* três atributos devem ser considerados: confiabilidade estatística (ou consistência), resolução e discriminação.

Confiabilidade estatística implica que uma amostra de previsões deve ser estatisticamente indistinguível da amostra das observações. Este atributo pode ser corrigido por técnicas estatísticas de pós-processamento. Embora seja um atributo importante, confiabilidade de um sistema de previsão por si só não garante a utilidade do *ensemble*. Resolução estatística reflete a habilidade do sistema de previsão em distinguir entre diferentes eventos futuros.

Discriminação reflete a capacidade do sistema em distinguir entre a ocorrência e não ocorrência de um evento.

Estes atributos podem ser estimados por diferentes medidas. Os índices estatísticos utilizados neste trabalho para definir estes atributos, são definidos a seguir.

3.5.1- *Ensemble* Médio e Erro Médio Quadrático

O *Ensemble* Médio (EM) é a forma mais simples de obter informações de um sistema de previsão por *ensemble*. O cálculo da média das previsões considera que a probabilidade de ocorrência é a mesma para todos os membros do conjunto incluindo a previsão controle. O cálculo para cada ponto de grade j do modelo é dado por:

$$EM_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_j^i \quad (3.4)$$

onde, N é o número de membros do conjunto e F_j^i são as previsões de cada membro. Os resultados do *ensemble* médio devem ser superiores aos resultados de qualquer outro membro, e numa aproximação determinística, podem ser considerados como a melhor estimativa da atmosfera futura.

No presente trabalho o erro médio quadrático do *EM* é calculado e comparado às previsões do membro controle. É avaliada a média de todos os casos estudados.

O erro médio quadrático (RMSE) é dado por:

$$RMSE = \left(\sum_{j=1}^J (F_j - A_j)^2 \right)^{1/2} \quad (3.5)$$

em que j é o índice para cada ponto de grade sobre a área, F_j^i são as previsões de cada ponto de grade, A_j é análise de cada ponto de grade.

3.5.2- Espalhamento do *Ensemble*

Através da previsão por conjunto pode-se obter uma estimativa da incerteza associada a um determinado padrão atmosférico previsto. Buizza (1997) e Whitaker e Lough (1998) mostraram haver determinada correlação entre o espalhamento do conjunto e os erros das previsões para os sistemas de previsão por conjunto do ECMWF e do NCEP. Em Buizza et al. (2005) são feitas comparações entre os erros das previsões e o espalhamento da previsão por conjunto (SPR) para os sistemas de previsão por ensemble de médio prazo do ECMWF, do *Meteorological Service of Canada* e do NCEP por um período de 3 meses entre maio e junho de 2002. Para estes 3 SPE o espalhamento é insuficiente para capturar sistematicamente a realidade, sugerindo que nenhum deles é hábil em simular todas as fontes de incertezas.

O espalhamento das previsões, ou seja, o grau de incerteza da previsão é dado pelo desvio padrão dos membros em relação à média do conjunto ou à previsão controle. Mapas de espalhamento fornecem uma medida da confiabilidade relativa geograficamente. Para regiões onde há menor espalhamento é atribuído maior confiabilidade à previsão e, para regiões onde o espalhamento é grande, é atribuída menor confiabilidade. O espalhamento do conjunto para cada ponto de grade j é calculado como a seguir:

$$SPR_j = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_j^i - EM_j)^2 \right\}^{1/2} \quad (3.6)$$

em que N é o número de membros do conjunto, j é o índice para cada ponto de grade sobre a área, F_j^i são as previsões de cada membro do conjunto e EM_j é a previsão do conjunto médio.

A discrepância entre o espalhamento e o erro do EM é uma das maneiras de se medir a confiabilidade estatística de um sistema de previsão por ensemble (BUIZZA ET AL., 2005). Uma grande diferença entre o erro do EM e o espalhamento da previsão pode ser um indicativo de inconsistência estatística. No entanto, deve-se ter em conta se esta excessiva diferença é devido a um espalhamento muito baixo ou a presença de erros sistemáticos no modelo.

3.5.3- Equitable Threat Score (ETS) e BIAS

O Equitable Threat Score (ETS) e o BIAS relacionado são índices objetivos utilizados na avaliação de previsões de precipitação em diferentes categorias de chuva (MESINGER; BLACK, 1992) medindo a capacidade da previsão em estimar corretamente chuvas acima de determinados valores. Uma previsão de precipitação perfeita resulta em valores de ETS e BIAS iguais a 1. Valores de BIAS superiores (inferiores) a 1 indicam uma superestimativa (subestimativa) da previsão. As precipitações avaliadas são as previsões do ensemble médio acumuladas em 24 horas as 1200 UTC.

O ETS e o BIAS do *ensemble* médio é obtido a partir das expressões:

$$ETS = \frac{H - CH}{F + O - H - CH} \quad (3.7)$$

$$CH = \frac{F * O}{N} \quad (3.8)$$

$$BIAS = \frac{F}{O} \quad (3.9)$$

em que F é o número de pontos de precipitação prevista acima de um determinado limite, O é o número de pontos de precipitação observada acima de um determinado limite, H é o número de acertos e CH é o número de pontos certos aleatórios.

3.5.4- Diagrama de Talagrand

O diagrama de Talagrand é empregado como uma maneira de medir o realismo de um *ensemble*, mas não seu desempenho (HOU ET AL., 2001). São úteis para se verificar se as distribuições da previsão e da análise de verificação têm a mesma distribuição de probabilidades (TALAGRAND, 1997).

São gerados ordenando em cada ponto de grade o valor da previsão de cada membro do *ensemble* dos menores para os maiores valores. O número de intervalos corresponderá ao número de membros do *ensemble* (n) mais 1. É contabilizado o número de vezes que o valor da análise de verificação cairá em cada um dos intervalos. Se a análise for menor do que o menor valor previsto por um dos membros em um determinado ponto de grade, conta-se no intervalo 1, e se a análise for maior que o maior valor previsto conta-se no último intervalo. Isto é feito para todos os pontos de grade e a frequência média na qual a análise verificada ocorre em cada um dos intervalos é determinada.

Num *ensemble* ideal o diagrama de Talagrand tem uma distribuição na forma plana. Um *ensemble* com tendências têm uma das extremidades com uma alta frequência. Deslocamentos para a esquerda (direita) indicam tendências positivas (negativas). Espalhamento insuficiente entre os membros é indicado por um histograma na forma de U, enquanto que a forma de U invertido indica espalhamento excessivo. As análises do NCEP na resolução T126L28

interpoladas para a grade do modelo serão utilizadas como análises para a verificação.

3.5.5- Brier e Brier Skill Scores

O índice *Brier Score* (BS) é essencialmente o erro quadrático médio da probabilidade de previsão que é a medida da diferença quadrática entre um evento previsto e o observado (WILKS, 1995). BS é uma medida negativamente orientada, com previsões perfeitas indicando BS=0. É dado por:

$$BS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - o_i)^2 \quad (3.10)$$

O *Brier Score* pode ser decomposto em três componentes que servem como medidas características das previsões de probabilidades. Estas componentes são a confiabilidade (BS_{REL}), a resolução (BS_{RES}) e a incerteza (BS_{UNC}):

$$BS = BS_{REL} - BS_{RES} + BS_{UNC} \quad (3.11)$$

$$BS_{REL} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^I N_i (y_i - \bar{o}_i)^2 \quad (3.12)$$

$$BS_{RES} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^I N_i (\bar{o}_i - \bar{o})^2 \quad (3.13)$$

$$BS_{UNC} = \bar{o}(1 - \bar{o}) \quad (3.14)$$

em que y_i é a probabilidade prevista, o_i é a frequência observada, N_i é a frequência relativa do evento previsto em cada sub-amostra i , e

$$n = \sum_{i=1}^I N_i \quad (3.15)$$

$$\bar{o}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{k \in N_i} o_k \quad (3.16)$$

$$\bar{o} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n o_k \quad (3.17)$$

Desde que as previsões com maior destreza são caracterizadas pelos menores valores de BS, deve-se esperar que o termo confiabilidade da equação 3.11 seja pequeno, enquanto o termo resolução deva ser grande. Por outro lado o termo de incerteza depende somente da freqüência relativa da amostra climatológica e não é afetado pela previsão.

O termo confiabilidade representa a calibração, ou a tendência condicional, da previsão. Consiste de uma média ponderada das diferenças quadráticas entre as probabilidades previstas e as freqüências relativas do evento previsto em cada sub-amostra. Para previsões que são perfeitamente confiáveis a freqüência relativa da sub-amostra é exatamente igual à probabilidade prevista em cada sub-amostra. Para previsões bem calibradas ou confiáveis as diferenças quadráticas do termo confiabilidade devem ser próximas a 0, e sua média ponderada deve ter pequenos valores. O termo resolução reflete a habilidade da previsão em discernir períodos de previsão da sub-amostra com diferentes freqüências relativas do evento. As probabilidades previstas não aparecem explicitamente neste termo, mas ele depende das previsões através da distribuição dos eventos que definem as freqüências relativas das sub-amostras. Matematicamente é a média ponderada da diferença quadrática entre a freqüência relativa da sub-amostra e a freqüência relativa da amostra climatológica. Deste modo, se a previsão distribui as observações em sub-

amostras com freqüências relativas diferentes da amostra climatológica o termo de resolução será grande. Caso contrário se a previsão distribui os eventos em sub-amostras similares a freqüência relativa do evento, o termo de resolução será pequeno.

O *Brier Skill Score* é definido como

$$BSS = \frac{BS - BS_{REF}}{BS_{PERF} - BS_{REF}} \quad (3.18)$$

Como $BS_{PERF} = 0$, BSS também pode ser escrito na forma

$$BSS = 1 - \frac{BS}{BS_{REF}} \quad (3.19)$$

Considerando $BS_{REF} = BS_{UNC}$, temos:

$$BSS = \frac{BS_{RES} - BS_{REL}}{BS_{UNC}} \quad (3.20)$$

O BS_{REF} , Brier Score de referência, é obtido da climatologia da Reanálise.

3.5.6- Considerações sobre as Características das Avaliações Estatísticas

As avaliações do conjunto médio e da distribuição das probabilidades servirão para determinar a qualidade das previsões dos padrões atmosféricos e das previsões de probabilidade. O cálculo do espalhamento do conjunto é uma maneira de medir o crescimento das perturbações, enquanto que o cálculo do RMSE possibilita a medida da qualidade do EM. O Cálculo do ETS é um

indicativo da capacidade do modelo em prever as diferentes categorias de precipitação. Por outro lado, a qualidade das previsões probabilísticas pode ser medida pelo cálculo do BS e suas componentes e pelo Diagrama de Talagrand.

São avaliados nas verificações os campos previstos de pressão ao nível médio do mar, temperatura e umidade específica em 850 hPa e precipitação acumulada em 24 horas. As componentes do Brier Score são calculadas para as previsões de probabilidade de anomalias maiores ou menores do que um desvio padrão climatológico. Os intervalos de probabilidades são determinados de acordo com o número de membros do conjunto. A metodologia utilizada para se estabelecer os intervalos de probabilidade é descrita no documento manual sobre processamento de dados da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1992). Os resultados dos diversos índices estatísticos foram gerados para cada caso estudado em todo domínio do modelo e apresentados como uma média dos casos.

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentadas: a descrição dos casos selecionados para estudo, as análises dos resultados dos experimentos de previsão por ensemble de física e condição inicial e finalmente uma comparação entre os resultados de uma previsão determinística de alta resolução e a previsão probabilística.

4.1 Descrição dos Casos Avaliados

Para melhor estimar o comportamento caótico da atmosfera as previsões por conjunto devem utilizar metodologias que consigam refletir, o mais realisticamente possível, todas as fontes de incertezas sobre nosso conhecimento da atmosfera. Além disto, a natureza do evento meteorológico presente na atmosfera também influenciará diretamente na sua previsibilidade.

Neste trabalho, foram escolhidos dois tipos de eventos meteorológicos para se estudar os limites de previsibilidade utilizando previsões por conjunto: Eventos de Zona de Convergência do Atlântico Sul e passagens de Sistema Frontal. Apesar dos dois eventos serem fortemente influenciados pela grande escala, tanto nas ZCAS quanto nos SF, ocorrem processos de mesoescala intensificados pela presença de topografia e de contraste entre terra e mar, tais como os encontrados na região da Serra do Mar. Como consequência, a quantidade de chuva é intensificada, o que favorece a ocorrência de desastres naturais tais como deslizamentos e inundações.

Duas características principais foram consideradas na escolha dos casos para este trabalho: a quantidade de precipitação ocorrida e como o fenômeno foi previsto pela previsão determinística. A Tabela 4.1 resume algumas características de cada evento e indica para cada caso escolhido, seu período de duração, a principal região/cidade afetada, além de uma breve descrição sinótica. A maioria dos casos consta no Banco de Mortes do Instituto de Pesquisas Tecnológicas e estão associados a desastres naturais ocorridos na região da SM. A previsão controle será considerada como a previsão

determinística. As rodadas dos casos de ZCAS foram iniciadas 24 horas do fenômeno se estabelecer, enquanto que as rodadas dos casos de frentes foram iniciadas com 48 ou 72 horas de antecedência.

No caso de ZCAS2000 (Figura 4.1a) pode-se notar que entre os dias 31 de dezembro de 1999 e 5 de janeiro de 2000 um sistema frontal permanece atuando sobre o leste paulista, sul de Minas Gerais e estado do Rio de Janeiro, caracterizando um episódio de ZCAS, onde em 6 dias foram acumulados índices pluviométricos superiores a 300 mm em algumas localidades. Neste caso as regiões mais afetadas foram a Serra do Mar e a Serra da Mantiqueira. O caso ZCAS2003 (Figura 4.1b) não foi tão intenso quanto o caso ZCAS2000, porém afetou todo o litoral do estado de São Paulo e estendeu-se pelo interior do Brasil, com núcleos máximos de precipitação entre 200 e 300 mm acumulados entre os dias 26 e 31 de janeiro de 2003. A principal característica do caso ZCAS2004J (Figura 4.1c), é a orientação meridional do sistema frontal semi-estacionário, atuando principalmente sobre o litoral sul paulista e interior do estado de São Paulo. Foram observados entre os dias 25 e 30 de janeiro de 2004 núcleos de precipitação acumulada em 6 dias superiores a 300 mm. O caso ZCAS2004F (Figura 4.1d), apresenta núcleos máximos de precipitação entre 200 e 300 mm, com a banda de chuva se estendendo do litoral norte paulista para o interior do continente entre os dias 20 e 25 de fevereiro de 2004.

Tabela 4.1 - Descrição dos casos de Zona de Convergência do Atlântico Sul e passagem de Sistema Frontal escolhidos para avaliação.

Evento		Período	Sigla	Região Afetada	Descrição
1	ZCAS	31/12/1999 até 05/01/2000	ZCAS2000	Litoral norte paulista, sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Regiões serranas	A partir do dia 30/12/1999, um sistema frontal avança sobre a região Sul do Brasil e atinge a região sudeste no dia 31/12/1999, onde permanece atuando até o dia 05/01/2000, ocasionando fortes chuvas que se estendem do litoral norte paulista e Rio de Janeiro para o interior da região Sudeste.
2	ZCAS	26/01/2003 até 31/01/2003	ZCAS2003	Estados de São Paulo, sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro	A partir do dia 26/01/2003 um sistema frontal começa a atuar sobre o sul do estado de São Paulo e permanece sobre a região Sudeste, oscilando entre o litoral dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro e causando precipitação intensa, principalmente sobre o sul de Minas Gerais, onde as chuvas permanecem constantes por 5 dias.
3	ZCAS	25/01/2004 até 30/01/2004	ZCAS2004J	Litoral sul paulista e interior do estado de São Paulo	Um sistema frontal com orientação meridional avança sobre o estado de São Paulo e a partir do dia 25 de janeiro de 2004 permanece atuando principalmente sobre o sul do litoral paulista e interior de São Paulo até o dia 29 de janeiro de 2004.
4	ZCAS	20/02/2004 até 25/02/2004	ZCAS2004F	Litoral paulista	No dia 20 de fevereiro de 2004 um sistema frontal passa pelo litoral paulista e permanece semi-estacionário próximo ao litoral norte paulista e litoral sul fluminense até o dia 25 de fevereiro de 2004. As chuvas associadas a este evento estendem-se pelo continente atingindo a maior parte da região Sudeste.
5	SF	01/12/2002 até 09/12/2002	SF2002	Ubatuba (SP) e Angra dos Reis (RJ)	No dia 07 de dezembro de 2002, ocorre a formação de um CCM sobre a região da Baixa do Chaco, que desloca rapidamente através da região Sul do Brasil dando origem a um SF. Nos dias 08 e 09 de dezembro de 2002, este SF, passa pelo litoral da região Sudeste e provoca chuvas intensas principalmente no litoral norte paulista e sul fluminense.
6	SF	20/04/2004 até 22/04/2004	SF2004	Ubatuba (SP)	Um sistema frontal avança sobre o estado de São Paulo rapidamente entre os dias 20 e 21 de abril de 2004 ocasionando chuvas moderadas sobre o litoral paulista. No entanto a circulação do sistema de alta da retaguarda favorece a ocorrência de chuvas fortes sobre Ubatuba e vizinhanças no dia 22 de abril de 2004.
7	SF	07/04/2006 até 09/04/2006	SF2006	Caraguatatuba (SP)	A partir do dia 8 de abril de 2006, ocorre a formação de um sistema frontal sobre o oceano Atlântico, próximo a região Sudeste do Brasil. A atuação deste sistema provoca chuvas fortes em Caraguatatuba e São Sebastião. Em menos de 24 horas são registrados mais de 170 mm na estação PCD de Caraguatatuba.
8	SF	11/01/2008 até 13/01/2008	SF2008	Itanhaém (SP)	Um sistema frontal avança deslocando-se pela região sul no dia 10 de janeiro de 2008. A partir do dia 11 de janeiro atinge a região Sudeste e causa intensa precipitação em todo litoral sul paulista entre os dias 12 e 13 de janeiro de 2008.

Entre os casos de ZCAS escolhidos, bem como os casos SF, observa-se uma diferença significativa da quantidade de chuva observada. A Figura 4.1 indica a quantidade de precipitação acumulada em 6 dias ocorrida durante cada

episódio de ZCAS, enquanto que a Figura 4.2 indica o valor observado de precipitação em 24 horas do dia com maior quantidade de precipitação ocorrida em cada caso de passagem de SF.

Nos casos de passagem de SF, a quantidade de precipitação é muito variável entre os casos escolhidos. Dois deles, SF2002 (Figura 4.2a) e SF2006 (Figura 4.2c), as chuvas são mais intensas após a passagem do sistema frontal em consequência da circulação da alta da retaguarda. Nestes dois casos, foram observados núcleos máximos de precipitação acumulada em 24 horas acima de 150 e 170 mm, respectivamente nos dias 09 de dezembro de 2002 e 09 de abril de 2006 nas cidades de Ubatuba e Caraguatatuba. O caso SF2004 (Figura 4.2b), não tem precipitação tão intensa, com núcleo máximo entre 50 e 100 mm, ocorrido no dia 22 de abril de 2004 sobre o litoral norte paulista. No caso SF2008 (figura 4.2d), a precipitação mais intensa ocorre durante a passagem do SF com núcleo máximo excedendo a 200 mm no dia 13 de janeiro de 2008, sobre o litoral sul paulista.

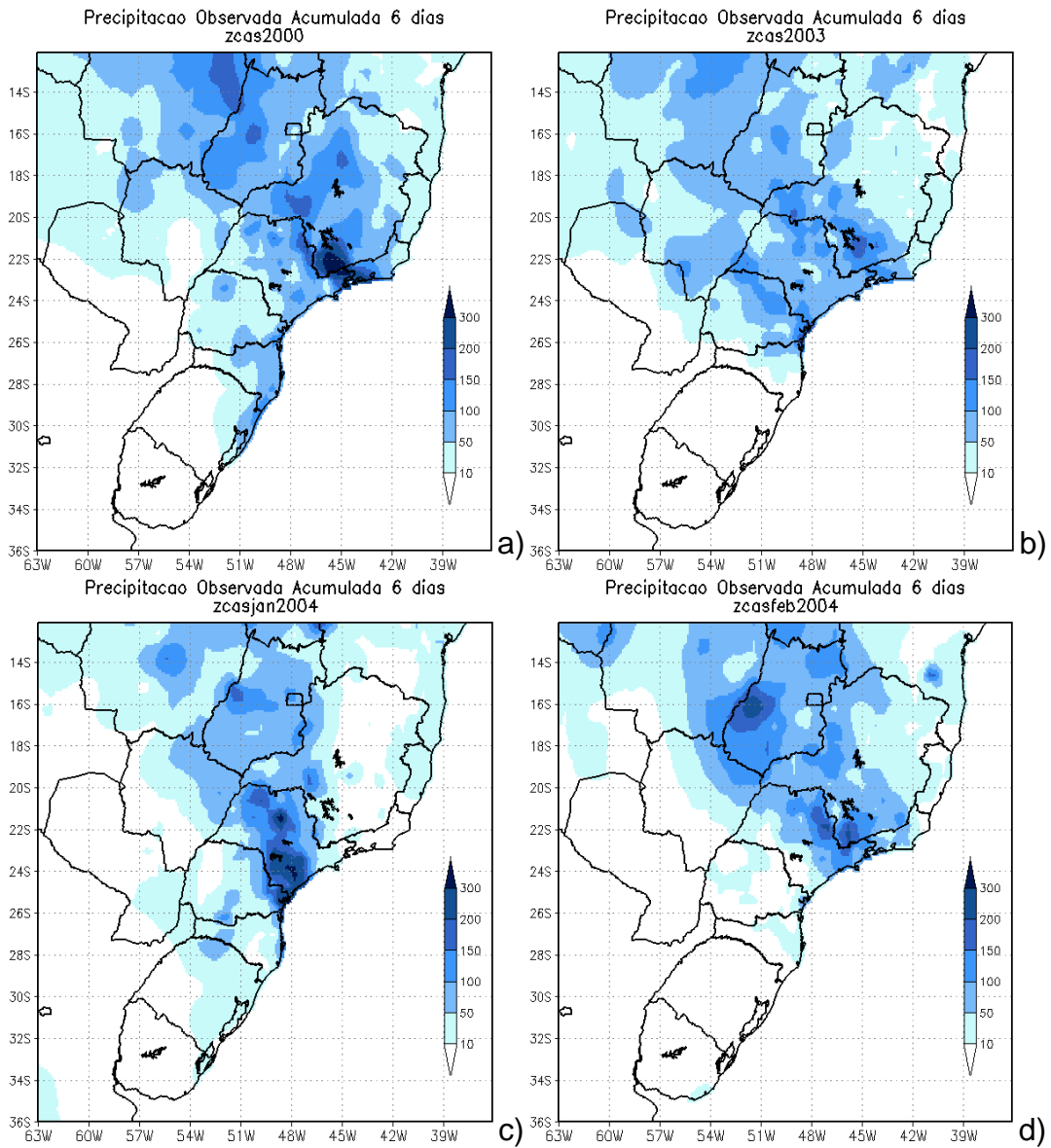


Figura 4.1 – Precipitação acumulada em 6 dias (mm) ocorrida no período entre: a) 31/12/1999 e 5/01/2000 (ZCAS2000); b) 26 e 31/01/2003 (ZCAS2003); c) 25 e 30/01/2004 (ZCASjan2004); d) 20 e 25/02/2004 (ZCASfeb2004).

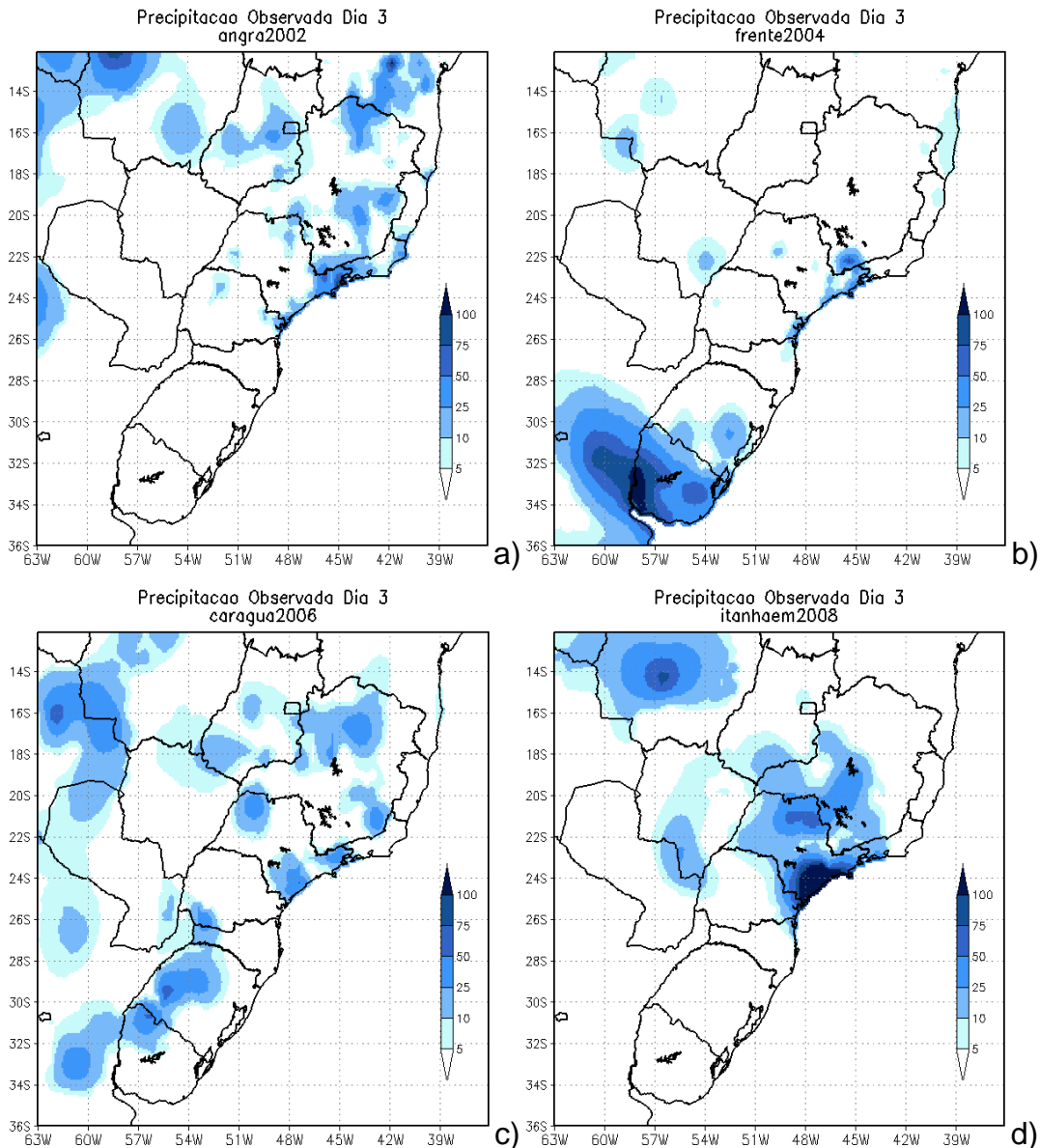


Figura 4.2 – Precipitação acumulada em 24 horas (mm) às 1200 UTC ocorrida no dia: a) 09 de dezembro 2002 (SF2002); b) 22 de abril 2004 (SF2004); c) 09 de abril 2006 (SF2006); d) 13 de janeiro 2008 (SF2008).

4.2 Avaliação das Incertezas

Comparar diferenças entre diversos sistemas de previsão por ensemble é uma maneira de responder algumas questões sobre qual a melhor metodologia de perturbação a ser usada. Nesta seção os resultados serão organizados, primeiramente, pelo método de ensemble utilizado, avaliando separadamente os casos de ZCAS e de SF, de modo a entender o papel das perturbações, no instante inicial e também nas previsões do modelo numérico, na previsibilidade de cada um dos sistemas meteorológicos.

O primeiro enfoque será dado aos resultados das incertezas decorrentes de diferentes conjuntos de condições iniciais, comparando resultados fornecidos pelo SREP e SREPH e analisando o papel das perturbações introduzidas pelos dois experimentos. Em seguida serão avaliadas as incertezas decorrentes das representações da física do modelo. Por fim um novo conjunto é constituído combinando estas duas metodologias, o SREPT com 11 membros. Avaliou-se o impacto do tamanho do ensemble e o comportamento do espalhamento, além de apontar a metodologia mais capaz de capturar o maior número de incertezas para as previsões de curto prazo.

A qualidade das previsões dos padrões atmosféricos e das previsões de probabilidades é avaliada através do conjunto médio (avaliação determinística) e da distribuição de probabilidades (avaliação probabilística). O crescimento das perturbações durante a integração do modelo é considerado através do cálculo do espalhamento do conjunto.

A avaliação determinística é feita comparando os resultados do *ensemble* médio com o membro controle (considerado como uma previsão determinística), pois é desejável e esperado que o desempenho do *ensemble* médio previsto seja melhor que o desempenho do controle (TOTH e KALNAY, 1993). Também possibilita a determinação da confiabilidade da previsão pelo cálculo do espalhamento da previsão e sua comparação com o RMSE do ensemble médio (BUIZZA, 2005). As previsões probabilísticas são aplicações valiosas fornecidas pelas previsões por conjunto, pois elas combinam todas as informações da previsão por conjunto em um único produto e fornecem uma medida da incerteza da previsão.

4.2.1 Incertezas das Condições Iniciais

A análise dos resultados das metodologias que incluem perturbações da condição inicial é feita em duas partes. Primeiramente, as características das perturbações no tempo inicial e sua evolução com o avanço do prazo de integração, além do impacto destas perturbações nas previsões geradas, são avaliadas. Desde que as condições iniciais são fornecidas pelo SPE do modelo global, primeiramente são comparados os resultados da metodologia do *Ensemble* de Médio Prazo (EMP) e do *Ensemble* de Curto Prazo (ECP). Estas avaliações foram feitas considerando apenas os casos de ZCAS. Em uma segunda etapa os resultados das metodologias de ECP são avaliados.

4.2.1.1 Impacto da Inclusão das Perturbações dos Campos Iniciais de Umidade Específica sobre o *Ensemble* de Médio e Curto Prazo

As perturbações introduzidas pelos experimentos do EPS e EPSH são apresentadas na Figura 4.3. Os padrões de diferenças entre a condição inicial do EPS e do EPSH com a análise proveniente do NCEP, apresentadas nesta figura, são nitidamente distintos. As diferenças nas amplitudes das perturbações são resultantes da aplicação de uma nova fonte de incertezas. O experimento EPS, que não considera a perturbação da umidade específica (Figura 4.3a), indica pequenas áreas sobre o domínio com diferenças máximas em torno de 0,5 g/kg. Quando a perturbação da umidade específica é introduzida no experimento EPSH (Figura 4.3b) nota-se que as diferenças entre o membro perturbado e a análise NCEP são mais significativas em relação ao padrão horizontal, tanto em termos de área perturbada como em magnitude das diferenças com valores entre -1 e 1 g/kg. Ou seja, o experimento que inclui a perturbação de umidade específica acrescenta maiores incertezas às condições iniciais do que o método que considera apenas as perturbações dos campos iniciais de vento e temperatura, sendo as perturbações espalhadas por quase todo o domínio do experimento. Este mesmo padrão é verificado nas condições iniciais utilizadas nos experimentos de curto prazo SREP e SREPH (não mostrado). Os resultados aqui apresentados são relativos a um único membro do conjunto, mais especificamente o membro da primeira perturbação

EOF. Os demais membros também indicam padrões de diferenças mais significativas quando a umidade específica é incluída entre os campos inicialmente perturbados (figuras não mostradas). O membro escolhido para avaliação pertence ao caso de ZCAS ocorrido em janeiro de 2000.

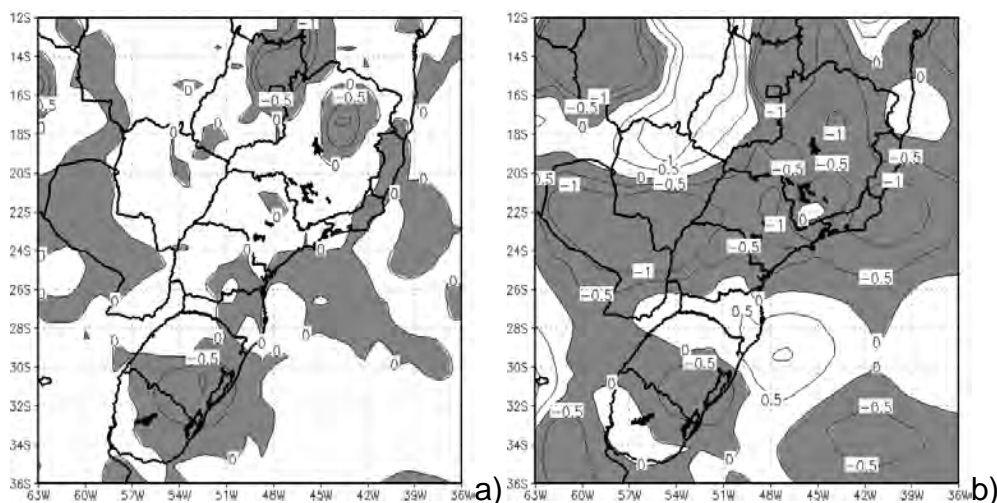


Figura 4.3 - Umidade específica em 850-hPa (g/kg): diferença entre a condição inicial do membro perturbado e a análise sem perturbações do NCEP: a) EPS e b) EPSH. Valores negativos em sombreado.

Partindo de condições iniciais com maior número de incertezas incorporadas, deve-se procurar entender o efeito destas perturbações sobre as previsões com o avanço do prazo de integração, principalmente no que diz respeito ao crescimento dos erros. Deve-se considerar se ocorrerá maior espalhamento entre as previsões com maior número de incertezas nas condições iniciais. A Figura 4.4 apresenta a diferença entre as previsões de umidade específica em 850 hPa proveniente do EPSH e do EPS para 72 e 144 horas de previsão. No prazo de 72 horas de previsão grandes áreas de diferenças são observadas na Figura 4.4a, principalmente na área de atuação da ZCAS, estas diferenças são negativas e indicam que o membro do EPSH tem menor conteúdo de umidade que o membro do EPS. No entanto com o avanço do prazo de previsão, em 144 horas, estas áreas tendem a diminuir, tanto em tamanho como em magnitude como pode ser notado na Figura 4.4b. Ou seja, há mais áreas com diferenças entre as previsões com maior magnitude nos primeiros horários de integração. Nos horários finais o evento de ZCAS está configurado e menor

dispersão tanto entre os membros de cada experimento como entre os experimentos é notada na região de atuação do fenômeno.

As diferenças das previsões entre SREPH e SREP apresentam padrão diferente das diferenças entre as previsões do EPSH e EPS. Em todos os horários de previsão são notadas diferenças entre as previsões SREPH e SREP (Figura 4.5), porém as magnitudes das diferenças permanecem próximas em todos os horários.

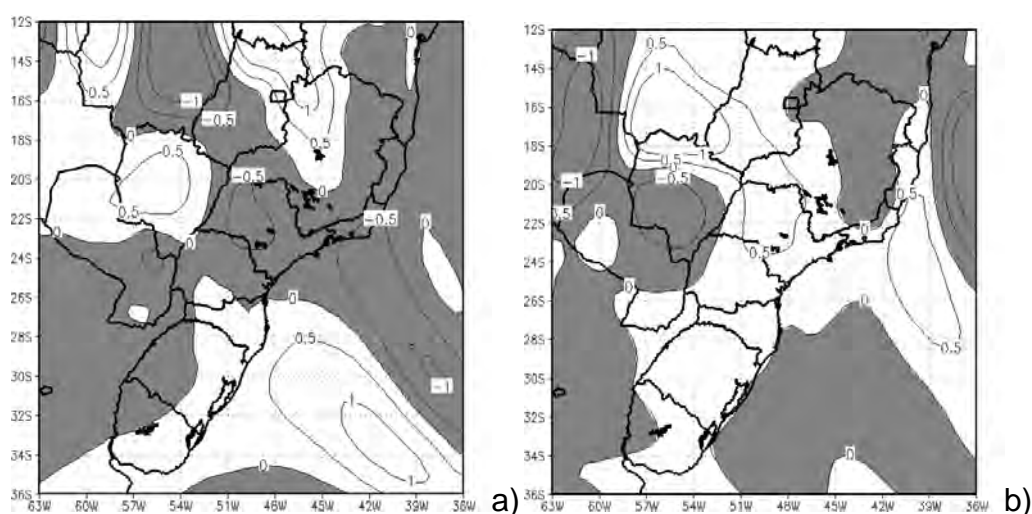


Figura 4.4 - Umidade específica em 850-hPa (g/kg) diferenças entre as previsões do EPSH e EPS: a) previsão de 72 horas e b) previsão de 144 horas. Valores negativos em sombreado indicam a redução da umidade inicial do EPSH em relação ao EPS.

Na Figura 4.6 estão plotadas as médias das diferenças entre as previsões de cada membro e a previsão controle para os quatro casos de ZCAS, para o EMP (Figura 4.6a) e para o ECP (Figura 4.6b). Ou seja, estão plotadas as médias das perturbações de umidade específica que foram inseridas em todo o domínio e em uma região sobre a SM (48W26S-42W22S). A diferença média em todo o domínio (linhas cheias) indica que as incertezas na condição inicial são ligeiramente diferentes para os experimentos com e sem umidade, tanto para a metodologia do EMP quanto para a metodologia do ECP. Para o EMP há um maior crescimento da diferença entre membros perturbados e análise do NCEP nos primeiros horários de previsão, até 30 horas. Após este horário a

média das perturbações inseridas tornam-se aproximadas com valores oscilando entre -0,4 e -0,2 g/kg. Porém estas diferenças são sempre negativas o que indica que em média o EMP diminuiu a quantidade de umidade na atmosfera.

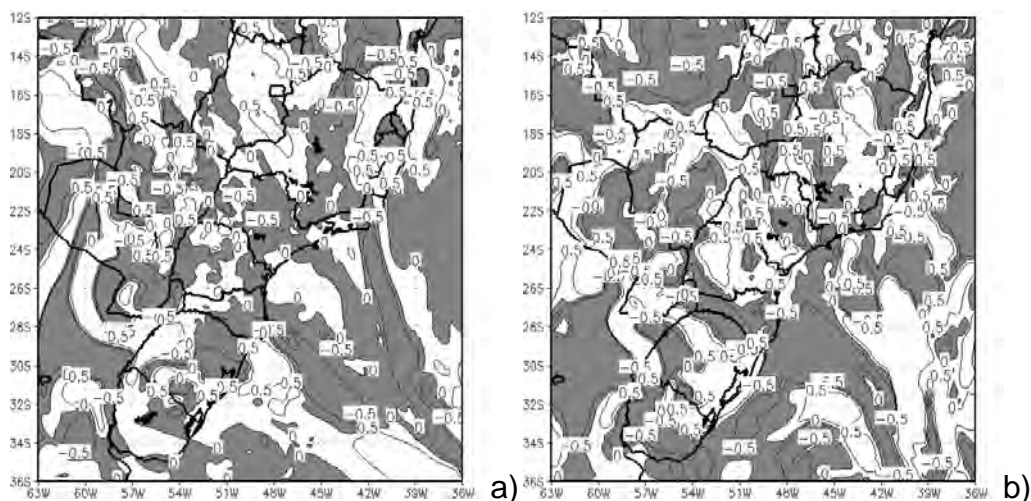


Figura 4.5 - Umidade específica em 850-hPa (g/kg) diferença entre as previsões do SREPH and SREP: a) previsão de 72 horas e b) previsão de 144 horas. Valores negativos em sombreado indicam a redução da umidade inicial do SREPH em relação ao SREP.

Para o ECP, as diferenças nas primeiras 24 horas tendem a ser negativas, mas com o avanço do prazo de integração passam a ser positivas, indicando nos horários finais um maior conteúdo de umidade em relação à previsão controle. Não há grandes diferenças entre os experimentos seco e úmido, no entanto são ligeiramente maiores do que nos experimentos do EMP.

Sobre a área da Serra do Mar, as diferenças médias para o EMP apresentam valores bastante diferentes nos prazos finais de integração, após 84 horas de previsão. Para esta região o ECP indica maiores diferenças entre os dois experimentos em todos os horários de previsão, além de haver uma oscilação entre valores positivos (membros perturbados com maior quantidade de umidade que a análise NCEP) e negativos (membros perturbados com menor quantidade de umidade que a análise NCEP). É interessante notar que nos horários finais da integração as diferenças apresentam tendências opostas

para as metodologias de médio e curto prazo sobre a região da SM. Os dois experimentos da metodologia do EMP apresentam valores negativos (menor conteúdo de umidade na atmosfera), enquanto que os dois experimentos da metodologia de ECP apresentam valores positivos (maior conteúdo de água na atmosfera). Esta divergência de comportamento deve alterar a quantidade de precipitação prevista sobre a região da SM pelos dois experimentos de *ensemble*. A dependência do ECP em relação ao EMP é mais notada nos horários iniciais de previsão. Além disto, a oscilação das diferenças do EMP quer seja em todo domínio, quer seja na região da SM, é menor que a oscilação do ECP. Isto pode implicar em um maior espalhamento das previsões do ECP em comparação ao espalhamento do EMP.

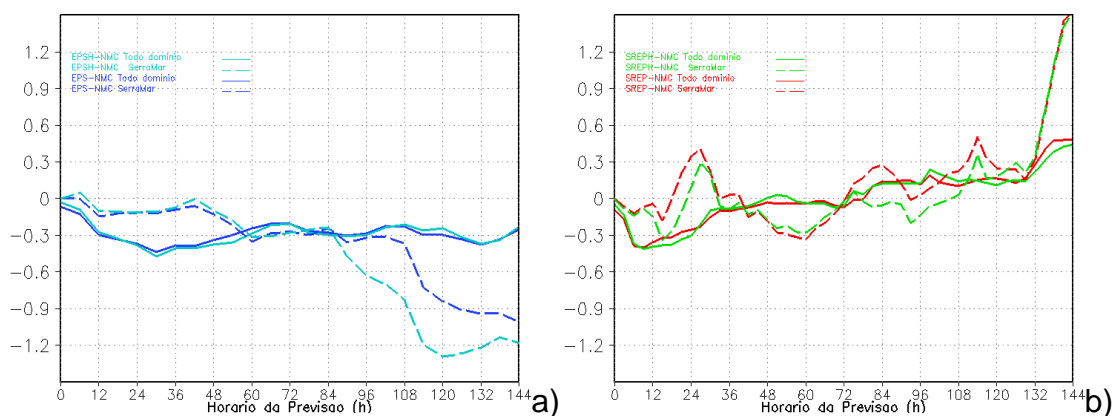


Figura 4.6 - Umidade específica em 850-hPa (g/kg) média das diferenças entre as previsões do ensemble e a previsão controle de todos os membros dos quatro casos de ZCAS: a) EPSH (azul claro) e EPS (azul escuro); b) SREPH (verde) e SREP (vermelho). Linhas cheias representam os valores para todo o domínio, enquanto que as linhas pontilhadas representam os valores para a região da Serra do Mar.

A estrutura vertical e a evolução das perturbações do SREP e SREPH no instante inicial e em diferentes horários de previsão para o membro rodado utilizando a primeira perturbação EOF do caso ZCAS2000, são mostradas na Figura 4.7. Os campos são as diferenças entre o membro perturbado e o membro não perturbado para a latitude de 23° S. Esta latitude foi escolhida em função da frente do caso ZCAS2000 ter permanecido semi-estacionário sobre esta região na maioria dos horários de previsão. Na coluna da esquerda estão

as diferenças do SREP, enquanto que na coluna da direita estão as diferenças do SREPH em relação à previsão controle. No instante inicial, as perturbações são muito mais intensas no membro do SREPH (Figura 4.7b). O membro com a perturbação de umidade acrescenta mais umidade em todos os níveis da atmosfera. As perturbações em 24 horas de previsão aumentam tanto no membro SREP quanto no membro SREPH com valores mais intensos no SREPH (Figura 4.7d). Com o avanço do prazo de previsão notam-se perturbações nos dois membros, SREP e SREPH. O membro SREP apesar de não ter incluído a perturbação do campo de umidade específica na condição inicial, apresenta um crescimento da perturbação com o avanço do prazo de previsão e nos instantes finais do prazo de integração, as perturbações do SREP tornam-se similares as perturbações do membro SREPH. Ou seja, independente da perturbação inicialmente introduzida sempre ocorrerá um crescimento das perturbações com o avanço do prazo de previsão, que tendem a ser equivalentes nos instantes finais. Isto indica que o crescimento das perturbações ocorre tanto na metodologia sem umidade (membro SREP) quanto na metodologia com umidade (membros SREPH).

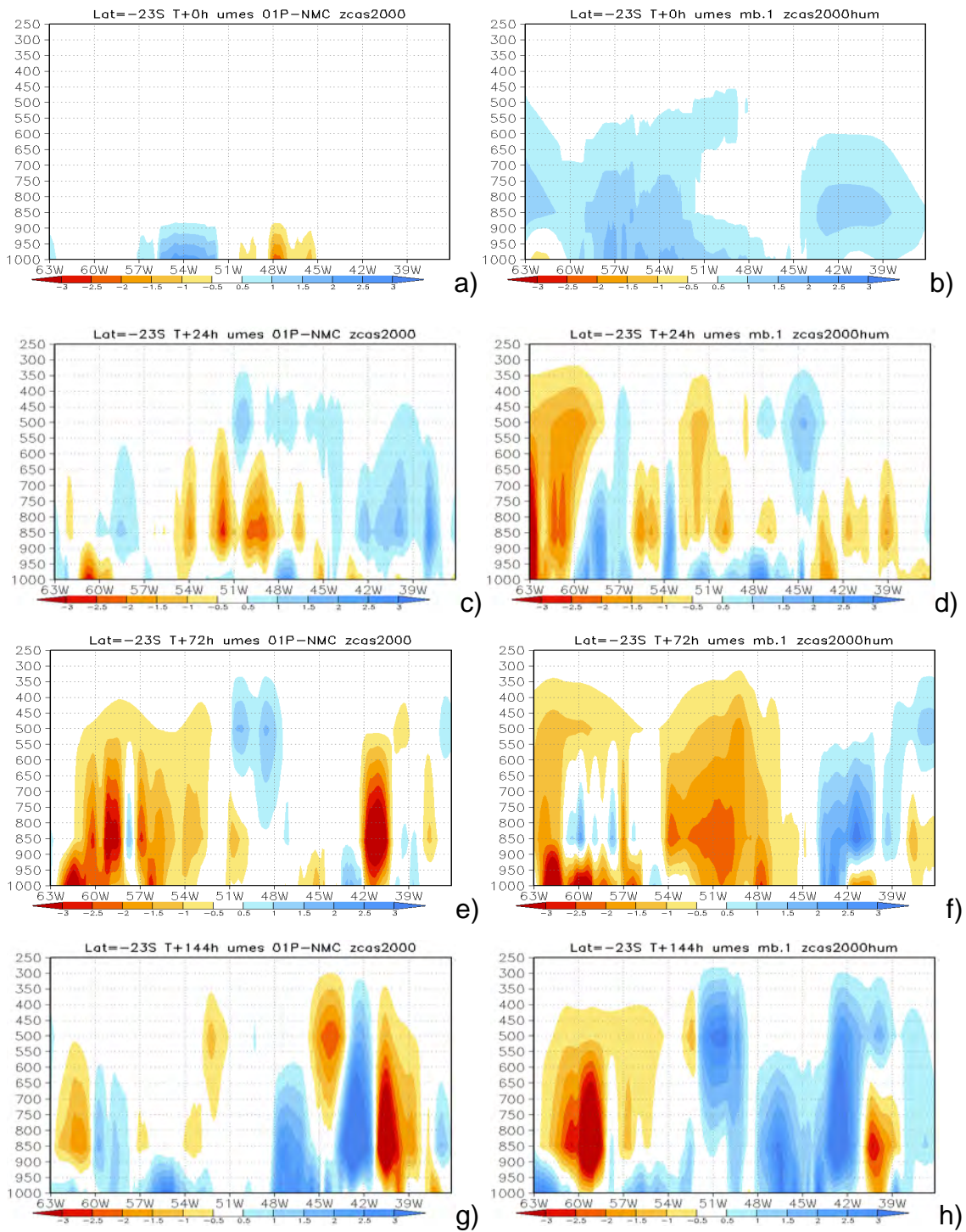


Figura 4.7 – Perfil Vertical da diferença entre um membro com perturbação EOF e o membro não perturbado da umidade específica (g/kg) na latitude 23° S do: a) instante inicial do SREP; b) instante inicial do SREPH; c) 24 horas de previsão do SREP; d) 24 horas de previsão do SREPH; e) 72 horas de previsão do SREP; f) 72 horas de previsão do SREPH; g) previsão de 144 horas do SREP; h) previsão de 144 horas do SREPH.

O espalhamento das previsões fornecidas pelo ensemble de médio e curto prazo é indicado na Figura 4.8. São apresentados os resultados médios para todo o domínio para as variáveis umidade específica em 850 hPa e precipitação acumulada a cada 3 horas. Nota-se que o espalhamento do ECP é maior que o espalhamento do EMP nos dois experimentos de perturbação, com e sem umidade, para as duas variáveis avaliadas. O espalhamento das previsões da variável umidade específica é ligeiramente maior no experimento EPSH nos primeiros horários de previsão. Em geral, o crescimento do espalhamento é maior até 72 horas e torna-se menor nos prazos finais da previsão. O fato de que o crescimento da incerteza diminui com o avanço do prazo de previsão pode estar associado ao evento meteorológico envolvido. O padrão de grande escala dos fenômenos de ZCAS geralmente tem boa previsibilidade (SELUCHI e CHOU, 2009) o que pode levar há uma pequena dispersão entre as previsões dos membros de um sistema de previsão por conjunto. Nos primeiros horários da previsão, o evento de ZCAS não está ainda totalmente configurado, de modo que o espalhamento das previsões é maior nos horários iniciais do que nos horários finais da previsão onde as características da ZCAS, tais como a convergência de umidade nos baixos níveis e o posicionamento semi-estacionário do sistema frontal, são predominantemente similares em todos os membros da previsão. A taxa de crescimento do espalhamento da precipitação diminui com o avanço do prazo de integração. O espalhamento das previsões da precipitação exhibe claramente um ciclo diurno com o espalhamento máximo ocorrendo às 1800 UTC e o espalhamento mínimo ocorrendo às 0600 UTC. Este máximo de espalhamento às 1800 UTC está provavelmente relacionado ao aumento de precipitação prevista nos horários convectivos. Em geral, o ECP apresenta maior espalhamento que o EMP em todos os horários de previsão, porém não foram observadas diferenças tão significativas entre o espalhamento das duas metodologias. Embora a metodologia com umidade tenha introduzido perturbações significativas com aumento do espalhamento inicial de 0,2 para 0,6 g/kg, a taxa de crescimento das perturbações torna-se similar com o avanço do prazo de integração para as duas metodologias. Comparações da taxa de espalhamento com o RMSE da previsão serão feitas na próxima seção.

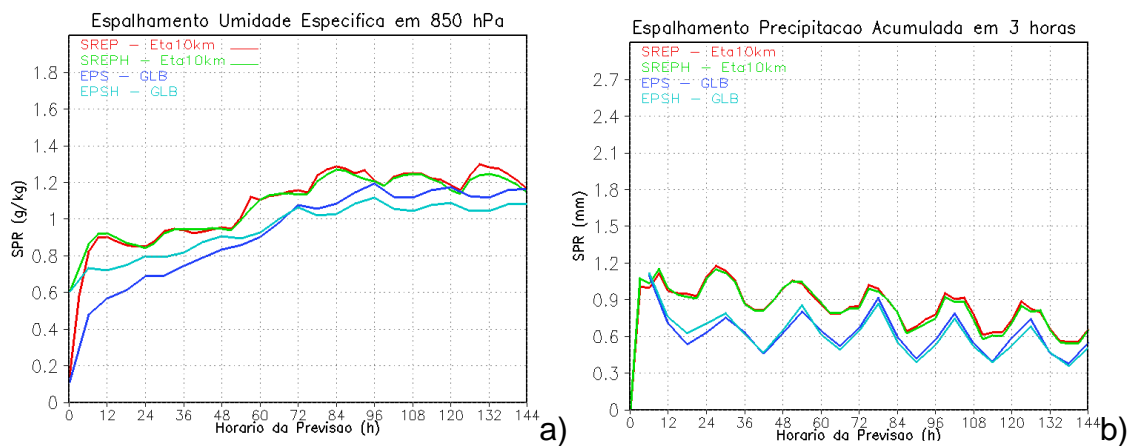


Figura 4.8 - Espalhamento das previsões do ensemble do SREP (linha sólida), SREPH (linha tracejada), EPS (linha pontilhada) e EPSH (linha tracejada-pontilhada) para: a) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e b) precipitação acumulada em 3 horas (mm/3h).

4.2.1.2 Desempenho das Previsões SREP e SREPH Baseado em Índices Estatísticos

Nesta seção, os resultados dos experimentos são apresentados através da média dos casos de cada tipo de evento estudado. O desempenho da previsão controle é avaliado para que possa ser comparado com o desempenho do *ensemble* médio dos diferentes experimentos indicando possíveis vantagens das previsões por conjunto em relação à previsão determinística. Primeiramente, são avaliados os casos de ZCAS e posteriormente os casos de SF. A intenção principal desta seção é determinar se a inclusão de mais uma variável como fonte de incertezas nas condições iniciais conduz o ECP à melhores resultados em termos de desempenho do SPE e também em termos de previsões de precipitação mais realísticas.

4.2.1.2.1 Previsibilidade dos Casos de Zona de Convergência do Atlântico Sul

Os resultados a seguir referem-se à média do *ensemble* médio dos quatro casos de ZCAS selecionados para o estudo. Em um sistema de previsão por conjunto é desejável que a magnitude do RMSE do *ensemble* médio da

previsão seja comparável ao espalhamento das previsões (BUIZZA, 2005). A discrepância entre o espalhamento das previsões (SPR) e o RMSE da previsão, indica como o sistema de previsão por ensemble é capaz de estimar as incertezas. Uma grande discrepância pode ser um indicativo de alguma deficiência no sistema de *ensemble* que pode, por exemplo, estar sendo subdispersivo. No entanto, grandes discrepâncias entre SPR e RMSE também podem ser consequência de altos valores do RMSE das previsões, principalmente quando há a presença de grandes erros sistemáticos nos modelos utilizados.

A comparação dos resultados do RMSE e do espalhamento para os experimentos SREP e SREPH pode ser observada na Figura 4.9. Em geral, o RMSE do ensemble médio indica resultados similares para os dois experimentos, SREP e SREPH. O RMSE do ensemble médio da temperatura e da umidade específica em 850 hPa do SREPH é ligeiramente maior do que os resultados do experimento SREP nos prazos finais da previsão. Para estas duas variáveis, em todos os horários de previsão, o RMSE da previsão controle é maior do que o RMSE do *ensemble* médio o que indica que tanto o SREP quanto o SREPH fornecem melhores resultados em relação à previsão determinística. Para a variável UMES a redução do RMSE do *ensemble* médio em relação à previsão determinística é muito mais significativa, apresentando valores até 0,3 g/kg menores para o RMSE do ensemble médio. Para a pressão ao nível médio do mar o RMSE dos experimentos tem valores muito próximos aos valores da previsão controle até 108 horas, após este prazo de integração os valores de RMSE da previsão controle são maiores. Para todas as variáveis nota-se um crescimento muito forte do RMSE nos instantes iniciais da previsão que deve estar associado à fase de ajuste inicial da variável do modelo às condições iniciais, pois as análises usadas como condição inicial são provenientes do modelo do NCEP e não do modelo Eta.

O espalhamento da variável temperatura em 850 hPa (TEMP) nos prazos finais da previsão é ligeiramente menor para o experimento SREPH em comparação ao experimento SREP (Figura 4.9a). O maior espalhamento é notado no

horário inicial com valores em torno de 1,2 °C, no entanto o espalhamento diminui com a integração para valores em torno de 0,5 °C em 24 horas de previsão. Esta diminuição do espalhamento da TEMP nos tempos iniciais pode ser parcialmente devido à fase de ajuste do modelo. Após este forte decaimento do espalhamento nos tempos iniciais do modelo há um discreto crescimento com a integração. O RMSE da TEMP é comparável ao espalhamento, embora seja geralmente maior.

O espalhamento da umidade específica (UMES) é bastante próximo para os dois experimentos e também apresenta um crescimento inicial forte nos instantes iniciais. Após os horários iniciais o crescimento do espalhamento das previsões de UMES é mais suave. Apesar da inclusão da perturbação da umidade específica nos campos iniciais o experimento úmido tende a ter uma taxa de espalhamento semelhante à taxa de espalhamento do experimento sem a perturbação da umidade.

A variável PNNM é a que apresenta maiores diferenças no espalhamento, quando comparado as outras variáveis. O espalhamento das previsões da PNNM nos horários iniciais mostra maiores valores para o experimento SREPH, enquanto que o experimento SREP apresenta maior espalhamento a partir de 72 horas de previsão. Novamente, nas primeiras 12 horas de previsão, pode-se notar o forte crescimento do espalhamento devido ao período de ajuste do modelo.

Apesar dos experimentos SREP e SREPH indicarem resultados relativamente próximos em termos de RMSE e de espalhamento, a variável precipitação sofre impacto direto quando perturbações no campo de umidade específica são inseridas nas condições iniciais. A seguir são apresentados alguns resultados que mostram o impacto destas perturbações sobre o campo de precipitação.

As precipitações acumuladas em 24 horas, na média para todo o domínio e para todos os casos de ZCAS, previstas pelo SREP e SREPH são comparadas com a precipitação observada (Figura 4.10). Em todos os horários de previsão, exceto 144 horas, os valores previstos pelo SREPH (barras em verde) são mais próximos aos valores observados (barras em preto) do que os valores previstos pelo SREP (barras em vermelho). Isto indica que a inclusão das perturbações da umidade específica contribui para melhorar a previsão da precipitação do ensemble médio. Uma avaliação feita membro a membro mostra que há uma relação direta entre o aumento (diminuição) da umidade específica devido à inclusão de perturbações com o aumento (diminuição) da precipitação prevista.

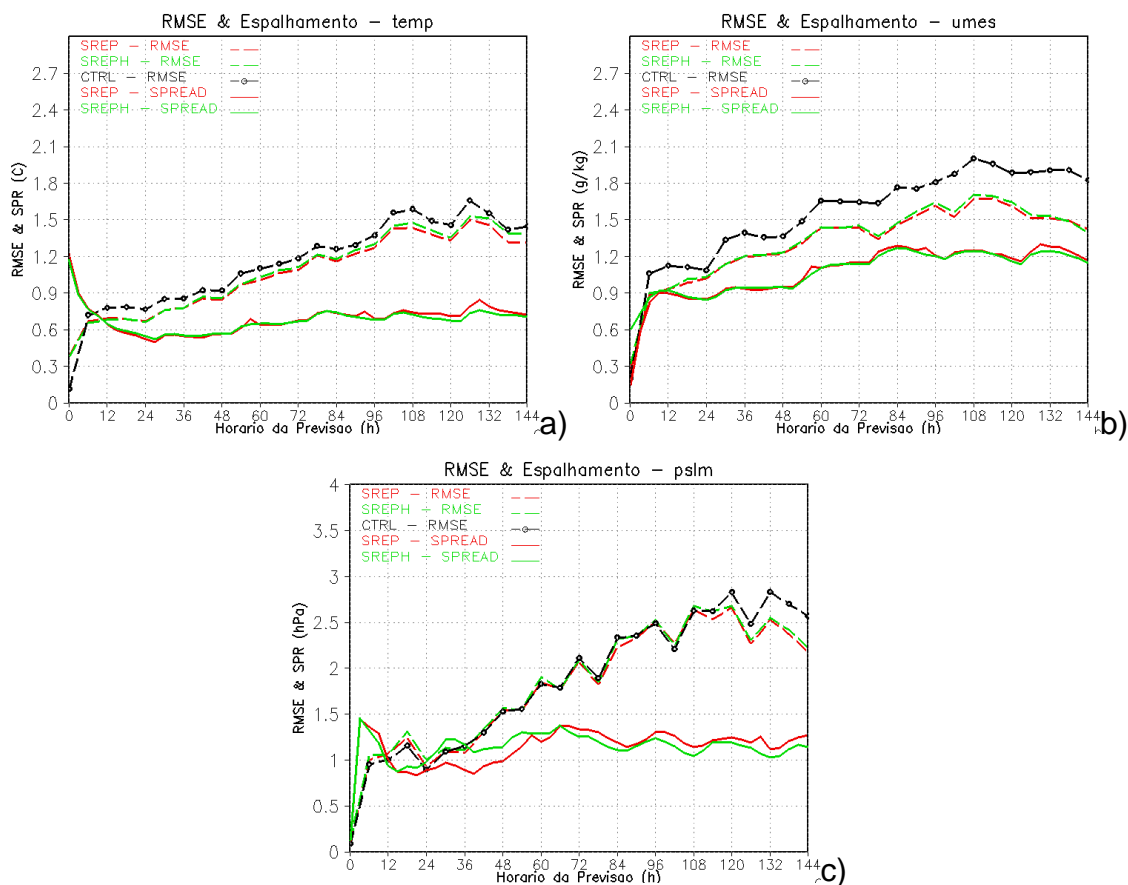


Figura 4.9 - RMSE e SPR para os casos de ZCAS da: a) temperatura em 850-hPa ($^{\circ}\text{C}$) e b) umidade específica em 850-hPa (g/kg). RMSE é a linha sólida e tracejada para o SREPH, SREP e a rodada controle (com círculos). SPR é a linha tracejada-pontilhada e pontilhada para o SREPH e SREP.

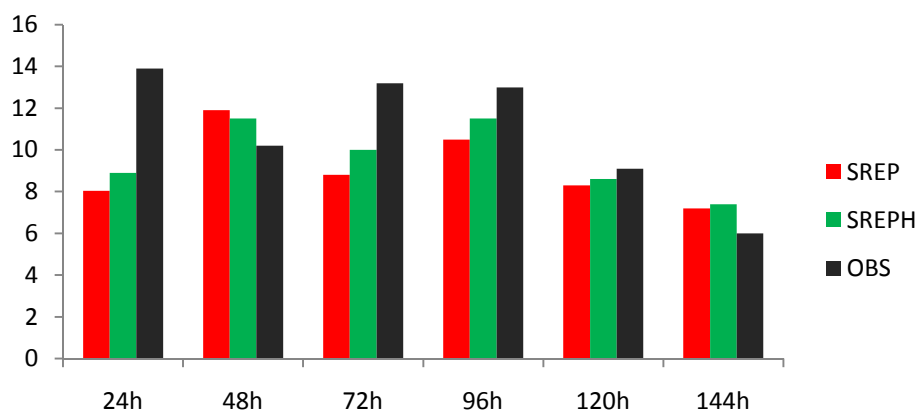


Figura 4.10 - Precipitação acumulada em 24 horas média para todo o domínio: ensemble médio previsto pelo SREP (barras em vermelho); ensemble médio previsto pelo SREPH (barras em verde); precipitação observada (barras em preto).

Uma ligeira vantagem das previsões de precipitação fornecidas pelo SREPH também é indicada pelo cálculo dos índices ETS e BIAS (Figura 4.11). Estes índices são usados para medir de forma objetiva o desempenho das previsões de chuva em diferentes categorias de precipitação. Foram utilizadas as previsões de precipitação acumulada em 24 horas dos *ensembles* médios de cada caso.

Uma previsão perfeita indica valores de ETS equivalentes a 1, enquanto que BIAS acima (abaixo) de 1 indica superestimativa (subestimativa) das previsões. A Figura 4.11 mostra o ETS e o BIAS para o *ensemble* médio previsto por ambos os experimentos para todos os casos e para todos os horários de previsão. Os valores do ETS são relativamente próximos para os dois experimentos com ligeira vantagem para o experimento SREPH nas categorias de chuva forte, acima de 25 mm/dia. Por outro lado, o BIAS indica melhor desempenho para o experimento SREPH em todas as categorias de chuva. Para categorias abaixo de 6 mm/dia a evidência não é tão clara, porém para chuvas acima de 12 mm/dia o desempenho foi consideravelmente melhor e a subestimativa de precipitação do experimento SREPH é menor que a subestimativa do experimento SREP.

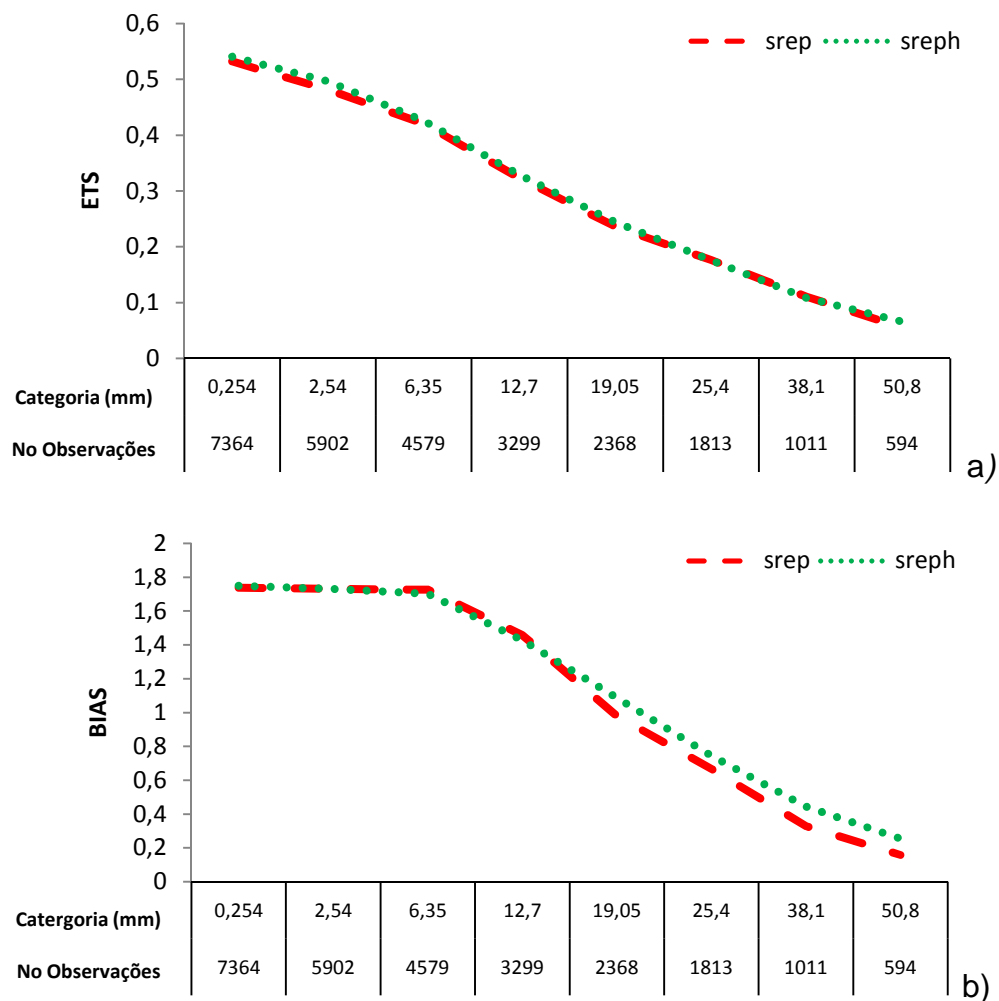


Figura 4.11 - ETS e BIAS do ensemble médio do SREP e SREPH da precipitação acumulada em 24 horas dos casos de ZCAS: Os números na abcissa são os valores dos limiares de precipitação em mm (linha superior) e o número de observações em cada limiar (linha inferior).

A avaliação probabilística gerada pelos experimentos SREP e SREPH foi determinada através do diagrama de Talagrand e do cálculo dos índices BS e BSS. O diagrama de Talagrand é útil para verificar se previsão e análise utilizada na verificação tem a mesma distribuição de probabilidade. É também uma maneira de visualizar a consistência estatística e o caráter dispersivo de um sistema de previsão por *ensemble*. Um *ensemble* ideal exibe um histograma com distribuição uniforme. Uma inclinação para a direita ou para a esquerda indica que as previsões do *ensemble* têm bias negativo ou positivo, respectivamente. Um histograma em forma de U indica um espalhamento insuficiente, enquanto que histograma em forma de U invertido indica um

espalhamento excessivo entre os membros da previsão. Neste trabalho as análises do NCEP na resolução T126L28 são utilizadas como análises de verificação. As Figuras 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15 mostram os Diagramas de Talagrand para os experimentos SREP e SREPH para as variáveis TEMP, UMES, PNMM e precipitação acumulada em 24 horas. São apresentados os resultados das previsões dos horários iniciais, 24 horas, e para o prazo final da previsão, 144 horas. Em geral, os resultados são semelhantes para os experimentos seco e úmido.

Nos horários iniciais de previsão o diagrama da variável TEMP (Figura 4.12) mostra uma distribuição quase homogênea com um leve deslocamento para a esquerda (em torno de 30% das previsões). Após 96 horas de previsão, um deslocamento para a direita pode ser observado, indicando tendência negativa. Em 144 horas cerca de 50% das previsões subestimam os valores de TEMP. A avaliação do erro médio da temperatura em 850 hPa também indica tendência negativa (figuras não mostradas) com o avanço do prazo de previsão. Este bias negativo pode estar associado a um erro sistemático do modelo. Para a umidade específica em 850 hPa (Figura 4.13) o diagrama mostra a forma de U em todos os horários de previsão para ambos os experimentos com cerca de 20% (30%) das previsões deslocadas para a direita e 55% (55%) das previsões deslocadas para a esquerda em 24 (144) horas. Embora tenha sido incluída a perturbação da umidade específica nas condições iniciais, os experimentos SREPH indicam espalhamento da umidade similar ao espalhamento dos experimentos SREP. O diagrama para a variável PNMM (Figura 4.14) mostra um forte deslocamento para a esquerda indicando uma tendência tanto do SREP quanto do SREPH em superestimar as previsões em cerca de 50% em 24 horas e 60% em 144 horas. A avaliação do erro médio das previsões da PNMM (figuras não mostradas) também indica bias positivo que pode ser um indicativo de erro sistemático do modelo em prever valores de PNMM acima do verificado. Nos horários iniciais da previsão, a distribuição do diagrama da precipitação acumulada em 24 horas (Figura 4.15) exibe uma discreta distribuição em forma de U para os dois experimentos com 36 % das previsões com tendência de superestimativa e 20% com tendência de subestimativa. Em

144 horas de previsão a distribuição apresenta valores mais deslocados para a esquerda, indicando maior tendência em superestimar (cerca de 35 % das previsões).

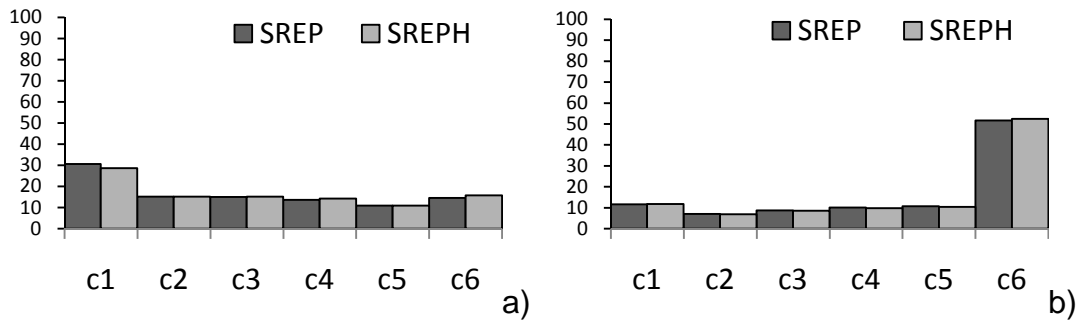


Figura 4.12 - Diagramas de Talagrand para TEMP para as previsões dos casos de ZCAS de: a) 24 horas; b) 144 horas.

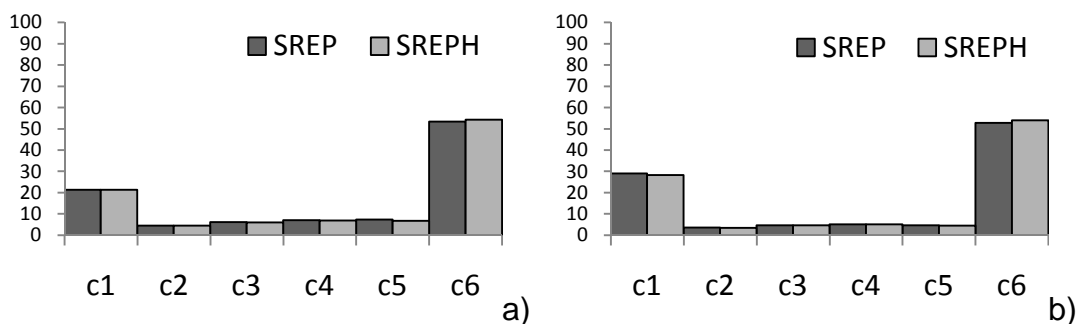


Figura 4.13 - Diagramas de Talagrand para a UMES para as previsões dos casos de ZCAS de: a) 24 horas; b) 144 horas.

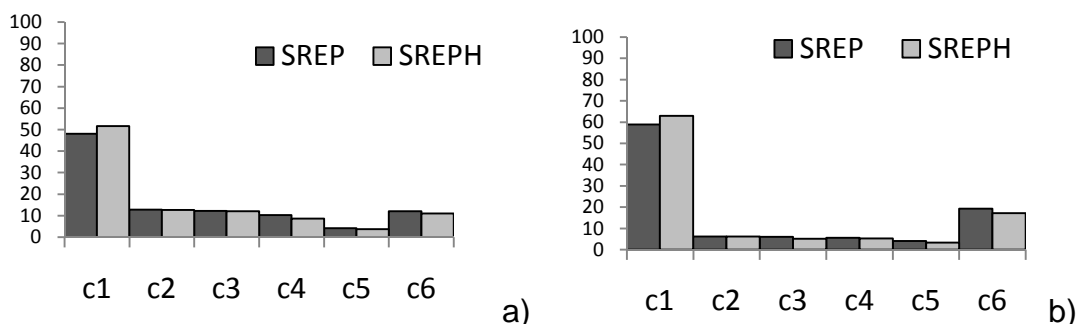


Figura 4.14 - Diagramas de Talagrand para a PNMM para as previsões dos casos de ZCAS de: a) 24 horas; b) 144 horas.

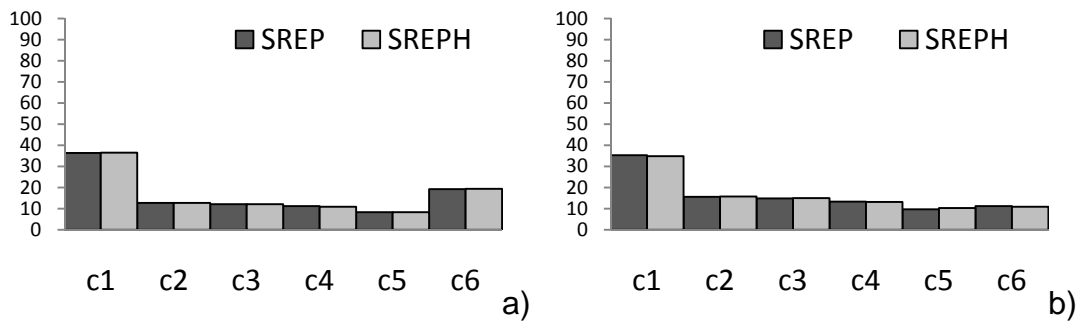


Figura 4.15 - Diagramas de Talagrand para a precipitação acumulada em 24 horas para as previsões do caso de ZCAS de: a) 24 horas; b) 144 horas.

Previsões de tempo estão sempre associadas a incertezas e o grau de incerteza destas previsões pode ser dependente do padrão meteorológico atuante. Quando são geradas previsões probabilísticas o nível de incertezas associados a uma determinada previsão pode ser conhecido. A seguir serão apresentados os resultados do índice *Brier Score* e de suas componentes e do *Brier Skill Score* para os experimentos SREP e SREPH.

As componentes do *Brier Score* são calculadas para as previsões de probabilidade de anomalias maiores ou menores do que um desvio padrão climatológico para as variáveis PNMM e TEMP. Esta metodologia é a mesma metodologia usada na avaliação do ensemble de curto prazo em operação no CPTEC e que emprega o modelo Eta com 40 km de resolução horizontal. Desta forma os valores obtidos neste trabalho podem, mesmo que grosseiramente, terem como referência os valores do *ensemble* do Eta operacional. A componente confiabilidade do *BS* avalia a acurácia estatística da previsão, uma previsão perfeitamente confiável é aquela para qual a frequência condicional observada equivale à probabilidade prevista. Valores pequenos ou próximos a zero significam boa confiabilidade. Por outro lado, a componente resolução mede a distância entre a frequência prevista e a frequência climatológica. Valores maiores do termo de resolução em comparação aos valores do termo de confiabilidade são esperados. Previsões que estão sempre próximas a frequência climatológica apresentam bom desempenho da componente confiabilidade, mas baixo desempenho da componente resolução, pois não estão aptas em distinguir entre diferentes

regimes. A componente incerteza independe da previsão e mede a variabilidade do sistema. Deste modo espera-se que um SPE apresente valores do índice BS tendendo a 0. A seguir são apresentados os resultados médios dos 4 casos de ZCAS escolhidos, tanto para o SREP, quanto para o SREPH.

Para a variável PNMM (Figura 4.16) nota-se que os valores da componente confiabilidade das previsões probabilísticas diminuem com o avanço do prazo de previsão (Figura 4.16a). Nas primeiras 24 horas de previsão os valores são de aproximadamente 0,4 e nos horários finais os valores estão em torno de 0,2. Portanto, como são esperados valores pequenos ou próximos a 0 desta componente, ocorre um melhor desempenho em termos de confiabilidade com o avanço do prazo de previsão. O comportamento e os valores da confiabilidade são muito semelhantes para o SREP e SREPH. A componente resolução do conjunto (Figura 4.16b) também diminui com o avanço da integração, porém os valores do termo resolução sempre são muito menores que os valores do termo confiabilidade. A componente incerteza (Figura 4.16c) apresenta valores relativamente próximos em todos os horários de previsão para o SREP e um ligeiro aumento com o avanço do prazo de integração para o SREPH. Os valores do índice *BS* (Figura 4.16d) têm um ligeiro declínio com o avanço do prazo de integração com valores oscilando entre 0,3 e 0,4. Como são esperados valores de *BS* pequenos ou próximos a 0, nestes casos de ZCAS, este índice mostrou um ganho de desempenho com o prazo de integração. Como os resultados apresentam valores da componente confiabilidade muito maiores que os valores da componente resolução, os valores do *BSS* são negativos (Figura 4.16e), indicando deficiência do SREP e SREPH em distinguir diferentes regimes. No entanto os valores do *BSS* do SREPH em alguns horários são menores que os valores do *BSS* do SREP. Estes resultados são comparáveis aos resultados do ECP operacional do CPTEC.

Para a variável TEMP (Figura 4.17) os valores da componente confiabilidade das previsões probabilísticas são praticamente constantes e oscilam entre 0,25

e 0,35. A componente resolução (Figura 4.17b) também apresenta valores muito baixos e menores do que os valores de resolução da PNMM. A componente incerteza é relativamente próxima em todos os horários de previsão e o índice *BS* varia em torno de 0,4, valores maiores do que o índice *BS* da PNMM. Novamente o índice *BSS* apresenta valores negativos, pois em média os valores da componente resolução são muito menores que os valores da componente confiabilidade, no entanto os valores do índice *BSS* da TEMP são menores que os valores do índice *BSS* da PNMM.

Apesar de na média dos casos os valores dos índices *BSS* serem negativos, e desta forma sugerir alguma deficiência dos sistemas de previsão por ensemble em termos de previsão probabilística, uma análise mais detalhada de cada caso em separado, indica que em alguns deles, tanto para a PNMM como para a TEMP, os valores de *BSS* são positivos, o que mostra que existe utilidade nas previsões probabilísticas fornecidas pelos experimentos em questão em relação às climatologias. Este comportamento também é observado na avaliação do *ensemble* de curto prazo com o modelo Eta 40km operacional.

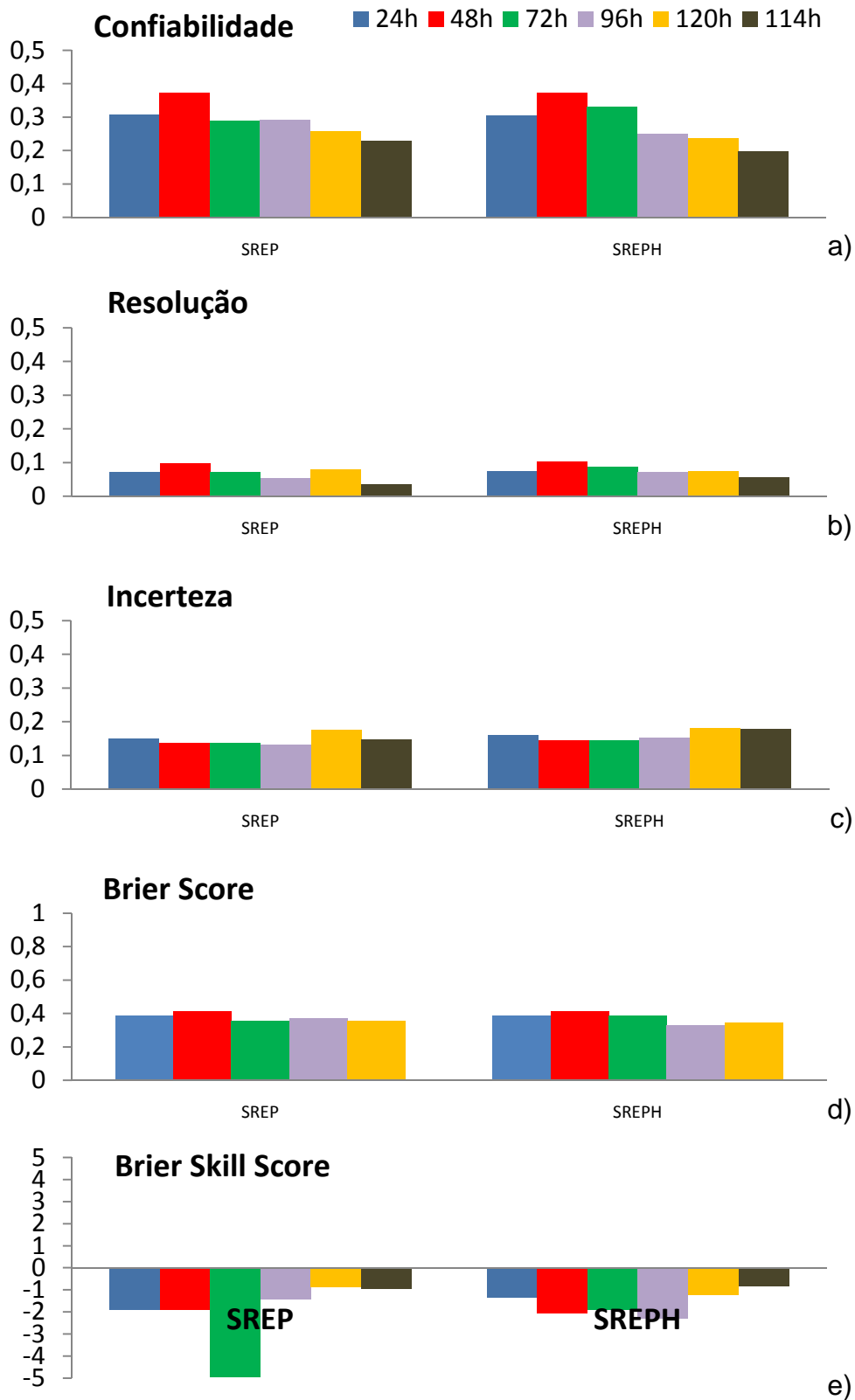


Figura 4.16 – Brier Score da PNMM dos casos de ZCAS. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.

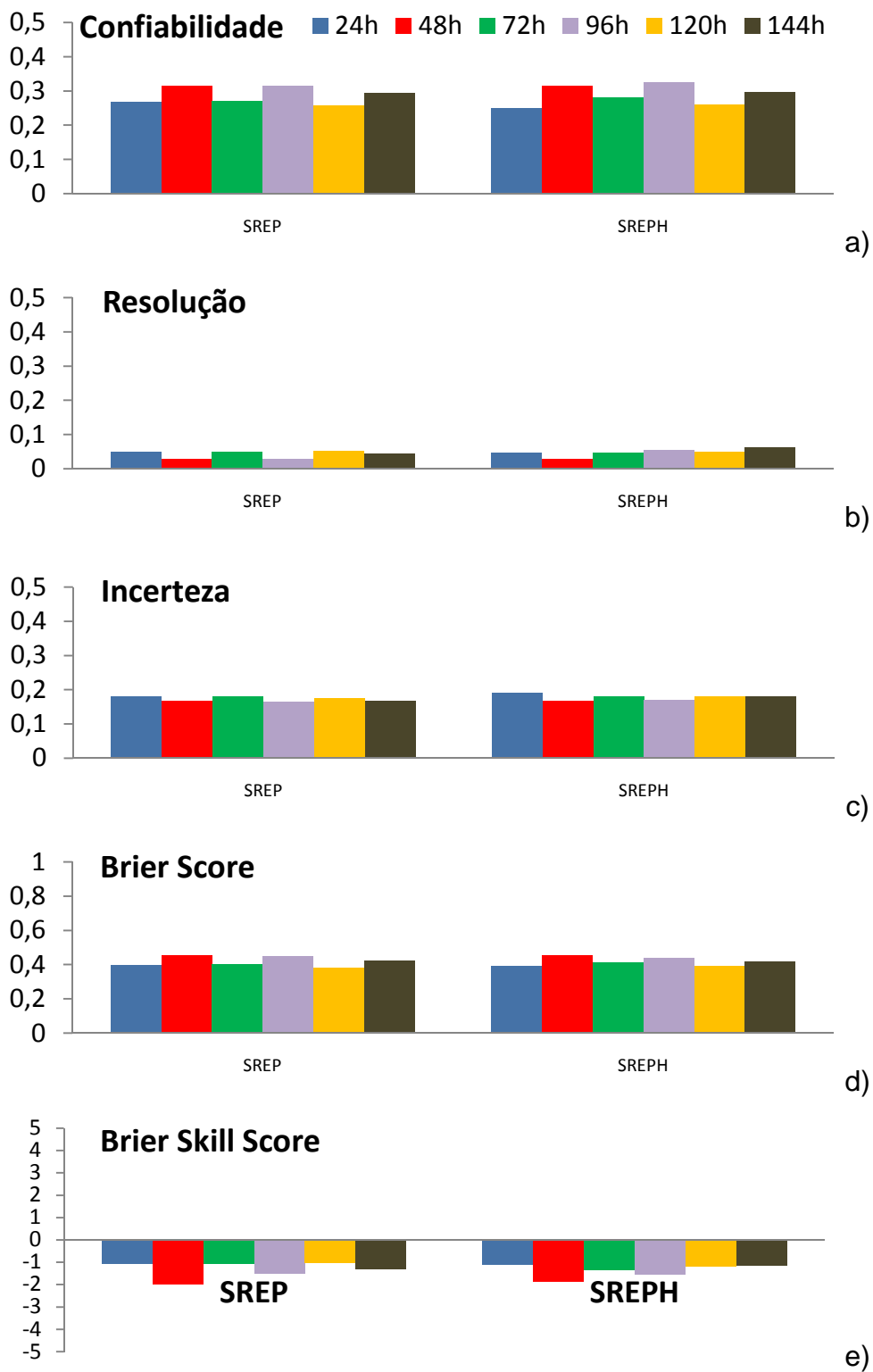


Figura 4.17 – Brier Score da TEMP dos casos de ZCAS. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.

4.2.1.2.2 Previsibilidade dos Sistemas Frontais

Os resultados a seguir referem-se às médias dos quatro casos de sistema frontal escolhidos para este trabalho. Enquanto os casos de ZCAS foram integrados por 144 horas, os casos de sistema frontal foram integrados por um período de 72 horas.

Os resultados do RMSE do *ensemble* médio em comparação ao RMSE da previsão controle são apresentados na Figura 4.18. Para a variável TEMP (Figura 4.18a) o RMSE do *ensemble* médio tanto do SREP quanto do SREPH é menor do que o RMSE da previsão controle em todos os horários de previsão. O RMSE dos experimentos SREP e SREPH são similares até 48 horas de previsão. No entanto, nos horários finais do prazo de integração o RMSE do SREPH é ligeiramente maior que o RMSE do SREP. O espalhamento desta variável também é similar para os dois experimentos, com espalhamento ligeiramente maior para o experimento SREPH nos prazos iniciais e finais de integração. Inicialmente o espalhamento da temperatura em 850 hPa é alto e decai nos horários iniciais refletindo o mesmo período de ajustamento do modelo que foi apresentado nos casos de ZCAS. Com o avanço do prazo de integração a taxa do espalhamento se mantém constante.

Para a variável UMES (Figura 4.18b) os valores do RMSE são sempre menores para os experimentos SREP e SREPH em relação ao RMSE da previsão controle, porém praticamente não se observam diferenças entre o RMSE do *ensemble* médio dos dois experimentos. O espalhamento inicial dos dois experimentos também tem um forte crescimento nos instantes iniciais (fase de ajuste do modelo) seguido por um crescimento mais suave com o avanço do prazo de previsão. O espalhamento do SREPH apresenta valores maiores que o espalhamento do SREP em todos os horários de previsão, indicando que a metodologia que inclui a perturbação da umidade específica consegue capturar maior quantidade de incertezas nos casos de SF, onde há características de mesoescala. Esta diferença não foi observada nos casos de

ZCAS onde as características de grande escala são mais fortes do que nos casos de passagem de sistema frontal.

A PNMM (Figura 4.18c) indica valores de RMSE do *ensemble* médio dos dois experimentos muito próximos. Estes resultados também são próximos aos valores do RMSE da previsão controle, com valores ligeiramente menores nos horários finais da previsão. O espalhamento dos dois experimentos também indica valores similares até 48 horas de previsão. Nos prazos finais de integração o espalhamento do SREPH é maior que o espalhamento do SREP.

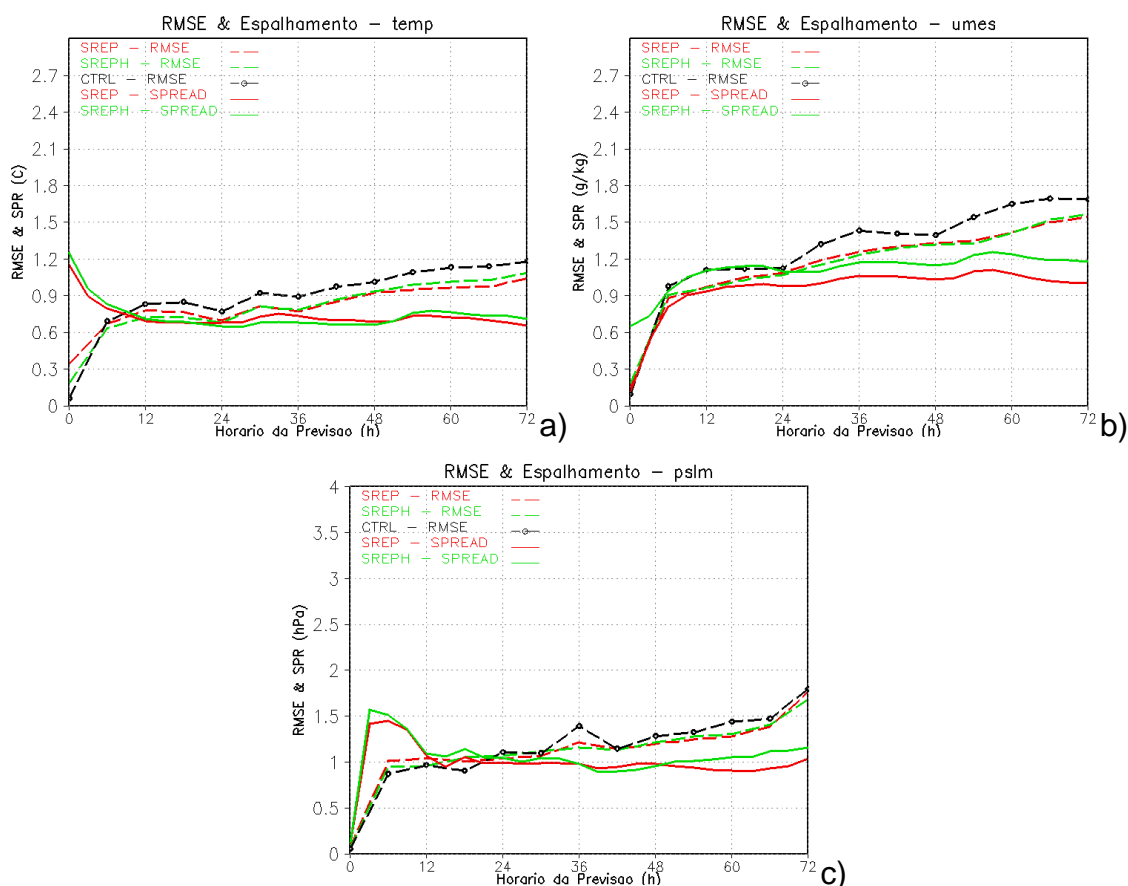


Figura 4.18 - RMSE e SPR para os casos de SF da: a) temperatura em 850-hPa (°C) e b) umidade específica em 850-hPa (g/kg). RMSE é a linha sólida e tracejada para o SREPH, SREP e a rodada controle (com círculos). SPR é a linha tracejada-pontilhada e pontilhada para o SREPH e SREP.

O cálculo do ETS não mostra vantagem tão clara das previsões de precipitação fornecidas pelo SREPH ou pelo SREP (Figura 4.19) nos casos de sistema

frontal como mostrou nos casos de ZCAS. Para os SF os valores do ETS são muito próximos para os dois experimentos (Figura 4.19a), exceto para a categoria chuva/não chuva onde os valores do ETS do SREPH são maiores do que o SREP. Enquanto, o BIAS (Figura 4.19b) indica menor superestimativa para o experimento SREPH para as categorias de chuva até 19 mm, para chuvas acima de 25 mm o SREP indica desempenho ligeiramente melhor que o SREPH com subestimativa ligeiramente menor.

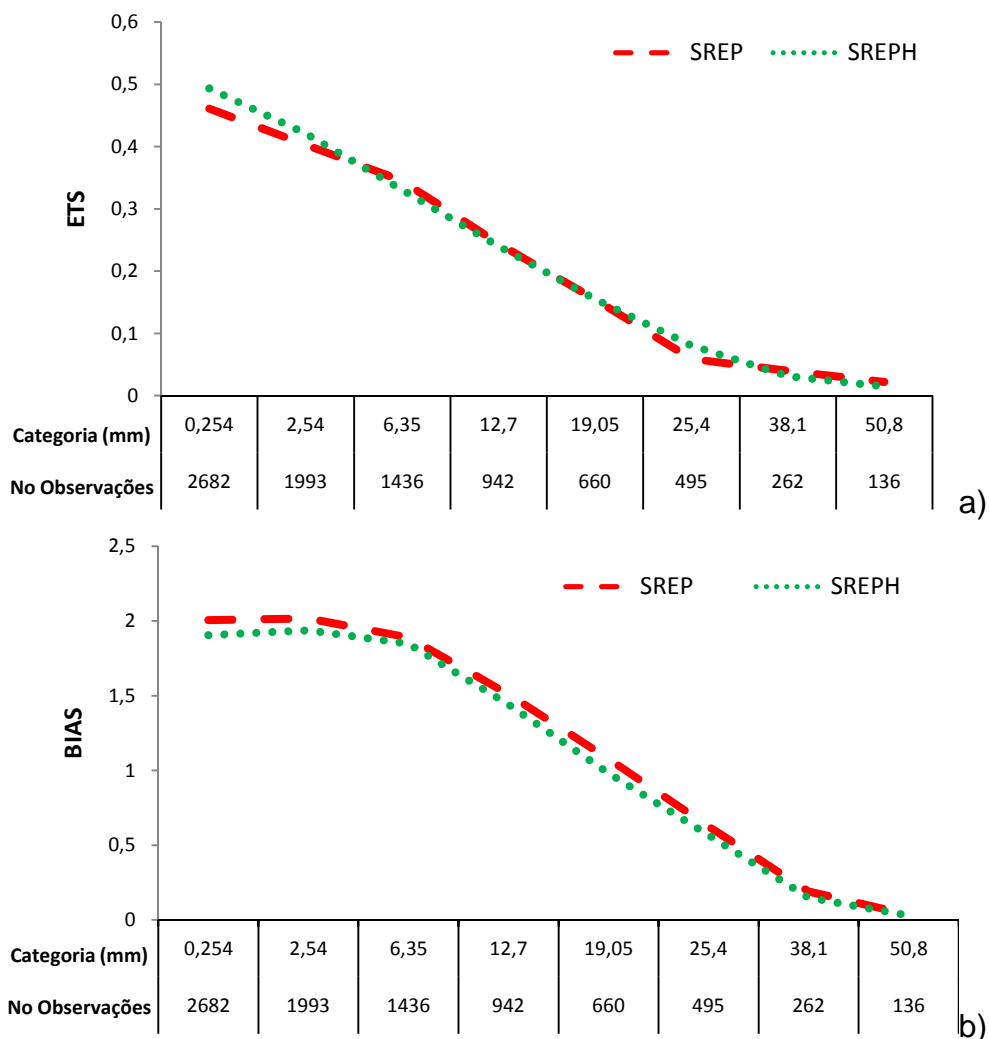


Figura 4.19 - ETS e BIAS do ensemble médio do SREP e SREPH da precipitação acumulada em 24 horas dos casos de SF: Os números na abcissa são os valores dos limiares de precipitação em mm (linha superior) e o número de observações em cada limiar (linha inferior).

Os Diagramas de Talagrand para os experimentos SREP e SREPH para as variáveis TEMP, UMES, PNMM e precipitação acumulada em 24 horas para os casos de SF, são mostrados nas Figuras 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21. São apresentados os resultados das previsões de 24 e 72 horas. Em geral, os resultados são semelhantes para os dois experimentos com ligeiras vantagens para o SREPH. Nos horários iniciais de previsão o diagrama da temperatura em 850 hPa (Figura 4.20) mostra uma distribuição quase homogênea com discreto deslocamento para as extremidades. A distribuição do experimento SREPH é ligeiramente mais homogênea que a distribuição do experimento SREP. Com o avanço do prazo de previsão, um maior deslocamento para a direita pode ser observado com cerca de 35% das previsões com tendência em subestimar. O diagrama de Talagrand da umidade específica em 850 hPa (Figura 4.21) mostra uma distribuição em forma de U para ambos os experimentos, indicando pouca dispersão dos membros. Além disto, um deslocamento para a direita também é observado, o que indica forte tendência de bias negativo. Esta distribuição também é mostrada nos casos de ZCAS, no entanto os valores nos horários iniciais são menores com cerca de 20% (30%) para os casos de SF (ZCAS). Embora tenha sido incluída a perturbação da umidade específica nas condições iniciais, os experimentos SREPH indicam espalhamento da umidade similar ao espalhamento dos experimentos SREP. O diagrama para a variável PNMM (Figura 4.22) mostra distribuições com tendências semelhantes para os dois experimentos, no entanto apresenta porcentagens relativamente diferentes, principalmente nas extremidades. Em 24 horas a previsão tem distribuição em forma de U, indicando tendência dos dois experimentos em apresentar espalhamento insuficiente. Com o avanço do prazo de previsão, há um deslocamento das previsões para a esquerda indicando a tendência em superestimar em cerca de 52% das previsões, assim como foi observado nos casos de ZCAS. Nos horários iniciais da previsão, o diagrama de Talagrand para a precipitação acumulada em 24 horas (Figura 4.23) indica bias ligeiramente positivo com cerca de 40% das previsões com tendência em superestimar. Com o avanço do prazo de integração, o bias positivo diminui (em torno de 35% das previsões superestimam) e a distribuição torna-se ligeiramente mais homogênea. As distribuições dos dois experimentos são muito próximas.

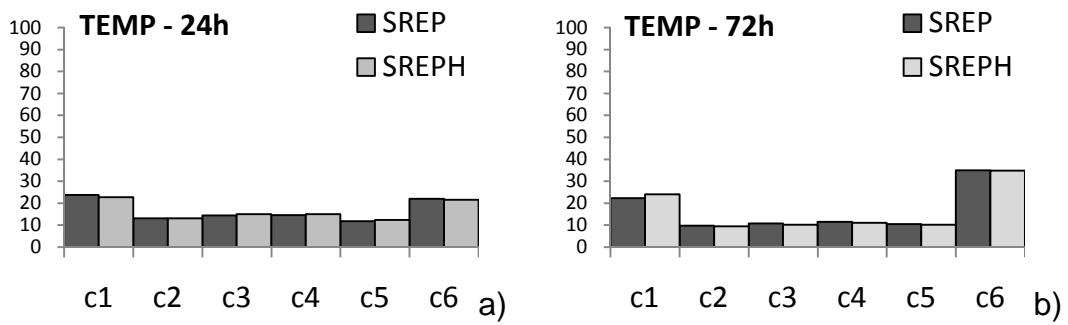


Figura 4.20 - Diagramas de Talagrand para a TEMP para as previsões dos casos de SF de: a) 24 horas; b) 72 horas.

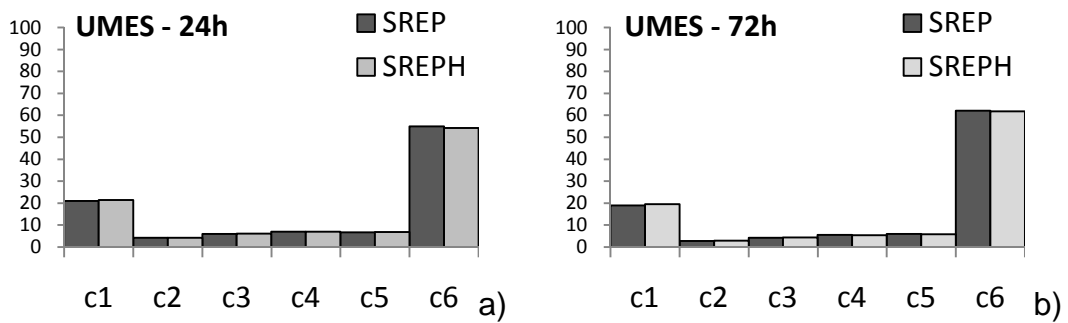


Figura 4.21 - Diagramas de Talagrand para a UMES para as previsões dos casos de SF de: a) 24 horas; b) 72 horas.

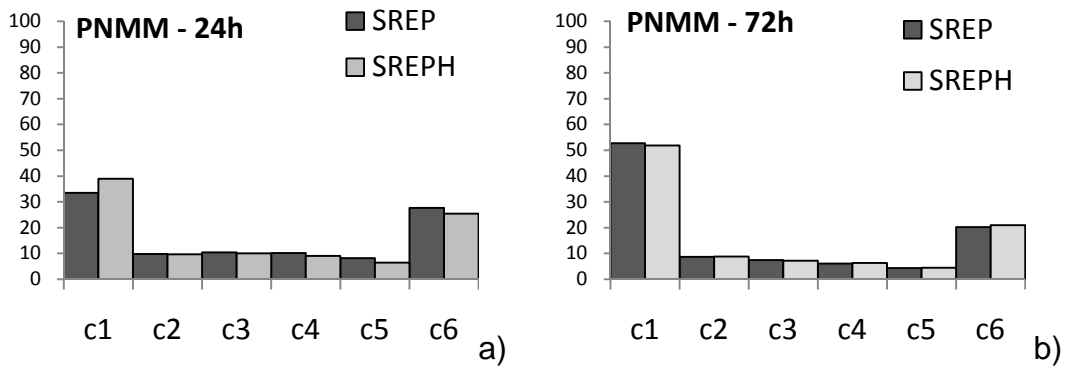


Figura 4.22 - Diagramas de Talagrand para a PNMM para as previsões dos casos de SF de: a) 24 horas; b) 72 horas.

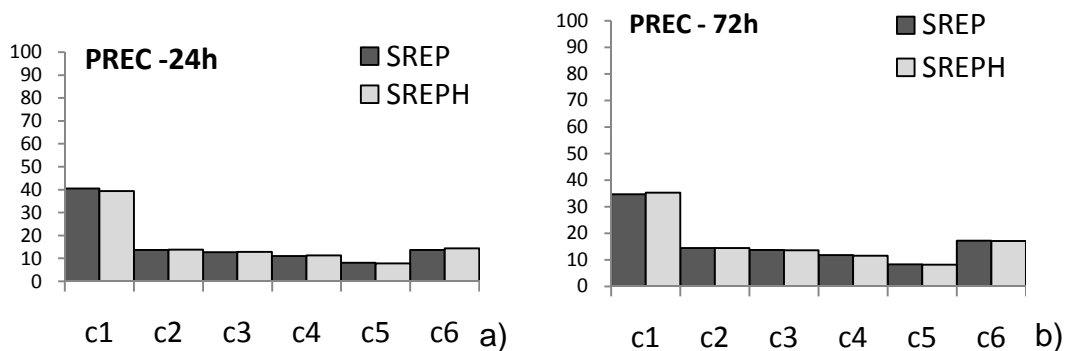


Figura 4.23 - Diagramas de Talagrand para a precipitação acumulada em 24 horas para as previsões do caso de SF de: a) 24 horas; b) 72 horas.

Os atributos confiabilidade, resolução, incerteza e os índices BS e BSS médios dos 4 casos de sistema frontal para as variáveis PNMM e TEMP são apresentados nas Figuras 4.24 e 4.25, respectivamente.

Para a variável PNMM (Figura 4.24a), há um aumento dos valores da componente confiabilidade com o avanço do prazo de integração com valores em torno de 0,3, o que indica uma diminuição da confiabilidade do sistema. Os valores em 72 horas são ligeiramente maiores nos casos de SF que nos casos de ZCAS. Por outro lado, os valores da componente resolução aumentam com o avanço do prazo de integração, mas apresentam valores baixos com máximo em torno de 0,08, indicando certo ganho de desempenho do sistema com o avanço da integração. O contrário ocorre nos casos de ZCAS onde a resolução diminui nos horários mais avançados de previsão. Os valores da componente incerteza diminuem nos horários finais e são menor que nos casos de ZCAS. O índice *BS* mantém-se com valores em torno de 0,4 em todos os horários de previsão. Da mesma forma que nos casos de ZCAS os valores do *BSS* são negativos, pois, a confiabilidade das previsões probabilísticas é muito maior que a resolução. Porém, os valores do índice *BSS* dos casos de frente são menores que os valores dos casos de ZCAS. Para a variável TEMP, os valores da componente confiabilidade aumentam com o prazo de integração, indicando que o desempenho do *ensemble* diminui nos horários finais. Os valores da componente resolução diminuem com a integração, o que também indica perda de resolução nos horários finais. A incerteza se mantém constante e o índice *BS* apresenta um ligeiro aumento dos valores, perdendo destreza nos horários

mais avançados. Os valores são relativamente similares para os dois experimentos.

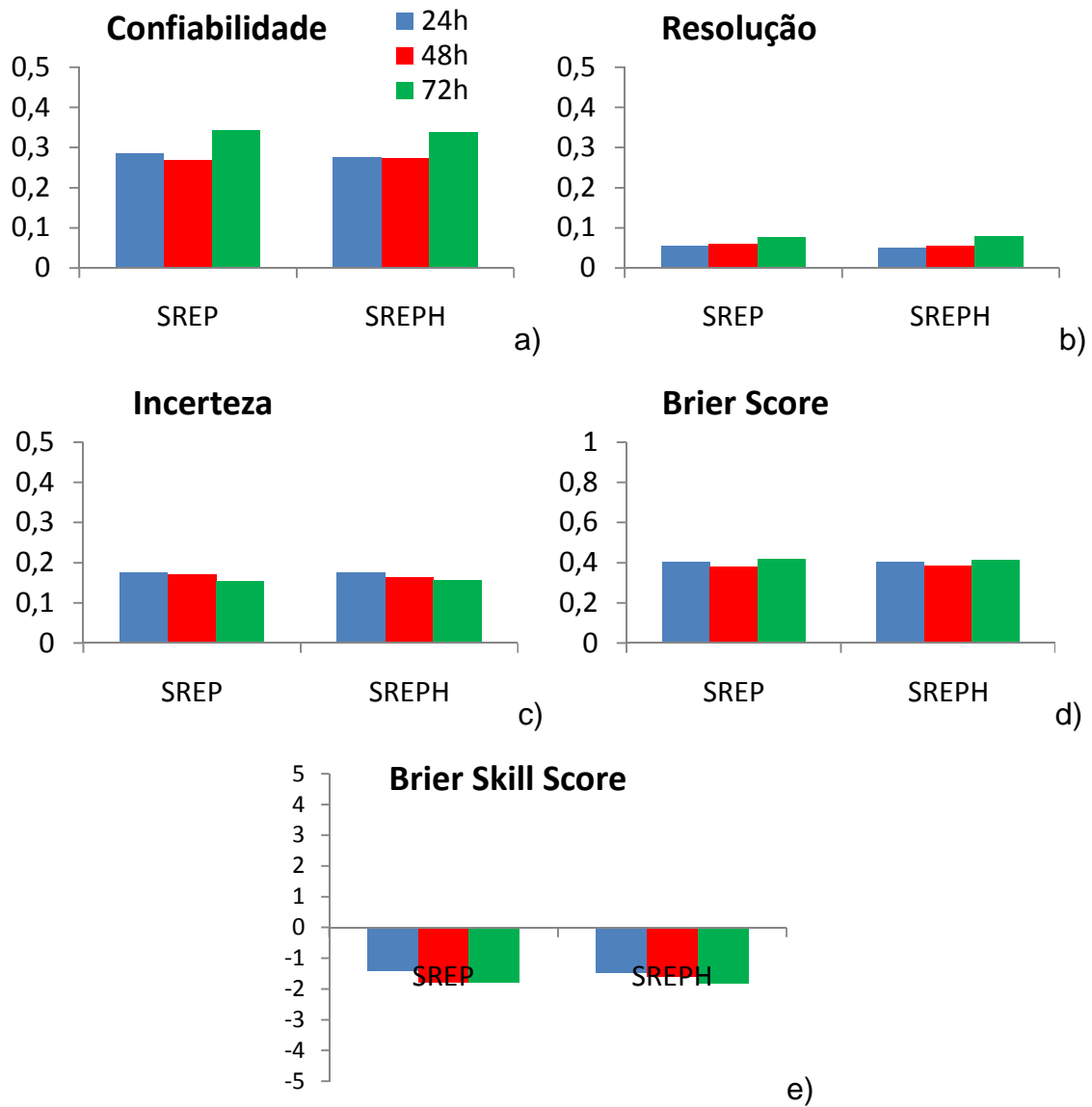


Figura 4.24 – Brier Score da PNMM dos casos de Sistema Frontal. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.

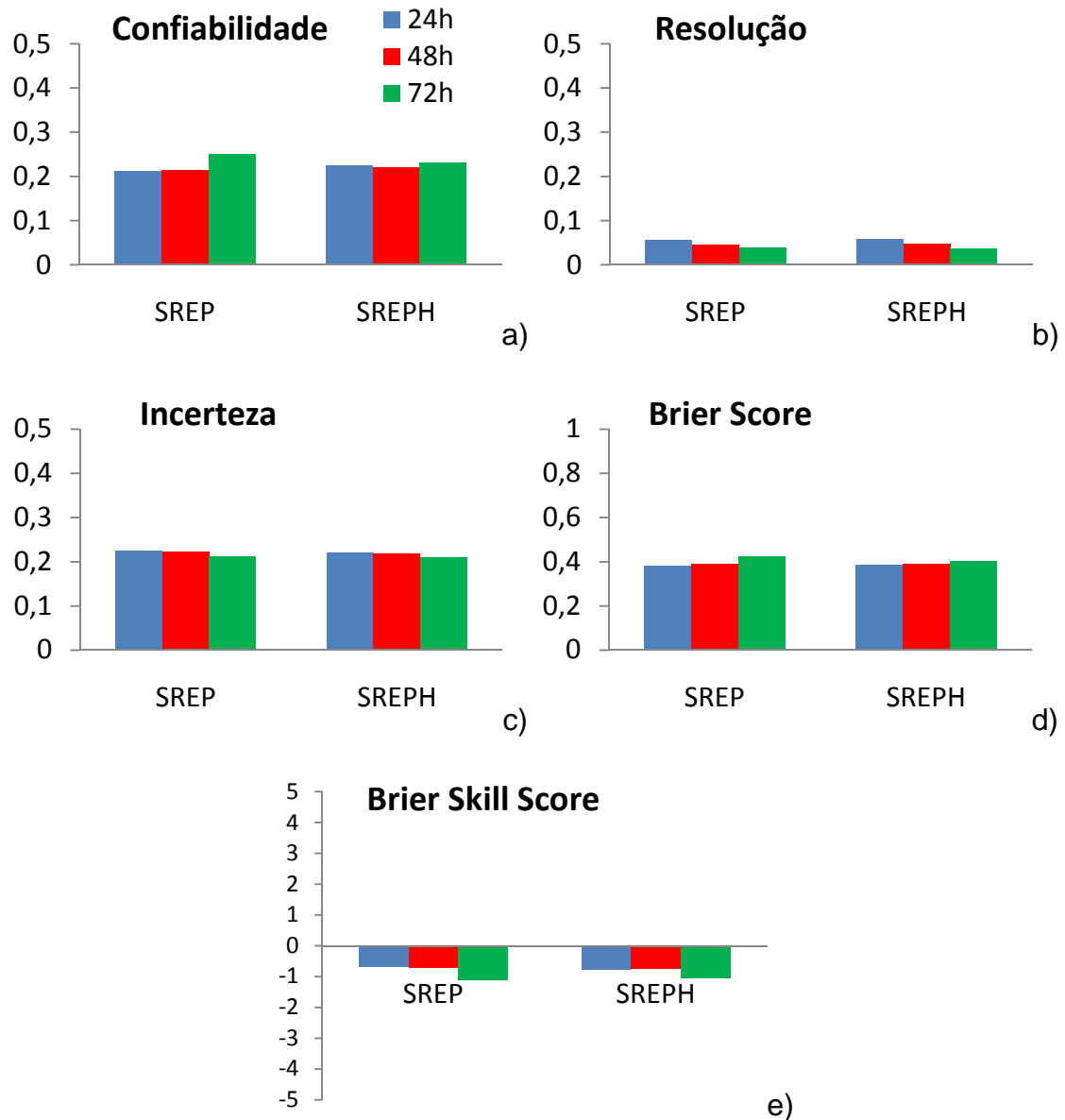


Figura 4.25 – Brier Score da TEMP dos casos de Sistema Frontal. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.

Nas avaliações em geral, os resultados indicam ligeira vantagem do SREPH em relação ao SREP, tanto nos casos de ZCAS quanto nos casos de SF, principalmente para as previsões de precipitação. Diante destes resultados, os membros fornecidos pelo SREPH serão incorporados ao experimento do ensemble total (SREPT) que será avaliado na seção 4.2.3.

4.2.2 Incertezas Decorrentes dos Erros do Modelo

Enquanto o SREP e o SREPH exploram os erros das condições iniciais na tentativa de capturar o maior número de incertezas presentes na atmosfera, o SREPF explora as incertezas devido aos erros na física do modelo. Integrações com diferentes parametrizações e/ou ajuste de alguns parâmetros dos esquemas de parametrizações físicas utilizadas pelo modelo Eta foram reunidas formando um conjunto de previsões com 7 membros. Do mesmo modo que para os experimentos SREP e SREPH, as avaliações foram separadas em casos de ZCAS e de SF.

4.2.2.1 Previsibilidade dos Casos de Zona de Convergência do Atlântico Sul

A média do RMSE do *ensemble* médio dos 4 casos de ZCAS em comparação ao RMSE da previsão controle e ao espalhamento médio das previsões geradas pelo SREPF é apresentada na Figura 4.26. As mesmas variáveis utilizadas nos cálculos dos SREP e SREPH foram avaliadas para todo o domínio da integração.

A variável TEMP apresenta RMSE do *ensemble* médio menor que RMSE da previsão controle na maioria dos prazos de previsão. Assim como nas previsões geradas pelo SREP ou SREPH há uma fase de ajuste do modelo nas 12 primeiras horas onde o crescimento do erro é mais intenso. Após a fase de ajuste os erros continuam a crescer com o avanço do prazo de integração com uma taxa mais suave atingindo valores de RMSE em torno de 1,5 °C em 126 horas de previsão. A partir daí há uma ligeira diminuição do erro até o horário final de previsão. Uma ligeira tendência de ciclo diurno é observada na evolução dos prazos de previsão. O espalhamento médio da temperatura também apresenta um maior crescimento nos horários iniciais. A partir de 72 horas de previsão, o espalhamento tem uma taxa de crescimento menor atingindo valores em torno de 0,8 hPa nos horários finais. Também nos horários finais um ligeiro decréscimo do espalhamento é observado.

Os campos de umidade específica em 850 hPa apresentam valores de RMSE significativamente menores para o *ensemble* médio em comparação ao membro controle. Em 144 horas, o RMSE da previsão controle é maior que 1,8 g/kg, enquanto que o RMSE do EM é em torno de 1,5 g/kg. A alta taxa de crescimento do erro nos instantes iniciais também é observada para a variável UMES. Como todos os membros do SREPF são iniciados a partir de uma única condição inicial onde não foram incluídas perturbações os valores iniciais do espalhamento das previsões de umidade específica são muito próximos a zero e crescem durante toda a integração. Nos prazos finais o espalhamento é em torno de 1,4 g/kg.

O RMSE do ensemble médio e da previsão controle da variável PNMM são praticamente iguais até 72 horas de previsão. Após este horário o RMSE do EM é sempre menor que o RMSE da previsão controle, atingindo 2,4 e 2,6 hPa, respectivamente, em 144 horas de previsão. O espalhamento inicial também é muito pequeno crescendo com o avanço do prazo de integração. Nota-se que há uma discrepância grande no instante final entre o SPR e o RMSE do SREPF para a variável PNMM, no entanto esta discrepância é menor que a apresentada pelos experimentos SREP e SREPH da condição inicial.

Para todas as variáveis avaliadas, foram observadas características em comum, tais como: alto crescimento inicial, tanto do erro quanto do espalhamento; diminuição do RMSE nos horários finais de previsão; presença do ciclo diurno nos erros; redução da taxa de crescimento do espalhamento nos horários finais de previsão.

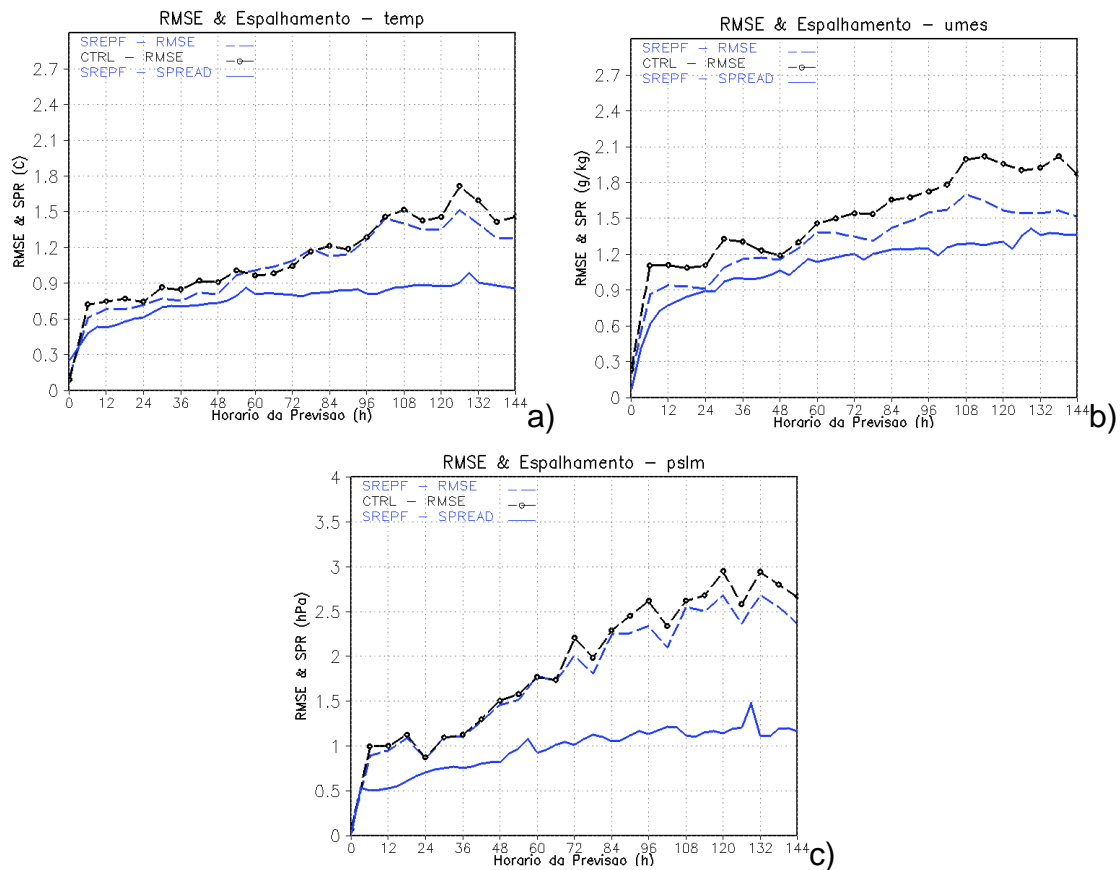


Figura 4.26 - RMSE e SPR para os casos de ZCAS da: a) temperatura em 850-hPa ($^{\circ}\text{C}$), b) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e c) pressão ao nível médio do mar (hPa). RMSE é a linha tracejada para o SREPF e a rodada controle (com círculos). O espalhamento do SREPF é a linha cheia.

O diagrama de Talagrand para todos os horários de previsão das variáveis TEMP, UMES, PNMM e precipitação acumulada em 24 horas estão apresentados nas Figuras 4.27, 4.28, 4.29 e 4.30, respectivamente. Nestas figuras estão plotadas as previsões de 24 (barras em azul), 48 (barras em vermelho), 72 (barras em verde), 96 (barras em lilás), 120 (barras em laranja) e 144 horas (barras em cinza). Para a variável TEMP (Figura 4.27) observa-se um ligeiro deslocamento para a esquerda (com cerca de 32% das previsões) nos horários iniciais de previsão (24h) que tendem com o avanço do prazo de previsão a diminuir para cerca de 11% das previsões em 144h. Com o avanço do prazo de integração as previsões deslocam-se para a direita, indicando uma tendência a bias negativo das previsões do modelo com o avanço do prazo de integração (cerca de 52% das previsões de 144 horas subestimam a temperatura em 850 hPa), característica também observada nos experimentos

SREP e SREPH. As previsões da umidade específica (Figura 4.28) apresentam uma distribuição em forma de U indicando tendência do SREPF em produzir espalhamento insuficiente da umidade específica, porém a distribuição é mais homogênea que nos experimentos SREP e SREPH. A distribuição da PNMM (Figura 4.29) tem deslocamento para a esquerda. Este deslocamento é inicialmente mais fraco (cerca de 33% das previsões) e tende a se intensificar com o avanço do prazo de previsão (cerca de 59% das previsões), indicando a presença de bias positivo no modelo em acordo com o bias mais frio indicado na distribuição das previsões de temperatura. Apesar das deficiências indicadas por estas três variáveis, o diagrama de Talagrand da precipitação acumulada em 24 horas (Figura 4.30) indica uma distribuição quase que homogênea com discreto deslocamento para a esquerda indicando pequena tendência do modelo em superestimar as previsões de precipitação (cerca de 26% das previsões em 24 horas e 23% em 144 horas).

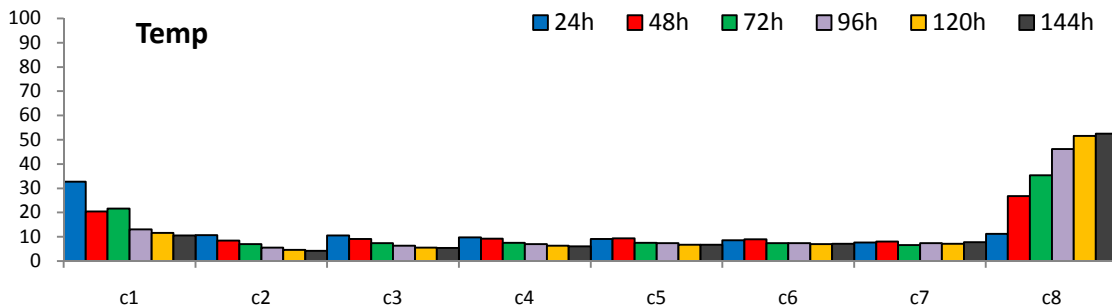


Figura 4.27 - Diagramas de Talagrand para a TEMP para as previsões dos casos de ZCAS.

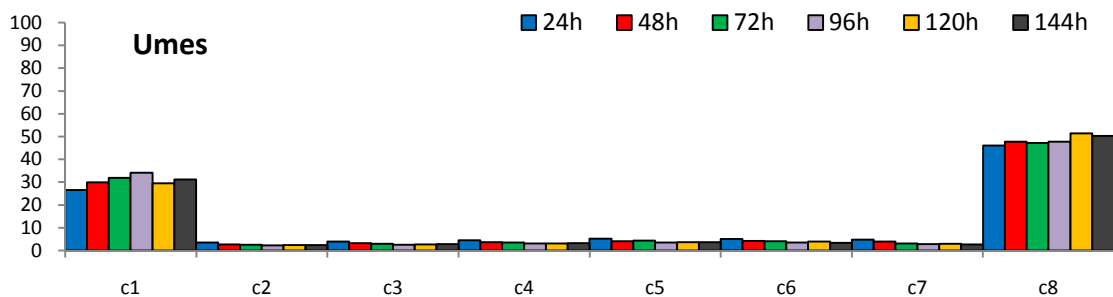


Figura 4.28 - Diagramas de Talagrand para a UMES para as previsões dos casos de ZCAS.

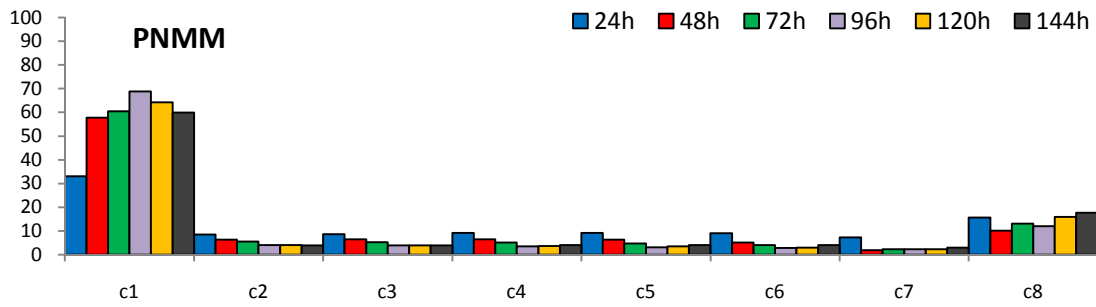


Figura 4.29 - Diagramas de Talagrand para a PNMM para as previsões dos casos de ZCAS.

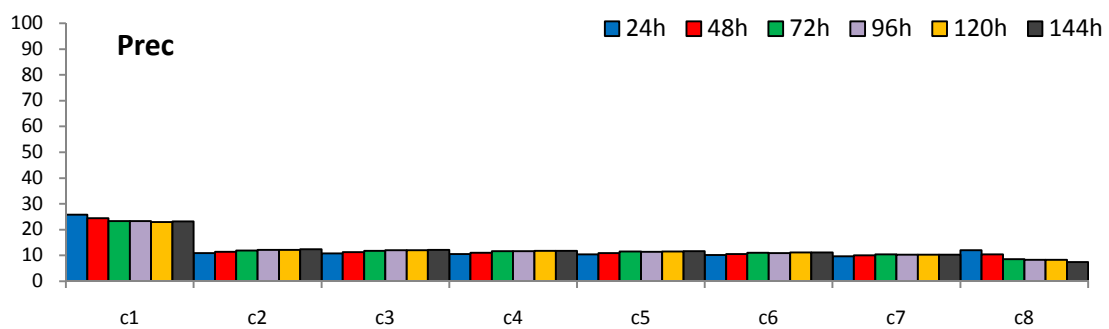


Figura 4.30 - Diagramas de Talagrand para a precipitação acumulada em 24 horas para as previsões dos casos de ZCAS.

As características das previsões probabilísticas dos casos de ZCAS do experimento SREPF em termos de confiabilidade, resolução, incerteza e índices BS e BSS são apresentadas nas Figuras 4.31 e 4.32, para PNMM e TEMP, respectivamente.

Os valores do termo confiabilidade para as previsões de PNMM, ao contrário dos experimentos de incertezas das condições iniciais nos casos de ZCAS, crescem com o avanço do prazo de previsão até 120 horas com valores de confiabilidade em torno de 0,2, o que indica queda da confiabilidade com a integração. Porém os valores da confiabilidade do SREPF são menores que os valores da confiabilidade do SREP ou SREPH, ou seja, a confiabilidade das previsões do SREPF é maior que a confiabilidade do SREP ou SREPH. Por outro lado, os valores da componente resolução têm uma acentuada queda com a integração com valores em torno de 0,02 nos prazos finais, também

indicando queda de desempenho com o avanço do prazo de integração. Os valores da componente incerteza diminuem com o avanço da previsão. Como a confiabilidade aumenta com o avanço da integração, o índice *BS* também apresenta valores aumentando e conseqüentemente mostrando uma queda de desempenho nos horários finais, porém os resultados são melhores do que os apresentados pelo SREP e SREPH. O índice *BSS* apresenta, exceto em 24 horas, valores negativos. Em 24 horas de previsão nota-se que a resolução (0,1) é maior que a confiabilidade (0,05), o que indica um bom desempenho do SREPF. Quando é feita uma análise caso a caso dos experimentos de incertezas dos erros do modelo, valores positivos de *BSS* se repetem mais frequentemente do que nos casos dos experimentos de incerteza da condição inicial.

Nas previsões probabilísticas da TEMP (Figura 4.32), os valores das componentes confiabilidade e resolução decrescem com a integração. A incerteza mantém-se com valores em torno de 0,14 em todos os horários e o índice *BS* tem ligeiro decréscimo com o avanço do prazo de integração, indicando ganho de desempenho. Os valores do *BSS* são negativos em todos os horários, porém os valores são pequenos, em torno de 0,5 nos instantes iniciais e em torno de 0,2 nos prazos finais, valores muito menores comparados aos valores das previsões probabilísticas da PNMM.

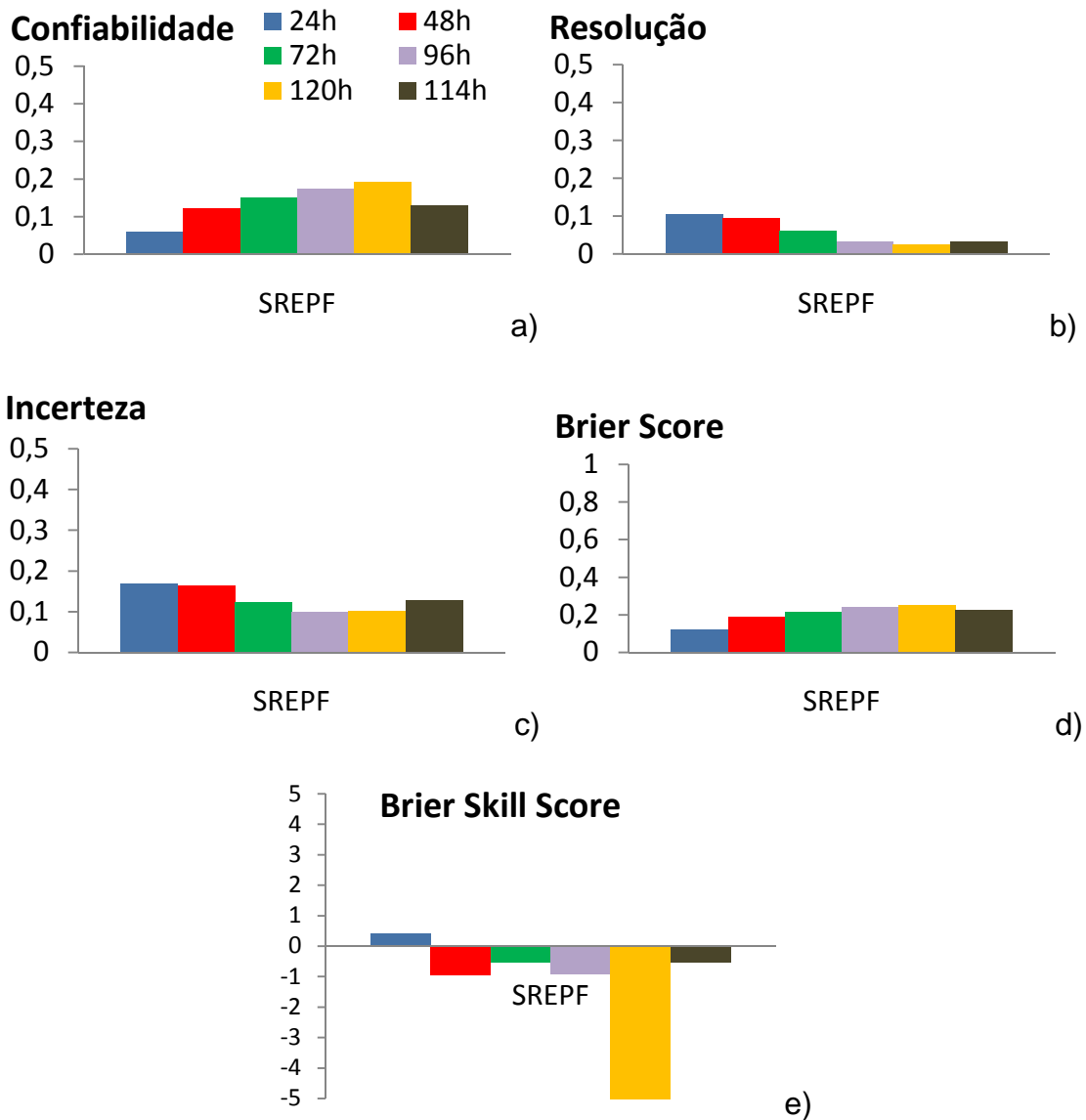


Figura 4.31 – Brier Score PNMM dos caso de ZCAS dos membros do SREPF. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.

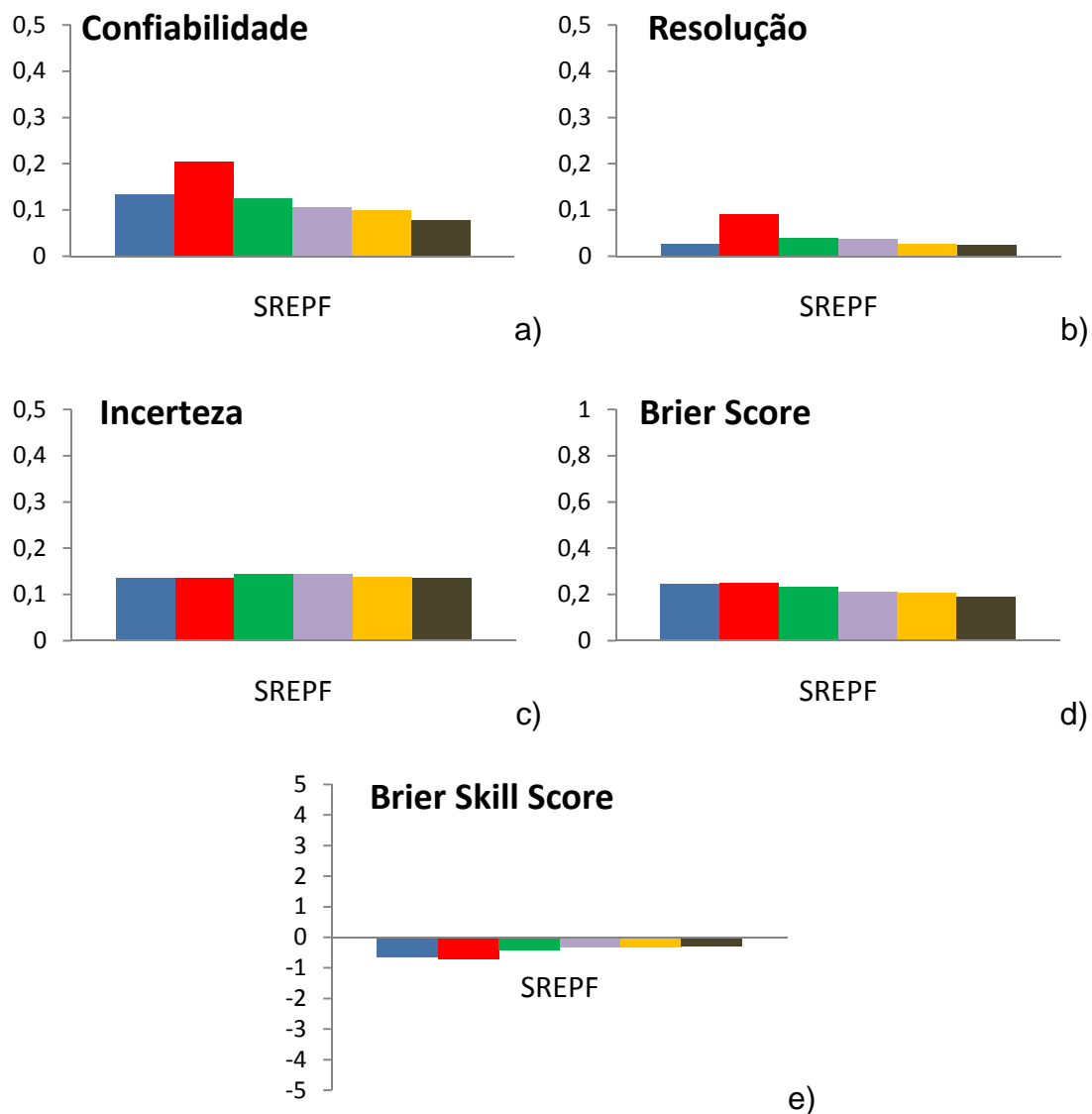


Figura 4.32 – Brier Score TEMP dos casos de ZCAS dos membros do SREPF. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.

4.2.2.2 Previsibilidade dos Sistemas Frontais

Os valores do RMSE e do espalhamento das previsões dos casos de SF fornecidas pelo SREPF são apresentados na Figura 4.33. Para a variável temperatura em 850 hPa (Figura 4.33a), o RMSE do *ensemble* médio é sempre menor que o RMSE da previsão controle em todos os horários de previsão. Há um forte crescimento inicial do RMSE (fase de ajuste do modelo) seguido de um crescimento mais suave. Nos horários finais da integração os valores do RMSE são em torno de 1,2 °C para a previsão controle e em torno de 1 °C para

o *ensemble* médio. O espalhamento das previsões cresce mais rapidamente nos horários iniciais de previsão, semelhante ao SREPH, seguido de um crescimento mais suave com o avanço do prazo de integração, atingindo valores em torno de 0,7 °C.

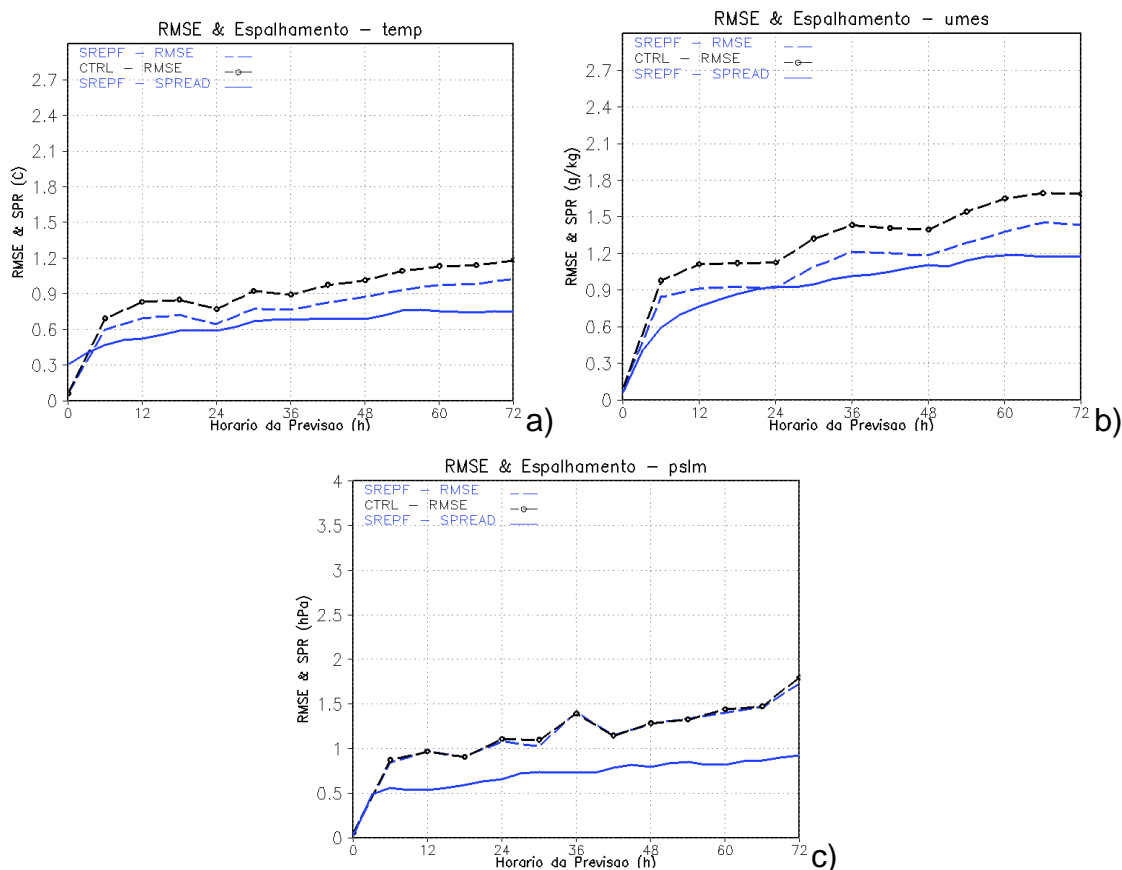


Figura 4.33 - RMSE e SPR para os casos de SF da: a) temperatura em 850-hPa (°C) b) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e c) pressão ao nível médio do mar (hPa). RMSE é a linha tracejada para o SREPF e a rodada controle (com círculos). O espalhamento das previsões do SREPF é a linha cheia.

A umidade específica em 850 hPa (Figura 4.33b), também apresenta valores de RMSE do *ensemble* médio menores que os valores do RMSE da previsão controle e alta taxa de crescimento nos instantes iniciais. O espalhamento das previsões cresce rapidamente até 24 horas de previsão, após este horário a taxa de crescimento diminuí. No prazo final de integração o espalhamento é ligeiramente menor que 1,2 g/kg, enquanto que o RMSE do *ensemble* médio (da previsão controle) é maior que 1,4 g/kg (1,7 g/kg).

A variável PNMM não apresenta vantagens do RMSE do *ensemble* médio em relação ao RMSE da previsão controle como ocorreu com as variáveis TEMP e UMES, em todos os horários de previsão, os valores de RMSE são muito próximos. Tanto para o RMSE quanto para o espalhamento, a taxa de crescimento é muito alta nos instantes iniciais e mais suave com a integração. Nos horários finais há uma discrepância em torno de 0,7 hPa entre os valores do espalhamento (0,9 hPa) e do RMSE do EM (1,6 hPa).

Comparativamente aos casos de ZCAS, nota-se uma redução significativa dos valores do RMSE do ensemble médio das 3 variáveis avaliadas, do mesmo modo que ocorre um ligeira queda do espalhamento. Consequentemente há uma diminuição da diferença entre RMSE e SPR. Vale ressaltar que estas comparações são apenas nas primeiras 72 horas de previsão. Tabelas comparativas dos valores de RMSE e espalhamento dos três experimentos, SREPT, SREPH e SREPF, serão apresentadas na subseção 4.3 com o intuito de facilitar a comparação do desempenho dos experimentos.

A verificação da distribuição das previsões do SREPF nos casos de SF é apresentada nas Figuras 4.34, 4.35, 4.36 e 4.37, respectivamente, para a TEMP, UMES, PNMM e precipitação acumulada em 24 horas.

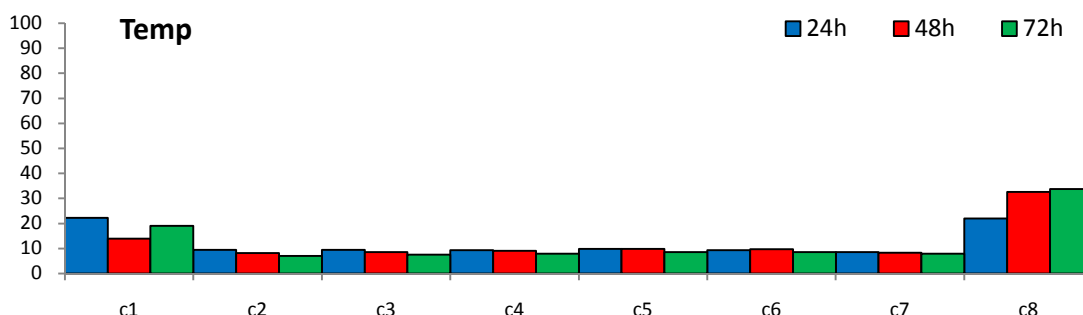


Figura 4.34 - Diagramas de Talagrand para a TEMP para as previsões dos casos de SF.

A distribuição da temperatura (Figura 4.34) é praticamente homogênea em 24 horas (barras em azul) e um ligeiro deslocamento para a direita é notado nos horários finais de previsão, indicando ligeira tendência negativa em cerca de 33% das previsões. O diagrama da umidade específica (Figura 4.35) apresenta distribuição em forma de U, ou seja, o espalhamento das previsões é subdispersivo, assim como a distribuição da PNMM (Figura 4.36). A distribuição da precipitação acumulada em 24 horas (Figura 4.37) é relativamente homogênea com ligeiro deslocamento para a esquerda indicando pequena tendência em superestimar as chuvas em cerca de 28% das previsões. No entanto, nota-se que esta tendência em superestimar diminui com o avanço do prazo de integração e é muito menor que a tendência dos experimentos SREP e SREPH.

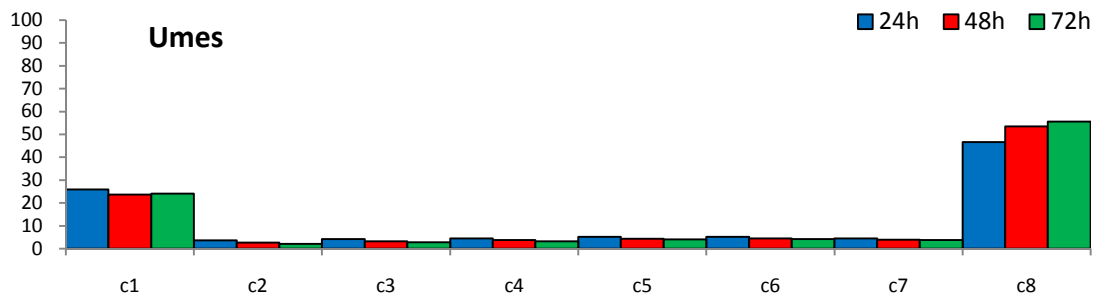


Figura 4.35 - Diagramas de Talagrand para a UMES para as previsões dos casos de SF.

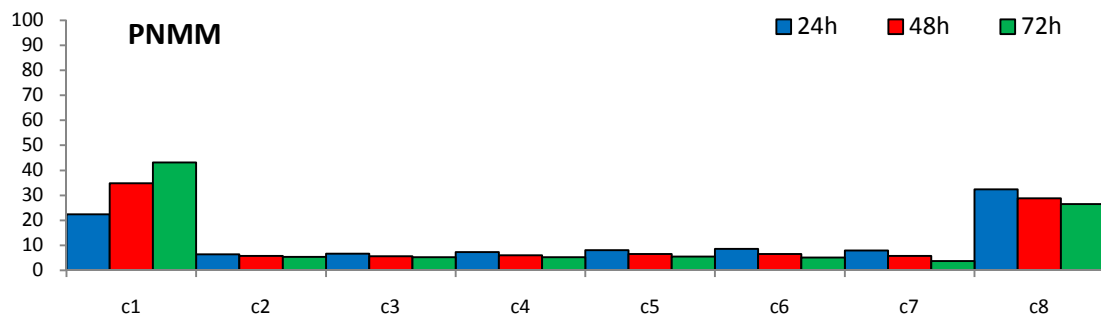


Figura 4.36 - Diagramas de Talagrand para a PNMM para as previsões dos casos de SF.

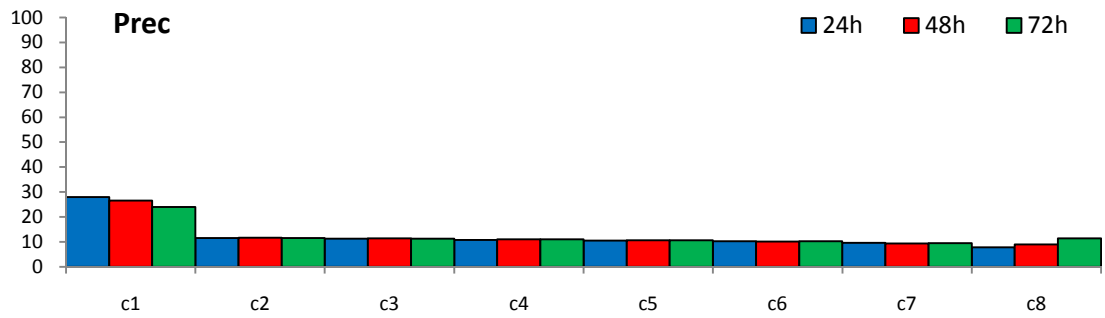


Figura 4.37 - Diagramas de Talagrand para a precipitação acumulada em 24 horas para as previsões dos casos de SF.

A média dos casos de sistemas frontais do experimento de incerteza dos erros do modelo para a variável PNMM apresenta valores das componentes confiabilidade e resolução diminuindo com o avanço da integração (Figura 4.38). Os valores do termo confiabilidade são menores que os valores dos casos dos *ensembles* SREP e SREPH. Os valores da componente incerteza variam entre 0,15 e 0,2 e o índice *BS* diminui nos horários finais da previsão, indicando ganho de desempenho com a integração. Os valores do *BSS* são sempre negativos, porém diminuem nos prazos finais.

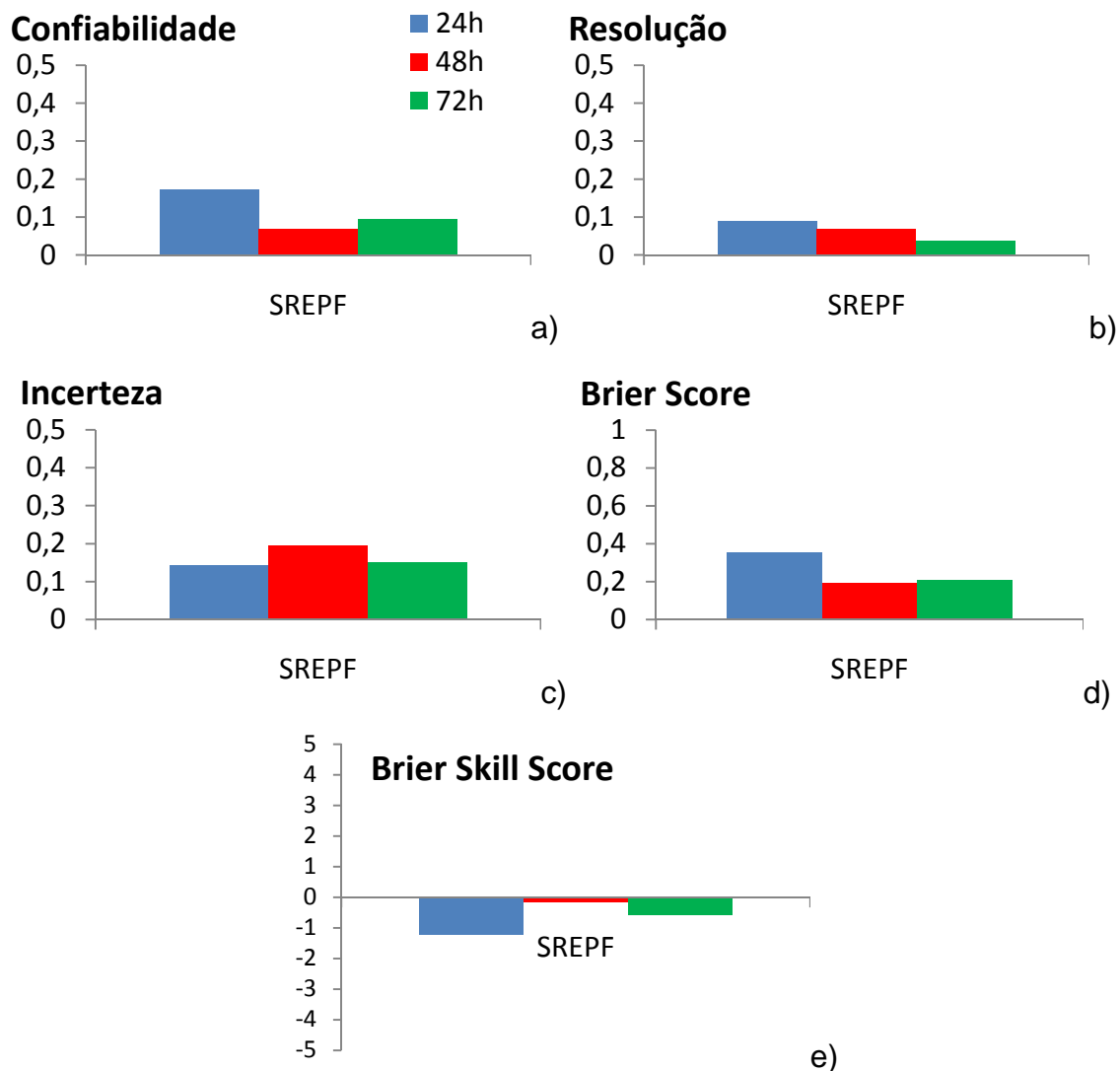


Figura 4.38 – Brier Score da PNMM dos casos de Sistema Frontal dos membros do SREPF. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.

Para a variável TEMP (Figura 4.39), os valores da componente confiabilidade não apresentam uma diminuição muito acentuada com o avanço dos horários de previsão, enquanto que a componente resolução apresenta valores praticamente constantes e muito pequenos, em torno de 0,02. A componente incerteza é alta com valores praticamente constantes em torno de 0,2, maiores que nos casos de ZCAS. O índice *BS* apresenta valores muito próximos, em torno de 0,3, para todos os horários e o índice *BSS* apresenta valores negativos muito pequenos em torno de -0,04.

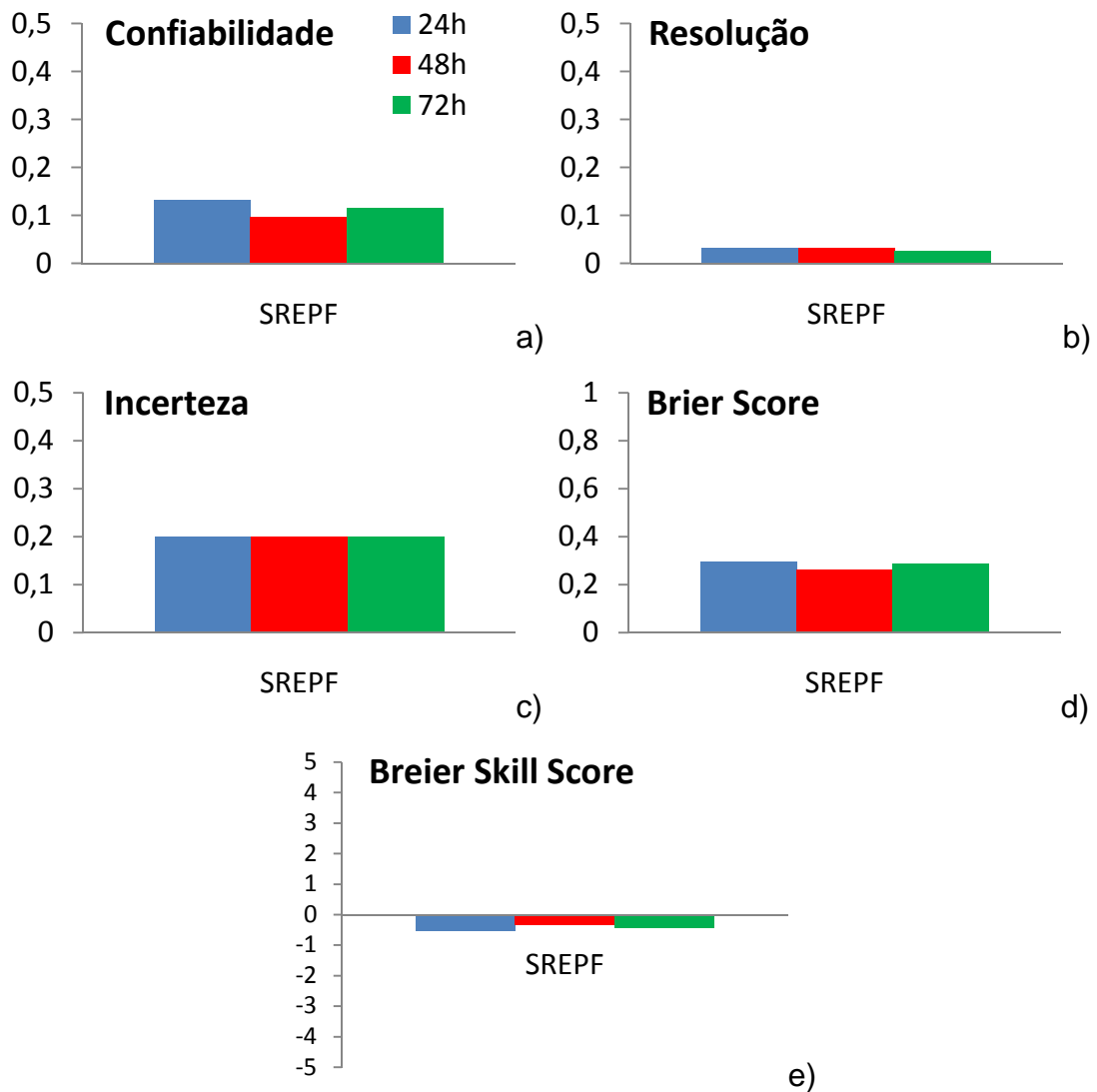


Figura 4.39 – Brier Score TEMP dos casos de Sistema Frontal dos membros do SREPF. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Breier Skill Score.

4.2.3 Incertezas Combinando Perturbações das Condições Iniciais e dos Erros dos Modelos

Os resultados apresentados pelas metodologias de perturbação das condições iniciais e de perturbações dos erros dos modelos avaliados de forma separada foram úteis em identificar as vantagens e desvantagens de cada uma das metodologias na previsibilidade dos casos de Zona de Convergência do Atlântico Sul e de passagens de Sistemas Frontais. Nesta seção, as duas metodologias foram agrupadas em um único grupo formando um conjunto

composto por 11 membros, sendo: uma previsão controle, 4 membros provenientes do SREPH e 6 membros provenientes do SREPF. As vantagens e desvantagens de combinar as duas metodologias em um único conjunto, bem como o impacto do aumento do número de membros serão exploradas nesta seção.

4.2.3.1 Previsibilidade dos Casos de Zona de Convergência do Atlântico Sul

O RMSE dos três experimentos, SREPH, SREPF e SREPT e da previsão controle, além dos espalhamentos das três metodologias de ensemble estão mostrados na Figura 4.40. Como o comportamento do RMSE e do espalhamento das metodologias SREPH e SREPF foram descritos nas seções anteriores, nesta seção será descrito o comportamento do SREPT, comparando-o com os outros dois experimentos.

Para a temperatura em 850 hPa (Figura 4.40a), os valores do RMSE do ensemble médio do SREPT são menores que os valores da previsão controle (PC) em todos os horários de previsão. Há uma alta taxa de crescimento do RMSE nas primeiras 6 horas de previsão, porém o crescimento continua em taxa menor com o avanço do prazo de previsão, e com uma ligeira queda nos horários finais. Em 144 horas, o valor do RMSE do EM (PC) é em torno de 1,3 °C (1,5° C). Nota-se com o avanço do prazo de previsão o ciclo diurno na evolução do erro observado em todos os experimentos. O espalhamento do SREPT é, no instante inicial, em torno de 0,8° C e tem uma ligeira queda nas 12 primeiras horas de previsão, provavelmente devido à fase de ajuste do modelo. O valor do espalhamento com o avanço do prazo de previsão é praticamente constante, atingindo valores em torno de 0,9° C em 144 horas.

Há uma redução significativa do RMSE da variável UMES do SREPT em comparação ao RMSE da PC (Figura 4.40b). Assim como em todas as outras avaliações, nos instantes iniciais há um crescimento do RMSE e do

espalhamento das previsões, seguido por uma taxa de crescimento mais suave. No prazo final de integração o RMSE do EM (PC) é em torno de 1,4 g/kg (1,9 g/kg) com valores de espalhamento do SREPT em torno de 1,3 g/kg, portanto valores comparáveis entre si.

Nos prazos iniciais até 72 horas, os valores do RMSE do EM do SREPT são similares aos valores do RMSE da PC para a variável PNMM (Figura 4.40c). Após este horário os valores do RMSE do EM são sempre menores que o RMSE da PC, atingindo valores em torno de 2,4 hPa para o EM e 2,7 hPa para a previsão controle. O espalhamento das previsões também apresenta forte crescimento nos instantes iniciais seguido de crescimento mais suave com o avanço do prazo de integração.

No geral para os casos de ZCAS, os valores do RMSE do SREPT são próximos aos valores do RMSE do SREPF e menores que o RMSE do SREPH em praticamente todos os horários de previsão, enquanto que o espalhamento das previsões do SREPT é muito próximo ao espalhamento das previsões do SREPF e maior que o espalhamento das previsões do SREPH.

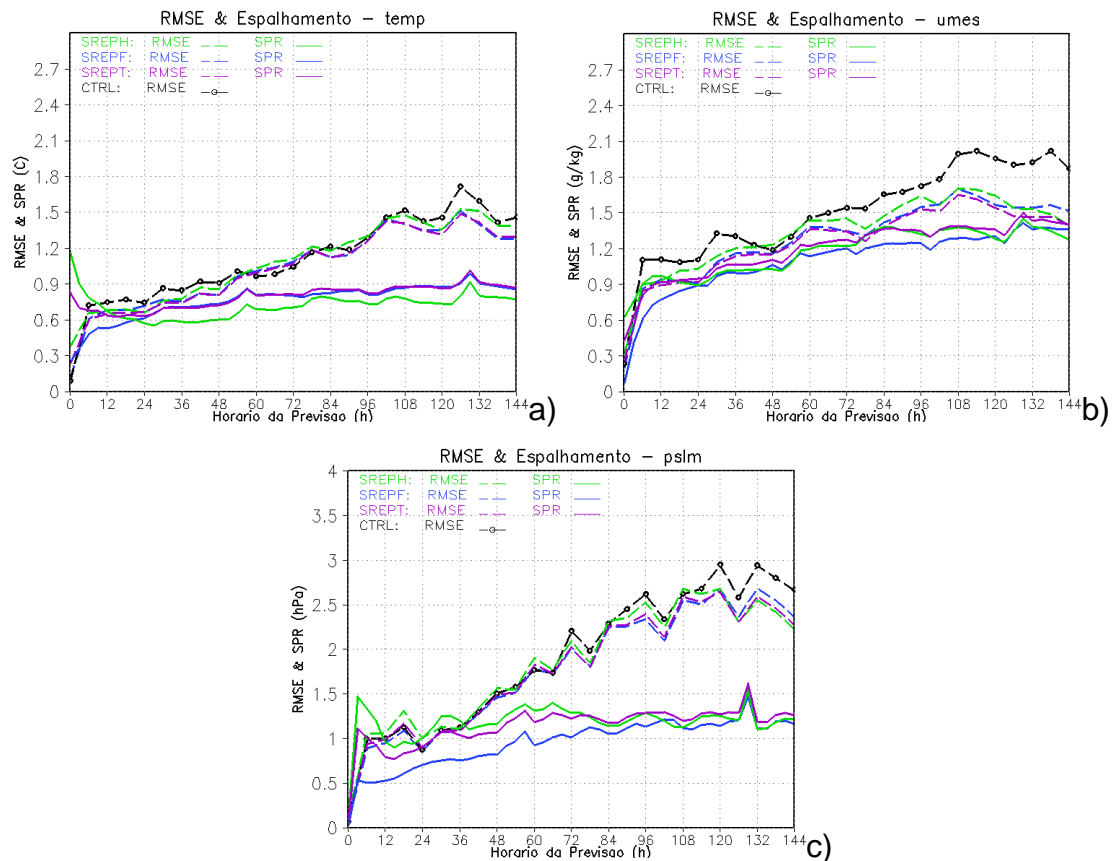


Figura 4.40 - RMSE e SPR para os casos de ZCAS da: a) temperatura em 850-hPa ($^{\circ}\text{C}$), b) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e c) PNMM (hPa). RMSE é a linha tracejada para o SREPH, SREPF e SREPT e a rodada controle (com círculos). SPR é a linha cheia para o SREPH, SREPF e SREPT.

As diferenças entre o RMSE do *ensemble* médio e o RMSE da previsão controle são apresentadas na Figura 4.41. As diferenças negativas indicam que RMSE da previsão controle é maior que o RMSE do *ensemble* médio, significando um ganho de desempenho do sistema de previsão por *ensemble* de curto prazo em relação à previsão determinística.

As diferenças do RMSE da temperatura em 850 hPa (Figura 4.41a) mostram em quase todos os horários da previsão vantagens do EM em relação à previsão determinística. Comparando-se as três metodologias, nota-se que a menor redução do RMSE ocorre para o EM do SREPH em praticamente todos os horários de previsão, enquanto que SREPT ou SREPF apresentam reduções maiores e semelhantes entre si. O mesmo padrão de erros é notado

para a variável umidade específica em 850 hPa (Figura 4.41b). O RMSE da variável PNMM é o que apresenta menor vantagem do EM frente à previsão determinística (figura 4.41c), pois as diferenças entre qualquer uma das metodologias avaliadas e a PC oscilam em torno de apenas 0,5 hPa. A vantagem é observada principalmente nos horários finais de previsão, após 72 horas.

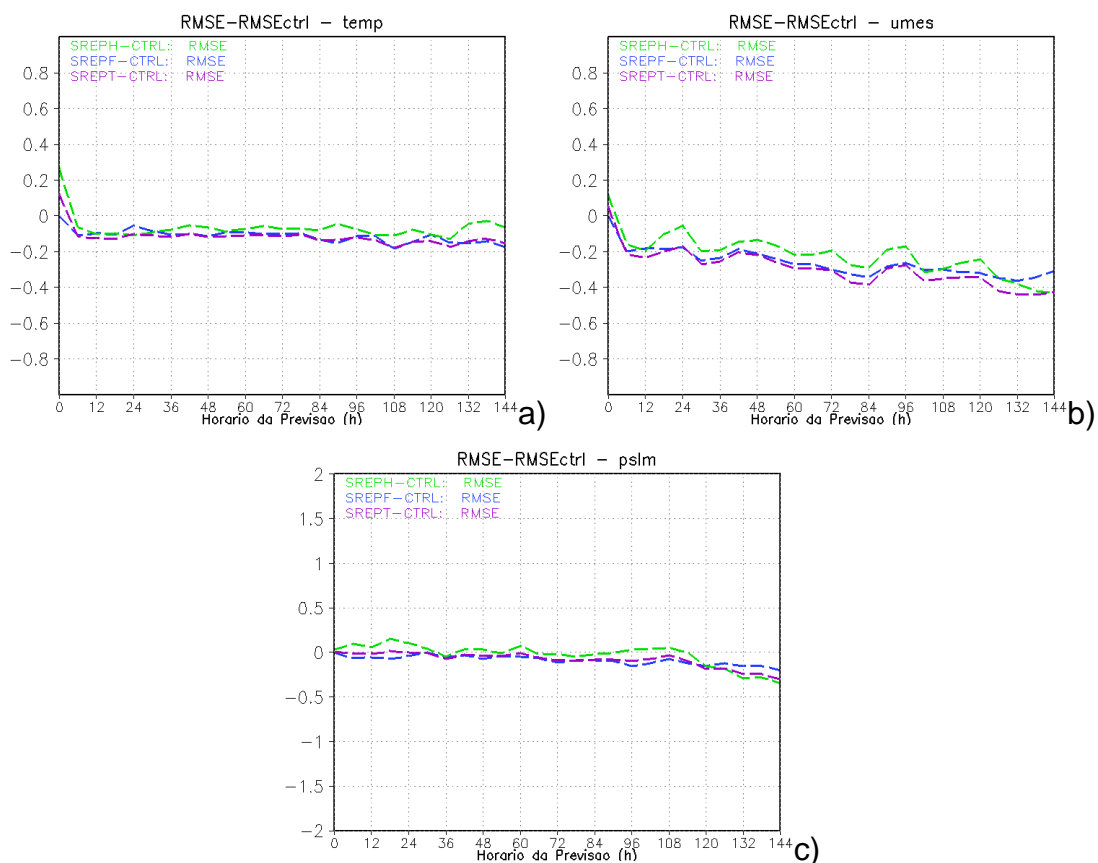


Figura 4.41 - Diferenças do RMSE do EM do SREPH (curva verde), SREPF (curva azul) e SREPT (curva roxo) com o RMSE da previsão controle para os casos de ZCAS da: a) temperatura em 850-hPa ($^{\circ}\text{C}$), b) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e c) PNMM (hPa).

A diferença entre o RMSE do EM e o espalhamento da previsão indica a discrepância entre a taxa de crescimento do erro da previsão e do espalhamento do ensemble e facilita a comparação da evolução do espalhamento dos três experimentos. A tendência para todas as variáveis avaliadas é de valores positivos com o avanço do prazo da previsão (Figura 4.42). Estes valores positivos podem ser um indicativo do sistema de *ensemble*

em subestimar o espalhamento. Porém, deve-se também considerar a possibilidade da presença de um erro sistemático que gere valores elevados de RMSE e, conseqüentemente, grandes valores de discrepância entre RMSE e SPR.

A Figura 4.42a mostra que apenas nos horários iniciais o espalhamento da variável TEMP é maior que o RMSE do seu EM. Ou seja, as previsões partem de um valor elevado de espalhamento que se reduzem com o avanço do prazo de previsão. A partir de 24 horas nota-se que o RMSE tem uma taxa de crescimento muito maior que o espalhamento, sendo que para o SREPH este crescimento é nitidamente maior. Isto indica que entre as três metodologias o SREPH é o sistema que apresenta maior discrepância entre RMSE e SPR. A princípio poderíamos afirmar que há uma forte tendência em subestimar o espalhamento, porém a grande discrepância entre RMSE e SPR está associada à existência de tendência do modelo em apresentar erro sistemático, o que se mostrou presente em outras avaliações e persiste em todas as metodologias. Para a variável UMES (Figura 4.42b) nota-se menor discrepância entre o RMSE e o espalhamento, sendo o SREPT a metodologia que apresenta menores discrepâncias. Para a variável PNMM (Figura 4.42c) nota-se um crescimento das diferenças com o avanço do prazo de previsão. Nos horários iniciais o SREPF mostra maior tendência em subestimar, porém nos horários finais as três metodologias indicam diferenças muito próximas.

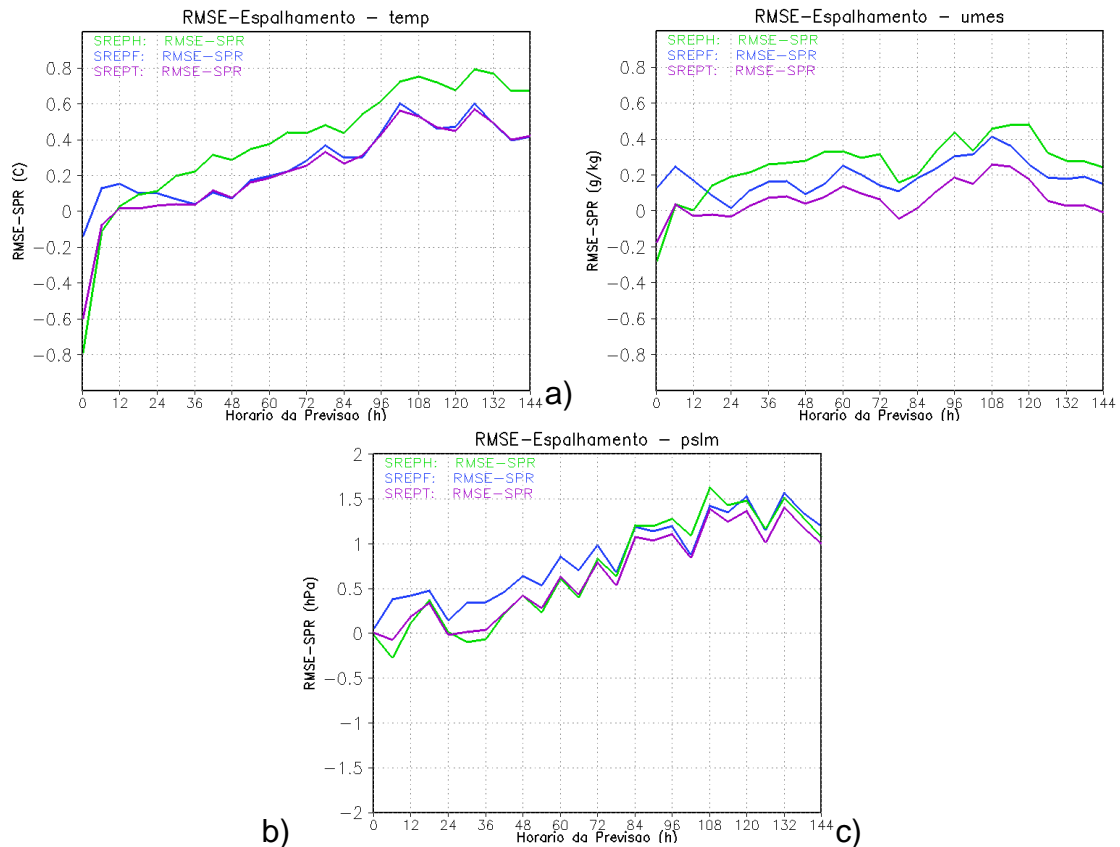


Figura 4.42 - Diferença entre RMSE do ensemble médio e o SPR da previsão para os casos de ZCAS da: a) temperatura em 850-hPa (°C), b) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e c) PNMM (hPa).

O cálculo do ETS e BIAS mostra vantagem das previsões de precipitação do EM fornecidas pelo SREPF em comparação ao SREPH (Figura 4.43). Os valores do ETS são geralmente maiores para o SREPF e são comparáveis aos valores do SREPT (Figura 4.43a) em todas as categorias de precipitação. Da mesma forma, o BIAS (Figura 4.43b) indica melhor desempenho para o experimento SREPF para todas as categorias de chuva. O SREPF superestima menos as chuvas até 19 mm enquanto subestima menos as chuvas acima de 25 mm que os resultados fornecidos pelos experimentos SREPH e SREPT que indicam valores de BIAS muito próximos.

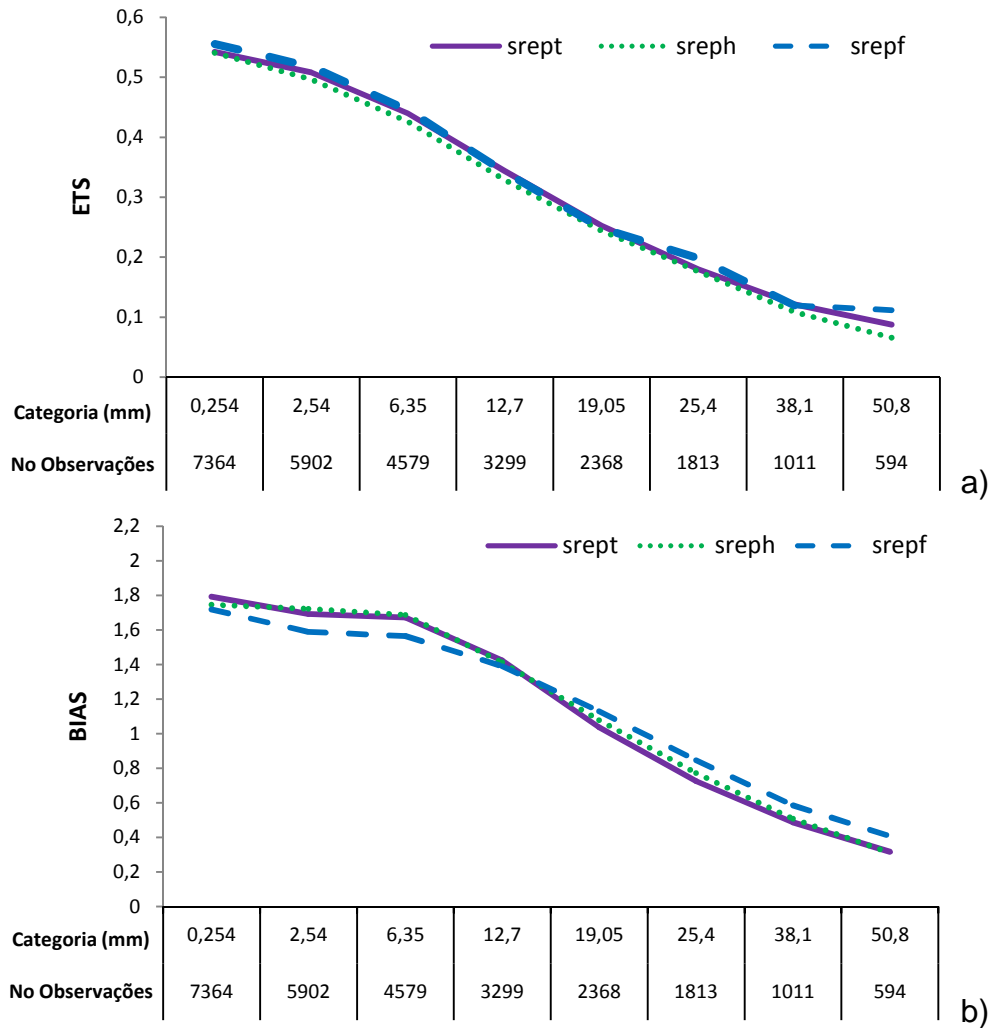


Figura 4.43 – ETS e BIAS do ensemble médio do SREPT, SREPF e SREPH da precipitação acumulada em 24 horas dos casos de ZCAS. Os números na abcissa são os valores dos limiares de precipitação em mm (linha superior) e o número de observações em cada limiar (linha inferior).

No diagrama de Talagrand da variável temperatura em 850 hPa (Figura 4.44) para o experimento SREPT, nota-se que nos horários iniciais de previsão a distribuição é relativamente homogênea com pequeno deslocamento para a esquerda indicando leve tendência de bias positivo para cerca de 25% das previsões. Com o avanço do prazo de previsão há uma inversão de tendência e nos horários finais nota-se um forte deslocamento para direita indicando tendência de subestimava da temperatura para cerca de 52% das previsões. A Figura 4.45 mostra o diagrama de Talagrand para a variável UMES. Fica evidente em todos os horários de previsão que há tendência do SREPT em produzir dispersão insuficiente. Em 24 (144) horas a distribuição corresponde a

22% (28%) no extremo da esquerda e aproximadamente 50% (52%) no extremo da direita. A PNMM mostra distribuição deslocada para a esquerda em todos os horários de previsão (Figura 4.46), indicando que há uma tendência do modelo em prever valores de pressão acima do observado (cerca de 35% das previsões de 24 horas), porém os valores são muito menores que a distribuição dos experimentos SREP e SREPH (que indicam em torno de 50% das previsões). A variável precipitação acumulada em 24 horas (Figura 4.47) é a que apresenta distribuição mais homogênea. Com valores ligeiramente deslocados para a esquerda que tendem a ter ligeira diminuição da superestimativa com o avanço do prazo de previsão reduzindo de cerca de 21% das previsões iniciais para cerca de 18% das previsões em 144h a tendência de superestimativa.

Mesmos com o aumento do número de membros do SREPT para 11 membros, as distribuições apresentam padrões semelhantes às distribuições tanto do SREPH quanto do SREPF. As mesmas tendências em superestimar a pressão ao nível médio do mar, subestimar a temperatura nos prazos mais avançados de previsão e indicar uma sub-dispersão da umidade específica são observadas em todos os conjuntos avaliados. Apenas a variável precipitação acumulada em 24 horas indica boa distribuição tanto nas previsões do SREPT como nos outros experimentos avaliados. No entanto o SREPT indica em todos os casos distribuições mais homogêneas diminuindo o percentual de previsões que tendem a subestimar (no caso da variável TEMP) ou superestimar (no caso da variável PNMM) principalmente em comparação ao experimento SREPH. A tendência em produzir dispersões insuficientes também foi minimizada. Grande ganho foi apontado na distribuição da variável precipitação onde a tendência de superestimar foi reduzida de 36% no experimento SREPH para 21% das previsões do experimento SREPT nas primeiras 24 horas de previsão. De um modo geral as distribuições das previsões do SREPT apresentam um ganho de desempenho significativo com o aumento do número de membros do conjunto, principalmente em relação ao experimento SREPH, que pode ser notado nos valores em **negrito** da Tabela 4.2.

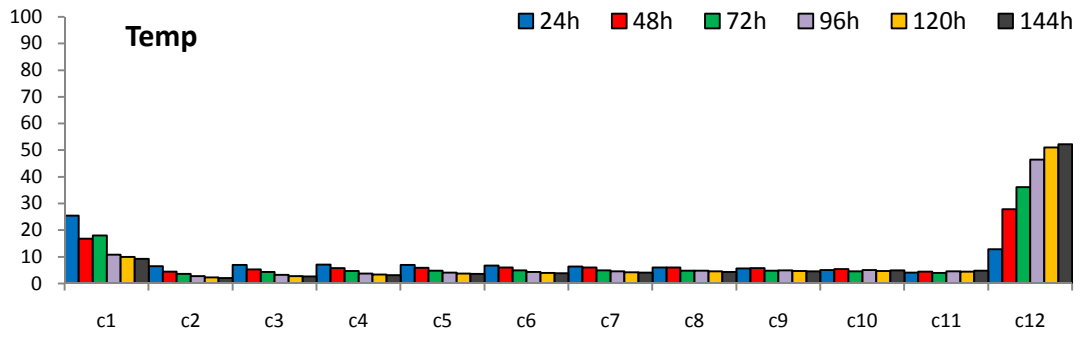


Figura 4.44 - Diagramas de Talagrand para a TEMP para as previsões dos casos de ZCAS do SREPT.

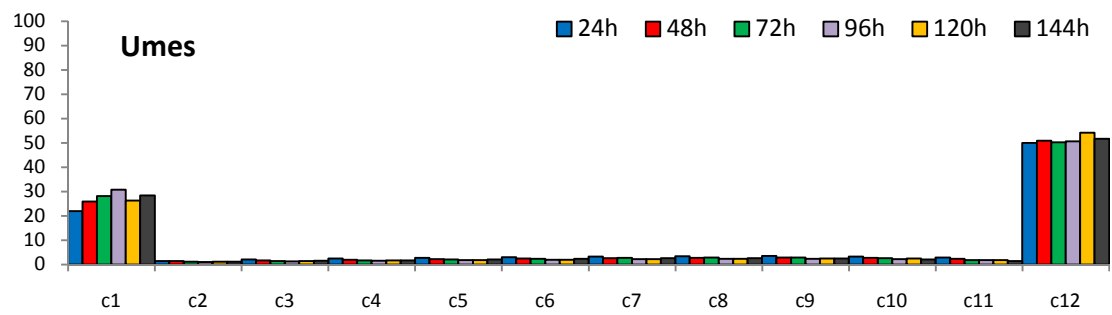


Figura 4.45 - Diagramas de Talagrand para a UMES para as previsões dos casos de ZCAS do SREPT.

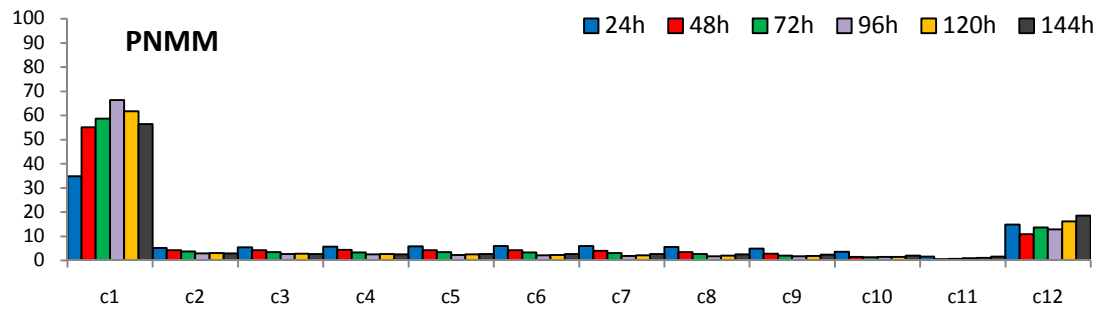


Figura 4.46- Diagramas de Talagrand para a PNMM para as previsões dos casos de ZCAS do SREPT.

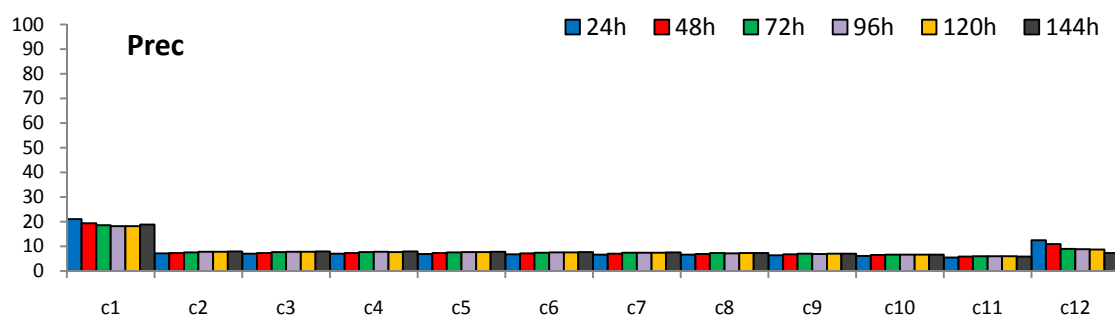


Figura 4.47 - Diagramas de Talagrand para a precipitação acumulada em 24 horas para as previsões dos casos de ZCAS do SREPT.

Tabela 4.2 - Valores dos percentuais da distribuição do Diagrama de Talagrand para os casos de ZCAS das previsões de 24 e 144 horas dos experimentos SREPT, SREPF e SREPH. C_1 corresponde a % de previsões que caem no intervalo 1 e C_{n+1} corresponde a % de previsões no intervalo do número de membros do ECP mais 1.

Variável		Previsão de 24 horas			Previsão de 144 horas		
		SREPT	SREPF	SREPH	SREPT	SREPF	SREPH
TEMP	C_1	25,46	32,71	28,68	9,27	10,56	11,83
	C_{n+1}	12,90	10,71	15,81	52,21	52,45	52,50
UMES	C_1	21,96	26,54	21,32	28,35	31,18	28,35
	C_{n+1}	49,92	46,07	54,28	51,68	50,28	53,96
PNMM	C_1	34,89	32,97	51,70	56,37	59,84	62,94
	C_{n+1}	14,91	15,64	11,09	18,58	17,55	17,13
PREC	C_1	21,07	25,79	36,46	18,83	23,19	34,85
	C_{n+1}	12,46	11,98	219,36	7,37	7,47	10,90

As características das previsões probabilísticas de PNMM e temperatura em 850 hPa para os casos de ZCAS são apresentados nas Figuras 4.48 e 4.49, respectivamente. Nestas figuras foram repetidas as informações dos experimentos SREPH e SREPF para facilitar a comparação dos três experimentos.

Nas previsões probabilísticas da PNMM, os valores da componente confiabilidade do SREPT apresentam uma tendência em aumentar com o avanço do prazo de previsão, porém os valores máximos estão em torno de 0,2. Dos quatro experimentos o que apresenta maiores valores da componente

confiabilidade é o SREPH, os valores da componente confiabilidade do SREPF e SREPT são relativamente comparáveis, indicando vantagens destes dois experimentos sobre o SREP e SREPH. Por outro lado a componente resolução (Figura 4.48b) do SREPT diminui com o avanço do prazo de integração. Os valores são pequenos e comparáveis entre os três experimentos. O valor da incerteza oscila no SREPT, apresentando o maior valor em 24 horas (em torno de 0,2) e são comparáveis aos experimentos SREPH e SREPF. O índice *BS* do SREPT, assim como do SREPF, tende a aumentar com o avanço do prazo de previsão. No entanto, o *BS* com pior desempenho é o do SREPH em função dos maiores valores da componente confiabilidade apresentados por este experimento. O índice *BSS* apresenta valores negativos para o SREPT em todos os horários de previsão. O comportamento do índice *BSS* do SREPT é muito similar ao comportamento do SREPF e, em geral, apresenta melhor desempenho que o SREPH.

Para a variável TEMP (Figura 4.49), o SREPT mostra valores da componente de confiabilidade relativamente próximos entre os horários de previsão. Em geral os valores da componente confiabilidade são menores para o SREPT em relação ao SREPF e, principalmente em relação ao SREPH, que apresenta valores pelo menos três vezes maiores que o SREPT, indicando melhores desempenhos em termos de confiabilidade dos experimentos SREPF e SREPT. A componente resolução do SREPT é muito pequena para todos os horários de previsão, em torno de 0,01 e muito inferior aos valores de resolução do SREPF e SREPH. A componente incerteza é relativamente uniforme para o SREPT e ligeiramente menor que a dos experimentos SREPF e SREPH. O índice *BS* do SREPT tende a diminuir com o avanço do prazo de integração, e é relativamente próximo aos valores do SREPF e menor que os valores do SREPH, indicando melhor desempenho do SREPT. Para o experimento SREPT o índice *BSS* é negativo em todos os horários de previsão e os valores do *BSS* são menores que os valores do SREPH. Em geral o experimento SREPT apresenta melhores resultados que os outros experimentos, principalmente quanto ao SREPH.

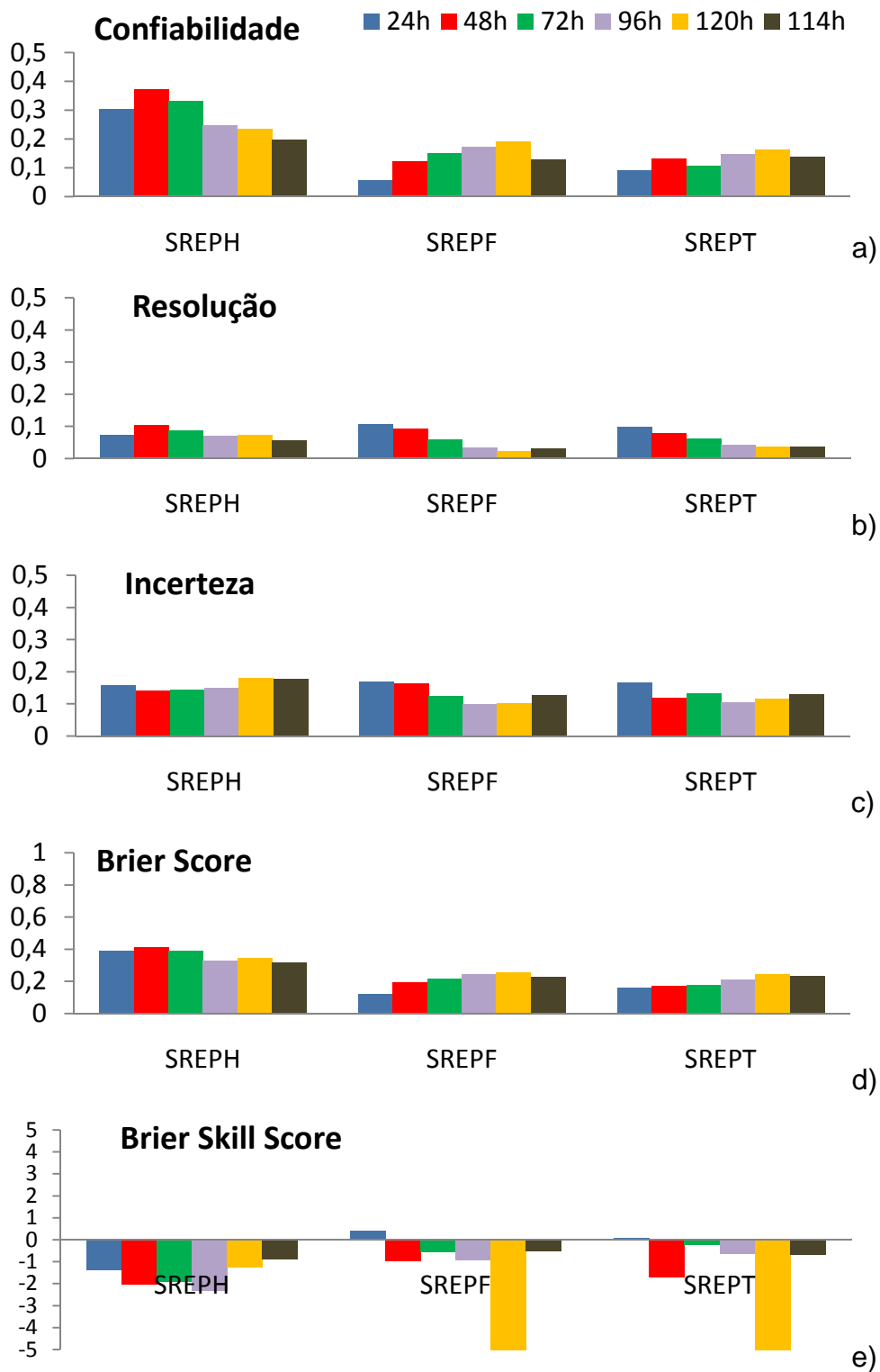


Figura 4.48 – Brier Score da PNMM dos casos de ZCAS dos membros do SREPH, SREPF e SREPT. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.

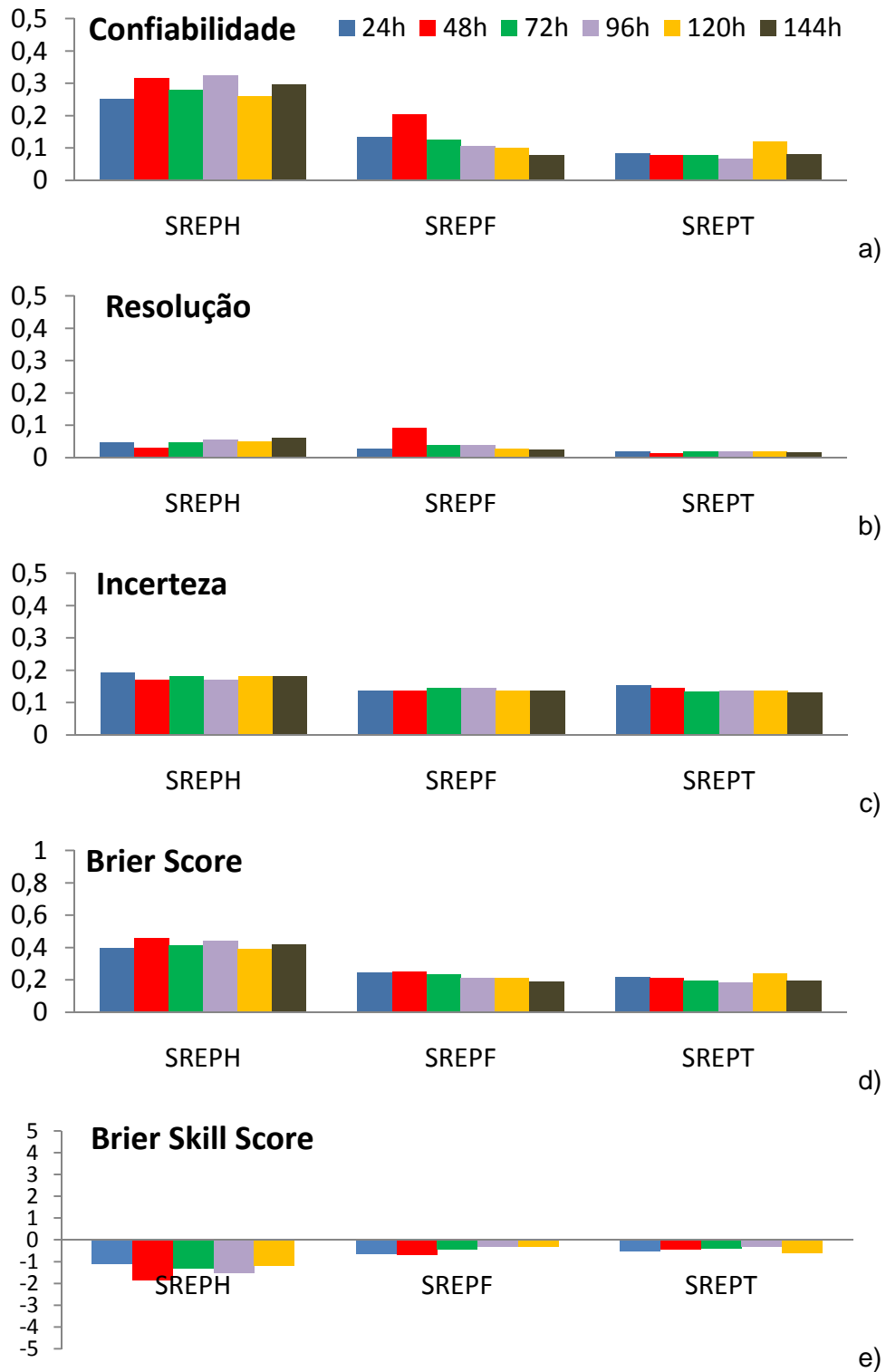


Figura 4.49 – Brier Score TEMP dos casos de ZCAS dos membros do SREPH, SREPF e SREPT. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score

4.2.3.2 Previsibilidade dos Sistemas Frontais

O desempenho das três metodologias em casos de passagens de sistemas frontais pode ser visto na Figura 4.50. Para todas as variáveis o RMSE do EM do SREPT é menor que o RMSE da previsão controle em praticamente todos os horários de previsão. Para a variável temperatura em 850 hPa (Figura 4.50a), os valores do RMSE do EM do SREPT são menores que o RMSE do SREPH e similares aos valores do RMSE do SREPF. O espalhamento das previsões do SREPT também é maior que o espalhamento das previsões do SREPH e SREPF após 24 horas de previsão. Nota-se que o SREPH tem espalhamento inicial alto que tende a decair após as primeiras horas de previsão, o SREPT, por incorporar os membros do SREPH também mostram valores iniciais de espalhamento relativamente mais altos que sofrem ligeira queda nos primeiros horários de previsão.

A variável UMES (Figura 4.50b) indica maiores valores de RMSE para o EM do SREPH em todos os horários e valores muito similares entre o SREPF e SREPT. Por outro lado para o comportamento do espalhamento não é tão evidente qual dos 3 experimentos apresenta vantagem em relação aos outros. Nos horários iniciais o maior espalhamento é do SREPH, muito provavelmente devido à inclusão da perturbação da umidade na condição inicial. Após 24 horas de previsão os espalhamentos do SREPH e SREPT são similares, sendo que em 72 horas o espalhamento do SREPT é maior. Em todos os horários de previsão o espalhamento do SREPF é menor que o das duas outras metodologias. A PNMM (Figura 4.50c) é a variável com valores de RMSE mais próximos entre as três metodologias, inclusive com valores relativamente próximos ao RMSE da previsão controle. Nota-se que a metodologia SREPH tem maior espalhamento, enquanto que o espalhamento do SREPF é muito menor.

Também para os casos de SF foram calculadas as diferenças entre o RMSE do *ensemble* médio e o RMSE da previsão controle que são apresentadas na Figura 4.51. Em geral as diferenças são negativas, o que indica que RMSE da

previsão controle é maior que o RMSE do *ensemble* médio, significando um ganho de desempenho do sistema de ECP em relação à previsão determinística.

As diferenças do RMSE da variável TEMP (Figura 4.51a) mostram em todos os horários da previsão vantagens do ensemble médio em relação à previsão determinística. Comparando-se as três metodologias, nota-se que a maior redução do RMSE ocorre para o EM do SREPF e SREPT. O mesmo padrão de erros é notado para a variável umidade específica em 850 hPa (Figura 4.51b). O RMSE da variável PNMM é o que apresenta uma vantagem menor do EM frente à previsão determinística (figura 4.51c), sendo que para o experimento SREPH, nos horários iniciais os valores do RMSE do EM é maior que os valores do RMSE da PC.

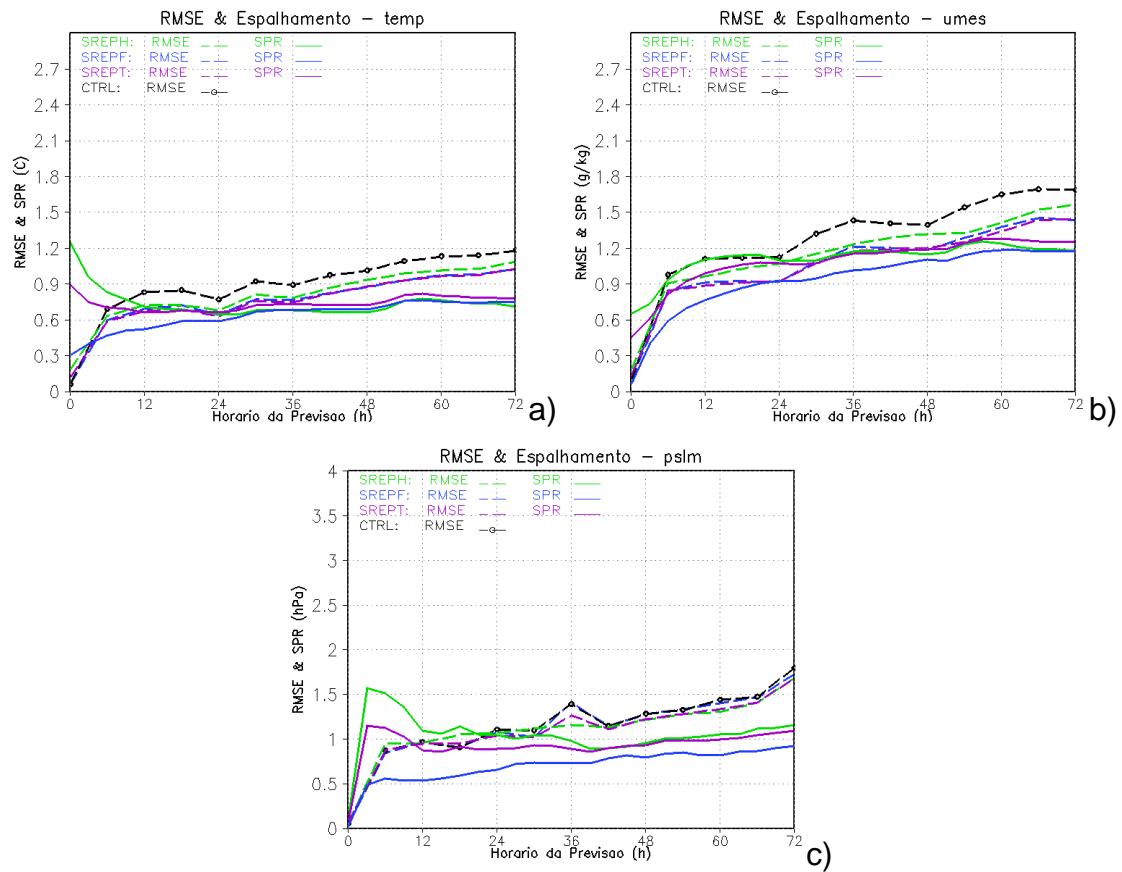


Figura 4.50- RMSE e SPR para os casos de SF da: a) temperatura em 850-hPa ($^{\circ}\text{C}$), b) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e c) PNMM (hPa). RMSE é a linha tracejada para o SREPH, SREPF e SREPT e a rodada controle (com círculos). SRP é a linha cheia para o SREPH, SREPF e SREPT.

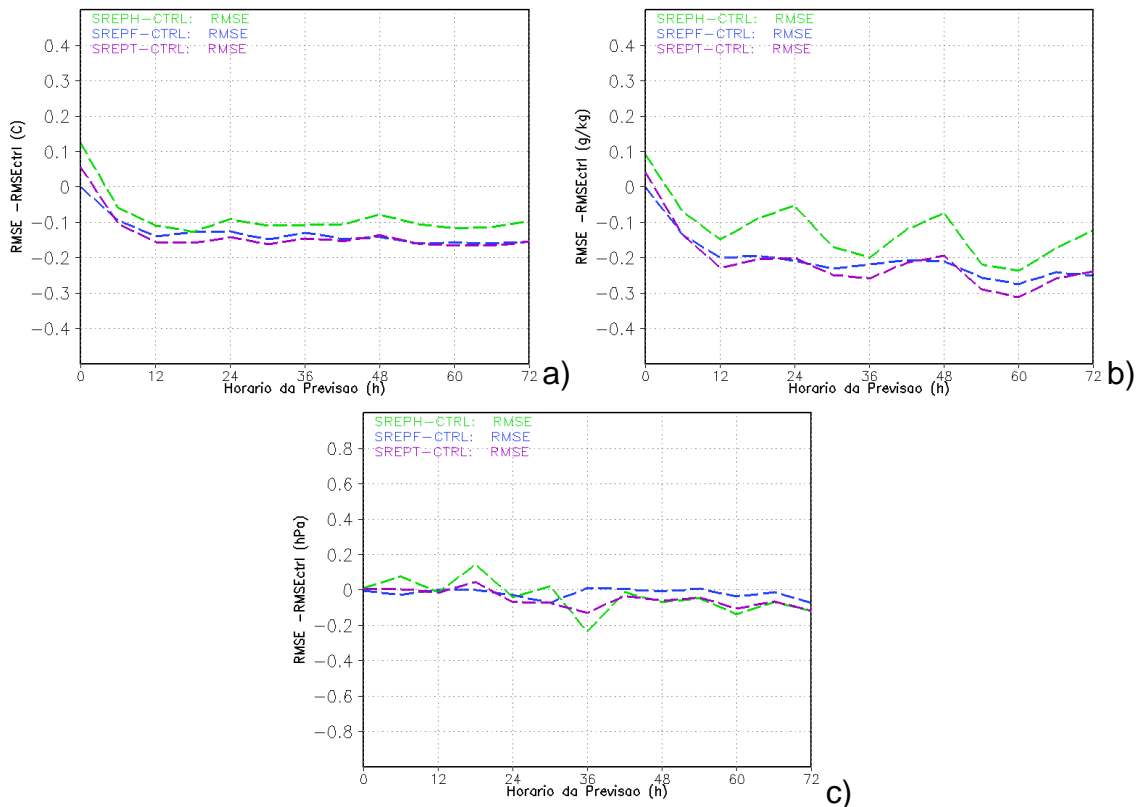


Figura 4.51 - Diferença entre RMSE do ensemble médio e RMSE da previsão controle para os casos de SF da: a) temperatura em 850-hPa ($^{\circ}\text{C}$), b) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e c) PNMM (hPa).

Para os casos de SF a tendência para todas as variáveis avaliadas é de valores positivos da diferença entre RMSE e SPR com o avanço do prazo de previsão. Os valores iniciais das diferenças para a variável TEMP (Figura 4.52a) mostram que nos horários iniciais o espalhamento é muito maior que o RMSE do EM, ou seja, da mesma forma que nos casos de ZCAS as previsões partem de um valor elevado de espalhamento que não se mantém com o avanço do prazo de previsão. A partir de 12 horas de previsão, nota-se que o RMSE passa a ter uma taxa de crescimento muito maior que o espalhamento, sendo nos horários finais do prazo de previsão o experimento com maior discrepância é o SREPH.

Para a variável UMES, a discrepância inicial entre o RMSE e o espalhamento é menor do que para a temperatura em 850 hPa. Nos horários iniciais o RMSE é maior que o espalhamento para o SREPF, e esta tendência se mantém durante

o prazo de integração. Para o SREPH, inicialmente os valores de espalhamento são maiores que os valores de RMSE, no entanto com o avanço do prazo de integração, o RMSE torna-se maior que o espalhamento. O SREPT é a metodologia que apresenta as menores diferenças nos horários finais de integração.

Para a PNMM nota-se um crescimento das diferenças com o avanço do prazo de previsão. Em todos os horários o SREPF mostra maiores diferenças entre o RMSE e o SPR do que o SREPH e o SREPT.

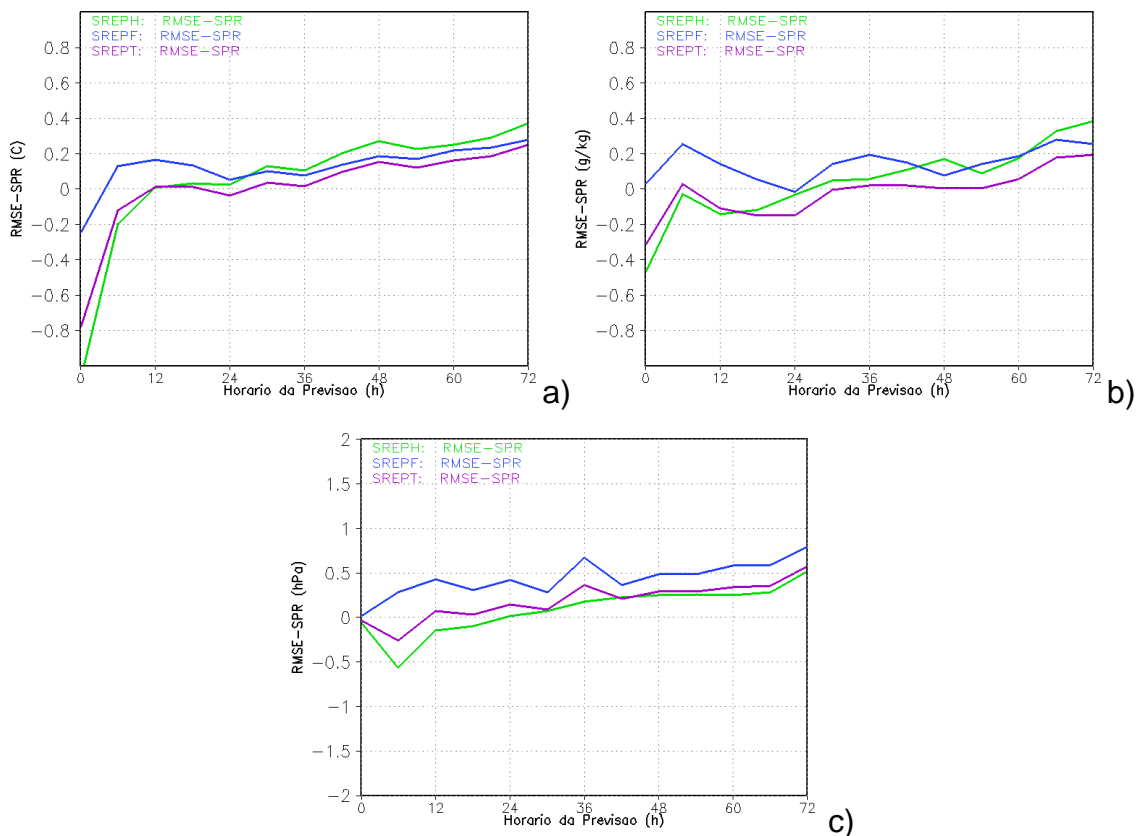


Figura 4.52 - Diferença entre RMSE do ensemble médio e SPR da previsão para os casos de SF da: a) temperatura em 850-hPa (°C), b) umidade específica em 850-hPa (g/kg) e c) PNMM (hPa).

O cálculo do ETS mostra vantagem das previsões de precipitação do EM fornecidas pelo SREPF em comparação ao SREPH (Figura 4.53) para as categorias de chuva mais intensa, acima de 19 mm. Os valores do ETS do

SREPF são comparáveis aos valores do SREPT (Figura 4.53a) em todas as categorias de precipitação. O BIAS (Figura 4.53b) para os casos de SF indica melhor desempenho para o experimento SREPF para a categoria de chuva/não chuva e para precipitações acima de 25 mm indicando menor tendência em superestimar as chuvas fracas e subestimar as chuvas fortes.

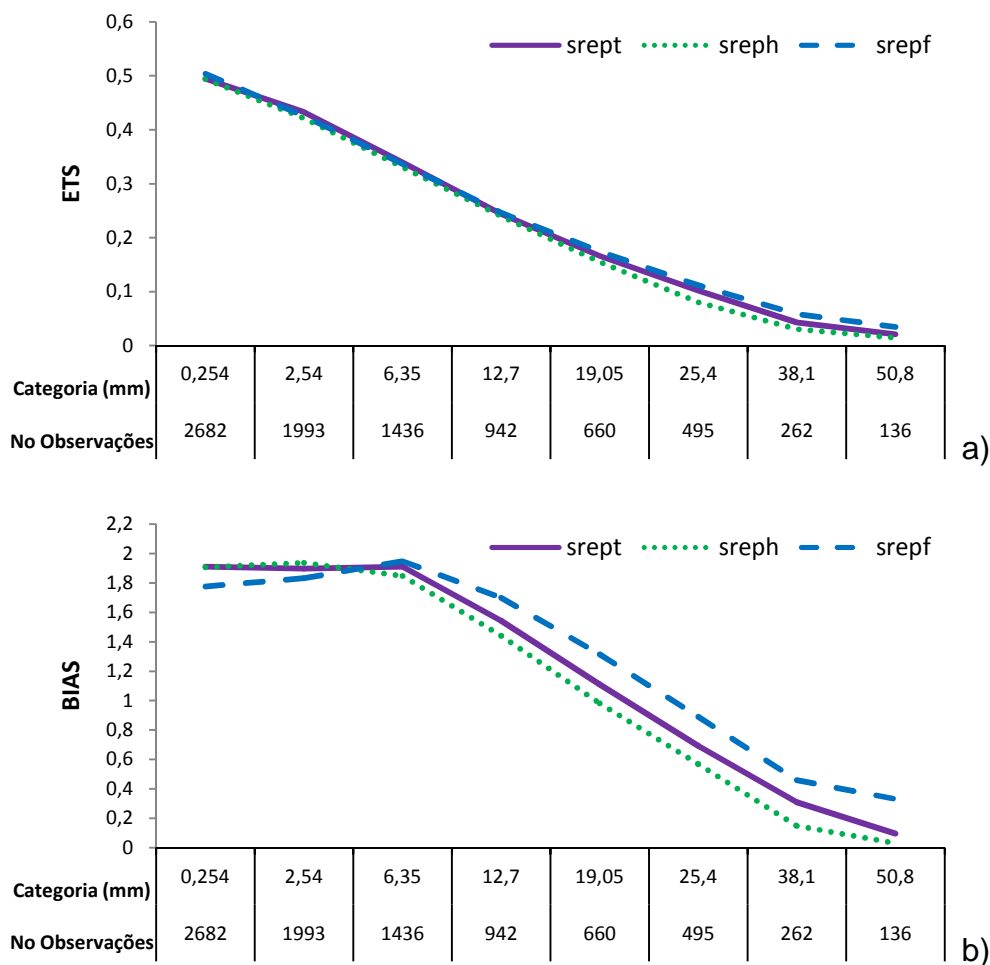


Figura 4.53 - ETS e BIAS do ensemble médio do SREPT, SREPF e SREPH da precipitação acumulada em 24 horas dos casos de ZCAS. Os números na abcissa são os valores dos limiares de precipitação em mm (linha superior) e o número de observações em cada limiar (linha inferior).

No diagrama de Talagrand da variável TEMP (Figura 4.54), nota-se que nos horários iniciais de previsão a distribuição é relativamente homogênea com pequeno deslocamento para a esquerda com cerca de 17% das previsões com tendência de bias positivo. Com o avanço do prazo de previsão há uma

inversão de tendência e nos horários finais nota-se um forte deslocamento para direita indicando 34% das previsões com tendência de subestimativa, ou seja, bias negativo das previsões. A Figura 4.55 mostra o diagrama de Talagrand para a variável umidade específica em 850 hPa. Fica evidente em todos os horários de previsão que mesmo com o aumento do número de membros no SREPT permanece a mesma tendência em subestimar a dispersão apresentada pelo SREPH e SREPF. No entanto o SREPT indica nos dois horários de previsão percentuais menores nos extremos da direita. A PNMM mostra distribuição deslocada para a esquerda em todos os horários de previsão (Figura 4.56), indicando previsões com tendência positiva do modelo em prever valores acima do observado para o SREPT (SREPH) em torno de 24% (38%) em 24 horas de previsão e 41% (50%) em 144 horas de previsão. A variável precipitação acumulada em 24 horas (Figura 4.57) é a que apresenta distribuição mais homogênea. Com valores ligeiramente deslocados para a esquerda que tendem a ter ligeira diminuição da superestimativa com o avanço do prazo de previsão. Em 24 (144) horas os valores são em torno de 22% (19%) no intervalo C_1 para o SREPT, cerca de 28% (24%) para o SREPF e em torno de 40% (35%) para o SREPH. Há uma nítida vantagem da distribuição da precipitação do SREPT e SREPF em relação às distribuições das previsões do SREPH. Os valores das distribuições para cada um dos experimentos estão enumerados na Tabela 4.3, valores que indicam melhor desempenho estão destacados em negrito. Assim como nos casos de ZCAS o aumento do número de membros do SREPT, e, em alguns casos, a inclusão das incertezas dos erros dos modelos conduziram a distribuições mais homogêneas.

Tabela 4.3 - Valores dos percentuais da distribuição do Diagrama de Talagrand para os casos de SF das previsões de 24 e 72 horas dos experimentos SREPT, SREPF e SREPH. C_1 corresponde a % de previsões que caem no intervalo de classe 1 e C_{n+1} corresponde ao intervalo de classe do número de membros do ECP mais 1.

Variável		Previsão de 24 horas			Previsão de 72 horas		
		SREPT	SREPF	SREPH	SREPT	SREPF	SREPH
TEMP	C_1	17,45	22,19	22,8	15,87	19,04	24,03
	C_{n+1}	19,38	21,91	21,55	34,58	33,64	34,87
UMES	C_1	21,34	25,91	21,44	20,61	24,16	19,52
	C_{n+1}	50,80	46,68	54,27	58,66	55,59	61,82
PNMM	C_1	24,59	22,41	38,97	41,73	43,17	51,91
	C_{n+1}	29,86	32,46	25,5	25,40	26,49	21,02
PREC	C_1	22,81	27,99	39,47	19,40	24,09	35,25
	C_{n+1}	8,28	7,87	14,43	11,50	11,41	17,13

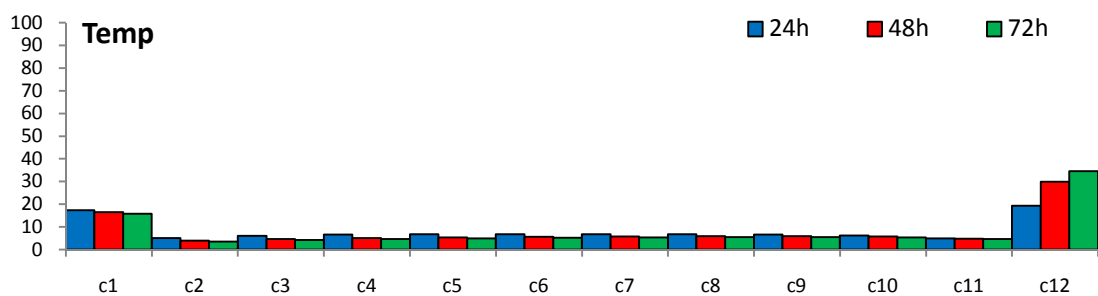


Figura 4.54 - Diagramas de Talagrand para a TEMP para as previsões dos casos de SF do SREPT.

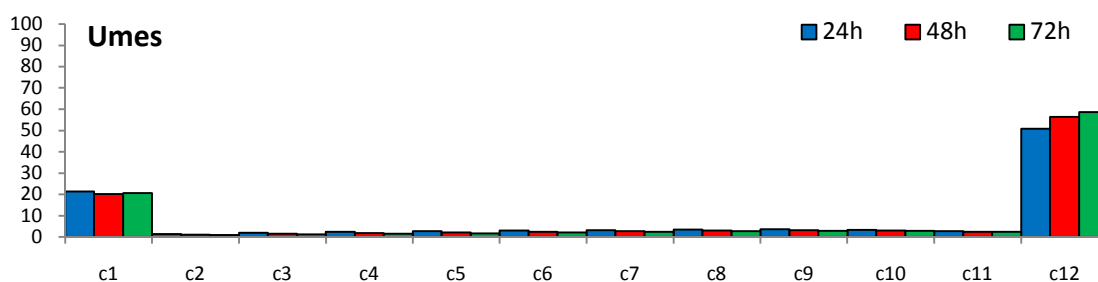


Figura 4.55 - Diagramas de Talagrand para a UMES para as previsões dos casos de SF do SREPT.

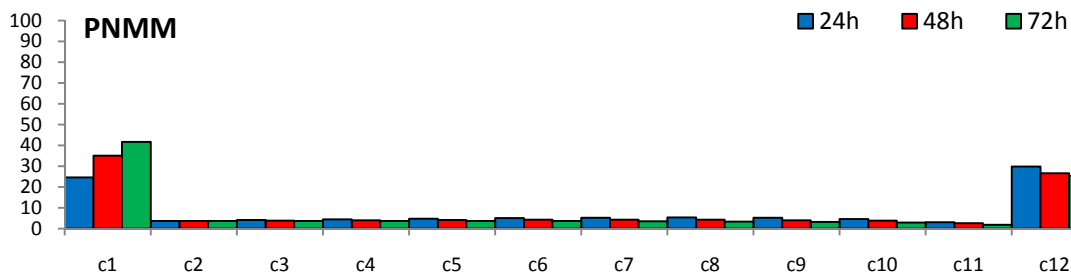


Figura 4.56 - Diagramas de Talagrand para a PNMM para as previsões dos casos de SF do SREPT.

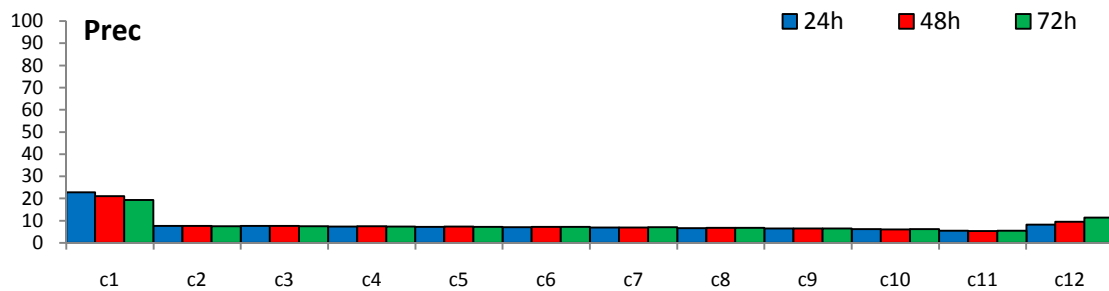


Figura 4.57 - Diagramas de Talagrand para a precipitação acumulada em 24 horas para as previsões dos casos de SF do SREPT.

Os índices de desempenho das previsões probabilísticas da PNMM e da temperatura em 850 hPa são apresentados nas Figuras 4.58 e 4.59, respectivamente.

Para a PNMM, o valor da componente confiabilidade do SREPT diminui com a integração. Os valores de confiabilidade do SREPT são muito menores que os valores do SREPH. O valor da componente resolução do SREPT é pequeno, mas com valores comparáveis tanto com os valores da resolução do SREPH quanto com os valores do SREPF. O valor da componente incerteza do SREPT diminui nos horários finais de integração. O índice *BS* do SREPT diminui com o prazo de integração, indicando melhor desempenho nos horários finais de previsão. Os valores do índice *BS* são comparáveis ao do SREPF e indicam melhor desempenho que o SREPH. Os valores do índice *BSS* são muito pequenos e menores que os valores do SRPF e SREPH.

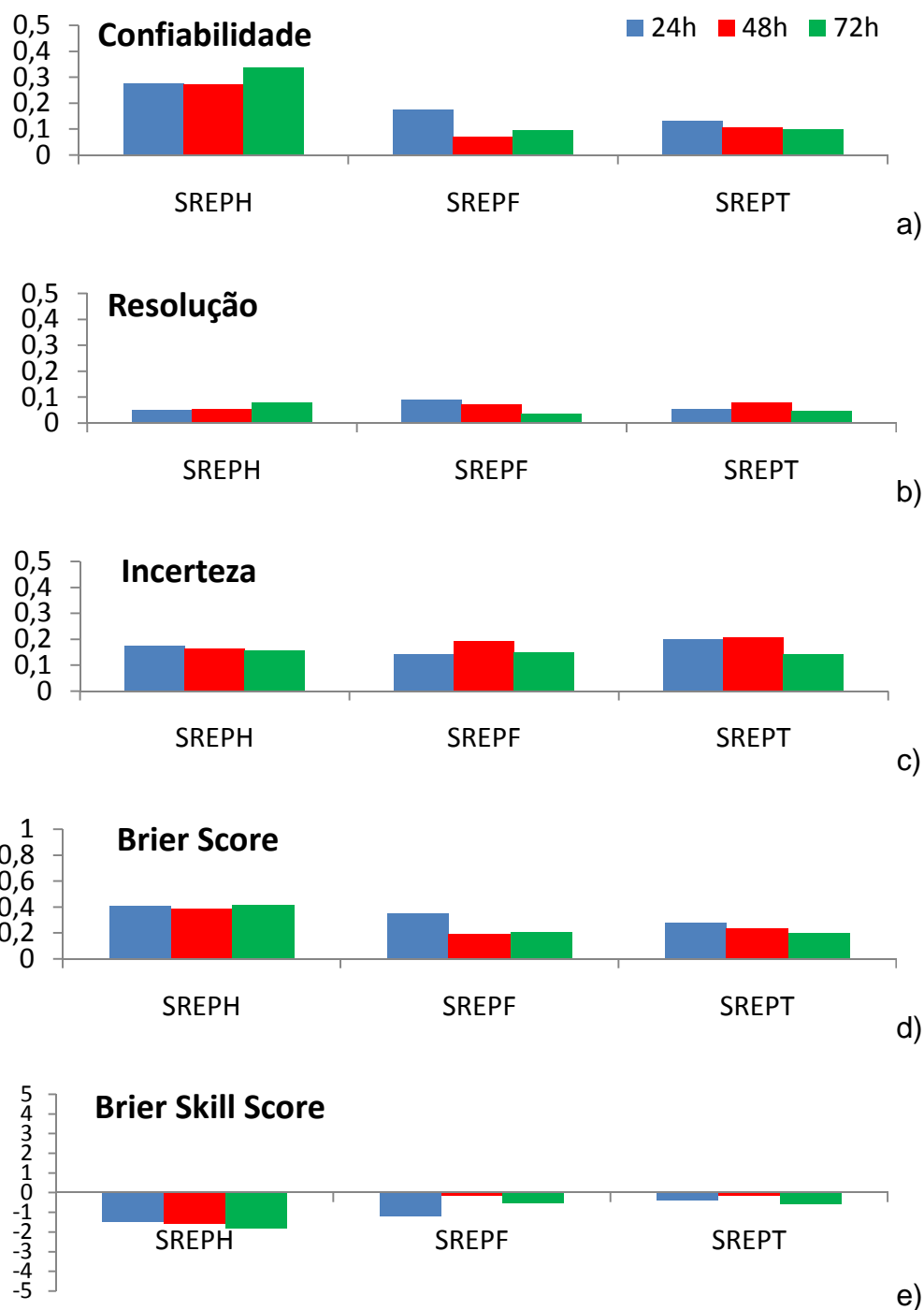


Figura 4.58 – Brier Score PNMM dos casos de Sistema Frontal dos membros do SREPH, SREPF e SREPT. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.

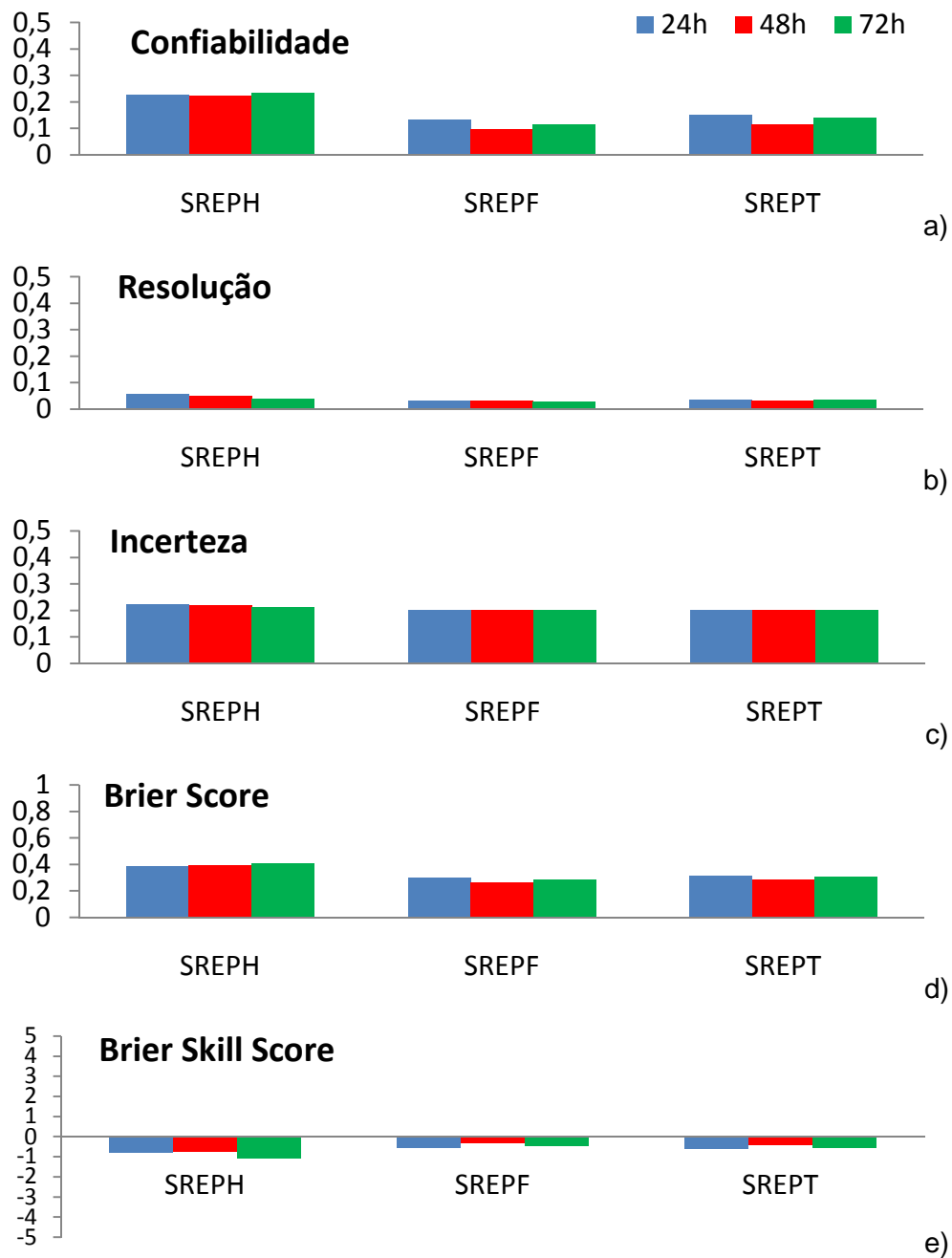


Figura 4.59 – Brier Score da TEMP dos casos de Sistema Frontal dos membros do SREPH, SREPF e SREPT. Componentes: a) confiabilidade; b) resolução; c) incerteza; d) Brier Score; e) Brier Skill Score.

Para a variável TEMP (Figura 4.59), o valor da componente confiabilidade do SREPT tem ligeira queda com o avanço do prazo de previsão. Os valores da confiabilidade do SREPT são menores que os valores do SREPH e comparáveis aos valores do SREPF. A componente resolução do SREPT tem valor pequeno, mas comparáveis com os valores tanto do SREPH quanto do SREPF. O valor da componente incerteza do SREPT mantém-se constante

durante a integração com valores comparáveis ao SREPF e inferiores ao SREPH. O índice *BS* do SREPT diminui ligeiramente com o prazo de integração com ganho do desempenho em termos de índice *BS* e com valores comparáveis aos do SREPF e menores aos do SREPH. Os valores do índice *BSS* são pequenos e menores que os valores do SREPH.

4.3 Comparação da Previsibilidade dos Casos ZCAS versus Casos SF

Os principais resultados das avaliações dos três experimentos estão reunidos nas tabelas a seguir. A comparação entre os valores do ETS dos casos de ZCAS (Figura 4.43) e dos casos de SF (Figura 4.53) indicam que há uma sensível diferença em termos de previsibilidade dos dois fenômenos quando metodologias de previsão por conjunto são aplicadas. Os valores do índice ETS dos dois fenômenos podem ser comparados na Tabela 4.4. Os valores destacados em amarelo indicam os maiores valores quando é feita a comparação entre os dois fenômenos avaliados, ZCAS e Sistemas Frontais. Os valores destacados em negrito referem-se ao experimento que apresentou melhor desempenho para cada tipo de evento estudado.

Nota-se que em todas as categorias de precipitação que os valores do ETS dos casos de ZCAS são significativamente maiores que os valores do ETS dos casos de SF. Este pode ser um indicativo de maior previsibilidade dos eventos de Zona de Convergência do Atlântico Sul em comparação aos eventos de passagem do sistema frontal, pelo menos em termos de previsão de precipitação. Quando o fenômeno meteorológico envolvido é um sistema frontal há um desempenho melhor para a metodologia SREPF e SREPT em comparação à metodologia SREPH (valores realçados em negrito na tabela 4.3). O melhor desempenho do SREPF está associado ao emprego de diferentes esquemas convectivos na composição do ensemble de física. O mesmo ocorre quando o fenômeno envolvido é uma ZCAS.

Tabela 4.4 - Valores do índice ETS para os casos de ZCAS e SF dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

Limiar de Chuva (mm)	Sistema Frontal			Zona Convergência Atlântico Sul		
	SREPT	SREPH	SREPF	SREPT	SREPH	SREPF
0,25	0,49	0,49	0,50	0,54	0,54	0,56
2,54	0,43	0,42	0,43	0,51	0,50	0,52
6,35	0,34	0,33	0,34	0,44	0,43	0,45
12,70	0,24	0,24	0,25	0,34	0,33	0,34
19,05	0,17	0,16	0,17	0,25	0,24	0,25
25,40	0,10	0,08	0,11	0,18	0,18	0,20
38,10	0,04	0,03	0,06	0,12	0,11	0,12
50,80	0,02	0,01	0,03	0,09	0,07	0,11

As comparações entre o desempenho em termos de RMSE é apresentado nas Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7, para as variáveis PNMM, temperatura e umidade específica em 850 hPa, respectivamente. Valores menores de RMSE indicam melhor desempenho e estão destacados em amarelo o fenômeno meteorológico que apresentou melhor desempenho. Os valores em negrito indicam o experimento que apresentou melhores resultados nos 4 casos avaliados. Também é feita uma comparação com o RMSE da previsão controle. Quando a previsão controle apresenta menor valor de RMSE é destacada em vermelho. Para fins comparativos entre os dois fenômenos estudados são apresentados apenas os resultados das primeiras 72 horas de previsão.

Para a variável PNMM (Tabela 4.5), para a maioria dos horários de previsão, o melhor desempenho em termos de RMSE é apresentado quando o fenômeno Sistema Frontal está atuando. Nos casos de sistemas frontais, até 30 horas, a vantagem é do SREPF e SREPT em relação ao SREPH, porém nos horários finais da previsão o SREPH apresenta melhor desempenho que o SREPF e o SREPT. Em geral, os resultados de pelo menos um dos 3 experimentos apresenta RMSE do EM menor que o RMSE previsão controle (valores em negrito). Nos casos de ZCAS, há um predomínio do desempenho do SREPF na maioria dos horários de previsão (valores em negrito).

Para a variável TEMP (Tabela 4.6), há uma alternância de desempenho, porém nas 12 horas finais de previsão o desempenho dos casos de Sistema Frontal é melhor quando comparado aos casos de ZCAS. Para os dois fenômenos estudados os valores do RMSE da previsão controle são, na maioria dos horários, maiores que o dos experimentos SREPH, SREPF e SREPT. O SREPT é também o experimento que apresenta menor RMSE em comparação ao SREPH e SREPF, em cada um dos fenômenos estudados.

Tabela 4.5 - Valores do RMSE do ensemble médio da PNMM (hPa) para os casos de ZCAS e SF dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

PNMM	Sistema Frontal			Previsão Controle	Zona de Convergência Atlântico Sul			Previsão Controle
	Previsão	SREPT	SREPH		SREPF	SREPT	SREPH	
6h	0,878	0,950	0,848	0,872	0,943	1,053	0,890	0,952
12h	0,958	0,958	0,970	0,968	0,990	1,065	0,953	1,006
18h	0,955	1,055	0,910	0,908	1,178	1,318	1,090	1,16
24h	1,045	1,068	1,083	1,11	0,895	1,005	0,863	0,898
30h	1,025	1,123	1,030	1,098	1,090	1,138	1,098	1,094
36h	1,268	1,163	1,405	1,395	1,088	1,113	1,105	1,154
42h	1,118	1,138	1,153	1,148	1,283	1,343	1,275	1,302
48h	1,228	1,223	1,280	1,286	1,493	1,565	1,463	1,531
54h	1,288	1,283	1,335	1,328	1,523	1,553	1,518	1,559
60h	1,338	1,310	1,410	1,442	1,830	1,910	1,790	1,833
66h	1,415	1,408	1,465	1,476	1,735	1,778	1,728	1,790
72h	1,685	1,683	1,728	1,797	2,030	2,095	2,008	2,115

Para a variável UMES (Tabela 4.7) nota-se a maior vantagem em termos de RMSE dos casos de Sistema Frontal em relação aos casos de ZCAS até 60 horas de previsão. Nas últimas 12 horas de previsão a vantagem é das previsões dos casos de ZCAS. Em todos os horários de previsão o RMSE da previsão controle é maior que o RMSE dos experimentos. Nos casos de sistema frontal os menores valores de RMSE são apresentados pelos experimentos SREPF e SREPT. Nos casos de ZCAS o SREPT apresenta melhor desempenho que os experimentos SREPF e SREPH. O que mostra que o aumento do tamanho do conjunto proporciona menores erros da previsão tanto em eventos de SF ou de ZCAS.

Tabela 4.6 - Valores do RMSE do ensemble médio da TEMP (°C) para os casos de ZCAS e SF dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

TEMP	Sistema Frontal			Previsão Controle	Zona de Convergência Atlântico Sul			Previsão Controle
	Previsão	SREPT	SREPH		SREPF	SREPT	SREPH	
6h	0,593	0,638	0,600	0,695	0,608	0,658	0,615	0,721
12h	0,675	0,725	0,698	0,833	0,658	0,683	0,685	0,781
18h	0,695	0,725	0,725	0,852	0,655	0,690	0,685	0,786
24h	0,633	0,683	0,648	0,773	0,670	0,663	0,715	0,768
30h	0,765	0,813	0,775	0,924	0,745	0,765	0,773	0,854
36h	0,750	0,788	0,768	0,894	0,743	0,780	0,755	0,857
42h	0,823	0,870	0,830	0,975	0,823	0,873	0,828	0,924
48h	0,880	0,940	0,875	1,017	0,810	0,855	0,813	0,923
54h	0,935	0,990	0,933	1,094	0,950	0,978	0,973	1,061
60h	0,968	1,018	0,978	1,134	0,995	1,030	1,013	1,104
66h	0,978	1,030	0,983	1,141	1,033	1,090	1,040	1,141
72h	1,030	1,090	1,030	1,184	1,075	1,113	1,090	1,187

Tabela 4.7 - Valores do RMSE do ensemble médio da UMES (g/kg) para os casos de ZCAS e SF dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

UMES	Sistema Frontal			Previsão Controle	Zona de Convergência Atlântico Sul			Previsão Controle
	Previsão	SREPT	SREPH		SREPF	SREPT	SREPH	
6h	0,775	0,838	0,775	0,980	0,848	0,903	0,863	1,061
12h	0,818	0,895	0,845	1,114	0,895	0,935	0,945	1,127
18h	0,848	0,963	0,855	1,121	0,920	1,015	0,933	1,115
24h	0,855	1,005	0,8523	1,127	0,920	1,038	0,913	1,089
30h	1,003	1,088	1,025	1,323	1,070	1,140	1,088	1,338
36h	1,108	1,165	1,145	1,435	1,140	1,208	1,160	1,395
42h	1,125	1,220	1,133	1,409	1,155	1,215	1,173	1,358
48h	1,133	1,253	1,118	1,397	1,153	1,233	1,160	1,367
54h	1,188	1,258	1,220	1,545	1,233	1,325	1,253	1,489
60h	1,273	1,345	1,310	1,653	1,365	1,443	1,390	1,658
66h	1,370	1,455	1,388	1,697	1,358	1,435	1,385	1,652
72h	1,380	1,495	1,370	1,688	1,345	1,455	1,350	1,647

A comparação do espalhamento dos casos estudados para as variáveis PNMM, TEMP e UMES são apresentadas nas Tabelas 4.8, 4.9 e 4.10. O maior espalhamento entre os fenômenos estudados é destacado em amarelo. Para a PNMM, em geral, o espalhamento é maior nos casos de sistema frontal até 18 horas para, após este horário o espalhamento é maior nos casos de ZCAS. O experimento SREPT, é o experimento com maior espalhamento em quase

todos os horários de previsão nos casos de ZCAS. Enquanto que nos casos de SF o maior espalhamento ocorre no experimento SREPH. Para a variável TEMP, (Tabela 4.9) nos casos de ZCAS ocorre maior espalhamento no experimento SREPF para os horários mais avançados de previsão. Entre 12 e 42 horas o maior espalhamento ocorre nos casos de SF para o experimento SREPH. Como visto anteriormente os experimentos de incertezas da condição inicial contribuem com valores altos de espalhamento no início das previsões. Para a variável umidade específica em 850 hPa inicialmente o espalhamento, até 18 horas de previsão, é maior nos casos de ZCAS. Após 24 horas de previsão o espalhamento é maior nos casos de passagem de sistemas frontais. Praticamente em todos os horários e para os dois fenômenos estudados, o espalhamento é, em geral, maior para o experimento SREPF.

Tabela 4.8 - Valores do espalhamento do ensemble da PNMM (hPa) para os casos de ZCAS e SF dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

PNMM	Sistema Frontal			Zona de Convergência Atlântico Sul		
	Previsão	SREPT	SREPH	SREPF	SREPT	SREPH
0h	0,115	0,125	0,033	0,128	0,123	0,030
6h	1,455	1,515	0,558	1,340	1,360	0,513
12h	1,073	1,098	0,538	0,968	1,015	0,528
18h	1,055	1,143	0,595	0,968	0,873	0,608
24h	1,000	1,050	0,663	1,008	0,898	0,710
30h	0,993	1,048	0,740	1,250	0,975	0,753
36h	0,983	0,983	0,730	1,200	0,898	0,758
42h	0,950	0,905	0,793	1,138	0,933	0,803
48h	0,983	0,963	0,793	1,165	0,995	0,820
54h	0,943	1,018	0,848	1,333	1,155	0,975
60h	0,913	1,053	0,825	1,313	1,198	0,928
66h	0,935	1,123	0,873	1,408	1,373	1,020
72h	1,038	1,165	0,930	1,290	1,340	1,015

Tabela 4.9 - Valores do espalhamento do ensemble da TEMP (°C) para os casos de ZCAS e SF dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

PNMM	Sistema Frontal			Zona de Convergência Atlântico Sul		
	Previsão	SREPT	SREPH	SREPF	SREPT	SREPH
0h	1,073	1,255	0,310	1,225	1,180	0,253
6h	0,740	0,835	0,470	0,775	0,790	0,483
12h	0,667	0,713	0,528	0,648	0,678	0,528
18h	0,650	0,693	0,588	0,578	0,618	0,583
24h	0,633	0,655	0,593	0,528	0,573	0,615
30h	0,643	0,688	0,673	0,553	0,595	0,703
36h	0,620	0,680	0,685	0,553	0,588	0,710
42h	0,567	0,665	0,690	0,538	0,585	0,720
48h	0,553	0,665	0,690	0,568	0,600	0,733
54h	0,580	0,760	0,765	0,620	0,658	0,798
60h	0,560	0,765	0,760	0,640	0,690	0,813
66h	0,553	0,738	0,748	0,643	0,685	0,818
72h	0,550	0,718	0,750	0,678	0,713	0,808

Tabela 4.10 - Valores do espalhamento da UMES (g/kg) para os casos de ZCAS e SF dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

PNMM	Sistema Frontal			Zona de Convergência Atlântico Sul		
	Previsão	SREPT	SREPH	SREPF	SREPT	SREPH
0h	0,985	0,985	0,986	1,024	1,024	1,025
6h	1,033	1,033	1,034	1,070	1,070	1,072
12h	0,999	0,998	1,001	1,022	1,022	1,025
18h	0,963	0,962	0,966	0,965	0,968	0,970
24h	0,941	0,941	0,944	0,927	0,928	0,933
30h	1,011	1,012	1,011	0,979	0,980	0,981
36h	0,972	0,972	0,973	0,934	0,936	0,937
42h	0,938	0,938	0,940	0,900	0,901	0,904
48h	0,912	0,913	0,916	0,883	0,884	0,888
54h	0,997	0,998	0,998	0,954	0,955	0,956
60h	0,961	0,961	0,964	0,925	0,926	0,928
66h	0,935	0,935	0,938	0,905	0,906	0,909
72h	0,918	0,918	0,921	0,893	0,894	0,898

As Tabelas de 4.11 a 4.18 indicam os valores das componentes confiabilidade, resolução e incerteza e do índice *Brier Score* para as variáveis PNMM e TEMP, para os casos de SF e ZCAS. Os valores destacados em amarelo correspondem ao melhor desempenho de cada experimento em relação ao fenômeno meteorológico. O menor valor de confiabilidade, incerteza e índice

BS e o maior valor da resolução entre os três experimentos de cada evento é destacado em negrito.

Para a PNMM, a componente confiabilidade do *BS* mostra, em geral, melhor desempenho nos casos de SF. Na comparação entre os experimentos há, em geral um melhor desempenho do SREPF e do SREPT (valores em negrito na Tabela 4.11), tanto para os casos de sistemas frontais como para os casos de ZCAS. A componente resolução, apesar de apresentar valores muito pequenos, tem melhor desempenho nos casos de ZCAS em comparação aos casos de passagem de sistema frontal, indicando nestes casos maior habilidade em distinguir entre os diferentes sistemas. Não há uma vantagem evidente de um experimento em relação aos outros. Os casos de ZCAS também indicam os melhores valores do índice *BS* do que os casos de sistema frontal. Os experimentos SREPF e SREPT indicam melhor desempenho que o experimento SREPH, nos casos de ZCAS e SF. Os melhores resultados em termos de índice *BS* do SREPT refletem o aumento do número de membros.

Tabela 4.11 - Índice Brier Score; componente confiabilidade dos casos de sistema frontal e ZCAS da variável PNMM dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

confiabilidade	Sistema Frontal			Zona de Convergência Atlântico Sul		
	SREPT	SREPH	SREPF	SREPT	SREPH	SREPF
Previsão						
24h	0,132	0,277	0,173	0,092	0,305	0,285
48h	0,104	0,274	0,069	0,130	0,372	0,270
72h	0,100	0,337	0,094	0,108	0,332	0,342

Tabela 4.12 - Índice Brier Score; componente resolução dos casos de sistema frontal e ZCAS da variável PNMM dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

resolução	Sistema Frontal			Zona de Convergência Atlântico Sul		
	SREPT	SREPH	SREPF	SREPT	SREPH	SREPF
Previsão						
24h	0,052	0,051	0,090	0,098	0,074	0,106
48h	0,077	0,053	0,070	0,079	0,103	0,094
72h	0,045	0,079	0,036	0,063	0,087	0,060

Tabela 4.13 - Índice Brier Score; componente incerteza dos casos de sistema frontal e ZCAS da variável PNMM dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

incerteza	Sistema Frontal			Zona de Convergência Atlântico Sul		
	SREPT	SREPH	SREPF	SREPT	SREPH	SREPF
24h	0,199	0,177	0,141	0,167	0,159	0,170
48h	0,208	0,163	0,193	0,120	0,142	0,164
72h	0,141	0,157	0,150	0,131	0,144	0,124

Tabela 4.14 - Índice BS dos casos de SF e ZCAS da variável PNMM dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

BS	Sistema Frontal			Zona de Convergência Atlântico Sul		
	SREPT	SREPH	SREPF	SREPT	SREPH	SREPF
24h	0,278	0,402	0,354	0,161	0,389	0,121
48h	0,236	0,383	0,193	0,171	0,411	0,191
72h	0,197	0,416	0,208	0,177	0,389	0,214

Para as previsões de TEMP, a componente confiabilidade mostra melhor desempenho nos casos de ZCAS. Entre os experimentos o SREPT é o que mostra menores valores de confiabilidade em relação aos experimentos SREPH e SREPF, indicando melhor desempenho. A componente resolução apresenta valores muito pequenos, com melhor desempenho nos casos de passagem de sistema frontal em comparação aos casos de ZCAS. A comparação entre os experimentos (valores em negrito) mostra vantagens do SREPF e SREPT em relação ao experimento SREPH, assim como nas previsões de PNMM provavelmente em função do aumento do número de membros.

Tabela 4.15 - Índice Brier Score; componente confiabilidade dos casos de sistema frontal e ZCAS da TEMP dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

confiabilidade	Sistema Frontal			Zona de Convergência Atlântico Sul		
	Previsão	SREPT	SREPH	SREPF	SREPT	SREPH
24h	0,145	0,225	0,131	0,085	0,250	0,133
48h	0,113	0,220	0,096	0,077	0,315	0,203
72h	0,140	0,232	0,115	0,077	0,280	0,126

Tabela 4.16 - Índice Brier Score; componente resolução: dos casos de sistema frontal e ZCAS da variável TEMP dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

resolução	Sistema Frontal			Zona de Convergência Atlântico Sul		
	Previsão	SREPT	SREPH	SREPF	SREPT	SREPH
24h	0,033	0,058	0,031	0,019	0,047	0,026
48h	0,032	0,047	0,031	0,013	0,029	0,090
72h	0,033	0,038	0,026	0,019	0,047	0,039

Tabela 4.17 - Índice Brier Score; componente incerteza: dos casos de sistema frontal e ZCAS da variável TEMP dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

incerteza	Sistema Frontal			Zona de Convergência Atlântico Sul		
	Previsão	SREPT	SREPH	SREPF	SREPT	SREPH
24h	0,199	0,220	0,200	0,153	0,192	0,136
48h	0,200	0,219	0,200	0,145	0,168	0,136
72h	0,200	0,211	0,200	0,134	0,181	0,145

Tabela 4.18 - Índice BS dos casos de sistema frontal e ZCAS da TEMP dos experimentos SREPT, SREPH e SREPF.

BS	Sistema Frontal			Zona de Convergência Atlântico Sul		
	Previsão	SREPT	SREPH	SREPF	SREPT	SREPH
24h	0,316	0,388	0,298	0,219	0,394	0,243
48h	0,281	0,392	0,265	0,209	0,454	0,249
72h	0,307	0,405	0,285	0,192	0,413	0,232

4.4 Previsão Determinística de Alta Resolução versus Previsões Probabilísticas com Resolução mais Baixa

Nesta subseção verificam-se as vantagens de se aplicar previsões por conjuntos com diversos membros sendo integrados com resolução baixa em detrimento de uma única previsão determinística com altíssima resolução. Além das integrações dos experimentos de previsão por *ensemble* dois estudos de caso com alta resolução foram realizados e são apresentados nesta seção. São feitas as comparações de duas rodadas determinísticas com 5 km de resolução com os resultados fornecidos pelo *ensemble* médio dos experimentos SREPH, SREPF e SREPT. Nesta comparação, são observados, principalmente o detalhamento fornecido pela previsão com alta resolução e o erro de cada previsão.

Foram rodados um caso de sistema frontal (ANGRA2002) e um caso de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS2000). Estes casos foram escolhidos em função do alto índice pluviométrico ocorrido. No caso ZCAS2000 os núcleos mais intensos de precipitação ocorreram na Serra da Mantiqueira, acima de 324 mm em Campos do Jordão, e no litoral com núcleos acima de 179 mm em Ubatuba, 278 mm em Angra dos Reis e 180 mm no Rio de Janeiro. No caso ANGRA2002 os núcleos mais intensos são em Ubatuba e Angra dos Reis com valores superiores a 150 mm. Uma avaliação subjetiva do campo de precipitação previsto em comparação aos valores ocorridos, bem como uma avaliação estatística do RMSE das variáveis PNMM, temperatura e umidade específica em 850 hPa de cada rodada serão apresentados a seguir. Apenas uma parte do domínio é apresentada com o intuito de observar detalhadamente para a região de maior interesse deste trabalho sobre a Serra do Mar, a Serra da Mantiqueira e o litoral dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo.

- **Caso ZCAS2000**

A Figura 4.60 mostra o padrão espacial do campo de precipitação do caso ZCAS2000. Na linha do topo (Figuras 4.60a-d) estão plotados os campos de precipitação acumulada em 168 horas (6 dias) de previsão, enquanto que nas

demais linhas estão plotados os campos de precipitação acumulada a cada 24 horas para o primeiro (24h), terceiro (72h) e sexto (144h) dias de previsão. A precipitação acumulada em 6 dias apresenta um padrão relativamente semelhante do *ensemble* médio para os três experimentos, com máximos acima de 200 mm na região litorânea e no sul de Minas Gerais. Os *ensembles* médios do SREPF e do SREPT apresentam maiores áreas sobre o sul de Minas Gerais com precipitação acima de 200 mm do que o *ensemble* médio do SREPH. A previsão determinística apresenta um detalhamento muito maior dos núcleos acima de 200 mm localizando-os principalmente, no litoral e na região do Vale do Paraíba.

A evolução da previsão de precipitação acumulada em 24 horas pode ser acompanhada na Figura 4.60e-q. O padrão a cada dia é bastante parecido, porém há um maior detalhamento da previsão determinística que, no geral, apresenta núcleos de chuva mais localizados que os padrões dos *ensembles* médios. A presença da ZCAS torna-se evidente a partir das 72 horas de previsão, sendo que a banda de chuvas é prevista mais uniforme nas previsões dos *ensembles* médios. A previsão determinística estende as chuvas para o litoral do estado do Rio de Janeiro, enquanto que as previsões do *ensemble* médio concentram as chuvas no litoral paulista em praticamente todos os horários de previsão. Nos horários finais da previsão, os *ensembles* médios tendem a deslocar a posição do sistema frontal da ZCAS para a região central do litoral paulista.

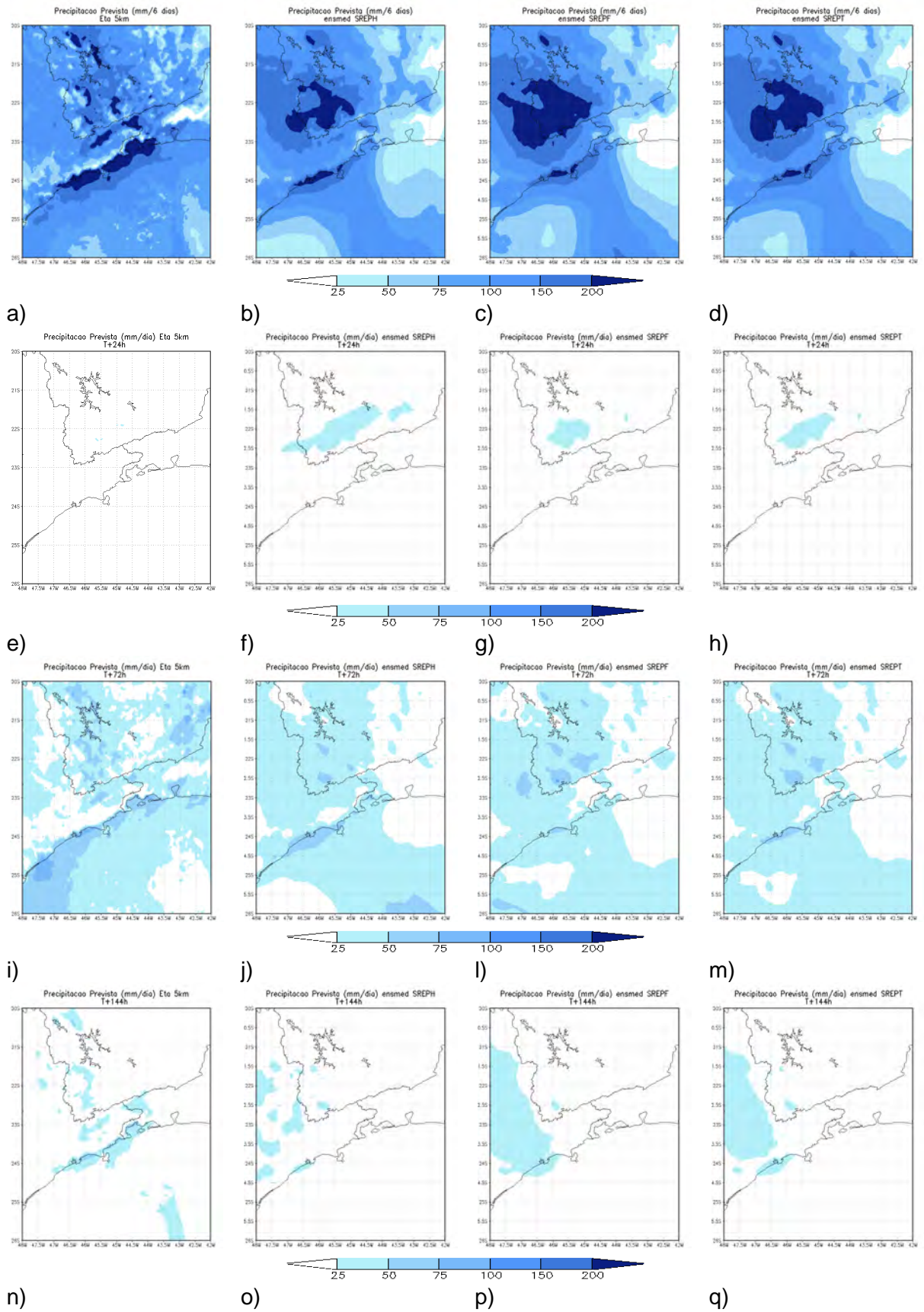


Figura 4.60 – Previsões de precipitação da previsão determinística e do ensemble médio do SREPH, SREPF e SREPT do caso ZCAS2000 acumulada em: a-d) 6 dias; e-q) acumulada em 24 horas para os prazos de previsão de 24, 72 e 144 horas.

As comparações destas previsões são feitas em relação aos valores observados e apresentadas na Figura 4.61. Na coluna da esquerda está o total de precipitação prevista nos 6 dias de integração de cada experimento em sombreado e a precipitação ocorrida, também acumulada em 6 dias, em alguns pontos é marcado com seus respectivos valores. Estes pontos correspondem às estações meteorológicas de superfície e estão localizados principalmente no litoral dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, Serra do Mar e Serra da Mantiqueira. Na coluna da direita estão as diferenças entre as previsões e as observações acumuladas em 6 dias.

Os núcleos mais intensos de precipitação ocorreram na Serra da Mantiqueira e no litoral, mais precisamente em Ubatuba, Angra dos Reis e Rio de Janeiro. Nota-se que tanto a previsão determinística quanto as previsões do *ensemble* médio subestimaram a precipitação prevista sobre a divisa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Por outro lado, ocorre superestimativa de previsão da precipitação no litoral paulista e no noroeste do estado de São Paulo. A previsão determinística (Figura 4.61a) foi a que menos subestimou a precipitação no litoral do Rio de Janeiro, pois indica previsões em torno de 100 mm, porém é a que mais superestima no litoral paulista. A previsão do *ensemble* médio dos 3 experimentos indica padrão muito semelhante entre si, porém com diferenças significativas em termos de quantidade. Os *ensembles* médios subestimam a precipitação sobre o estado do Rio de Janeiro. Nos 3 experimentos o máximo de chuva prevista está em torno de 50 mm, enquanto o ocorrido ultrapassa os 170 mm. Em Angra dos Reis, a previsão é de 100 a 150 mm e ocorreu precipitação acima de 270 mm. Esta subestimativa ocorre em função do posicionamento médio do sistema frontal ter sido previsto deslocado para sul, próximo ao litoral do estado de São Paulo, inclusive com uma ondulação do sistema frontal ocorrendo nos horários finais da integração. A previsão determinística, por seu maior detalhamento dos núcleos de precipitação, indica chuvas distribuídas ao longo de toda costa o que favoreceu a previsão de precipitação sobre o litoral do Rio de Janeiro. A comparação

entre os 3 experimentos indica que o SREPH é o que apresenta menores diferenças positivas ou negativas.

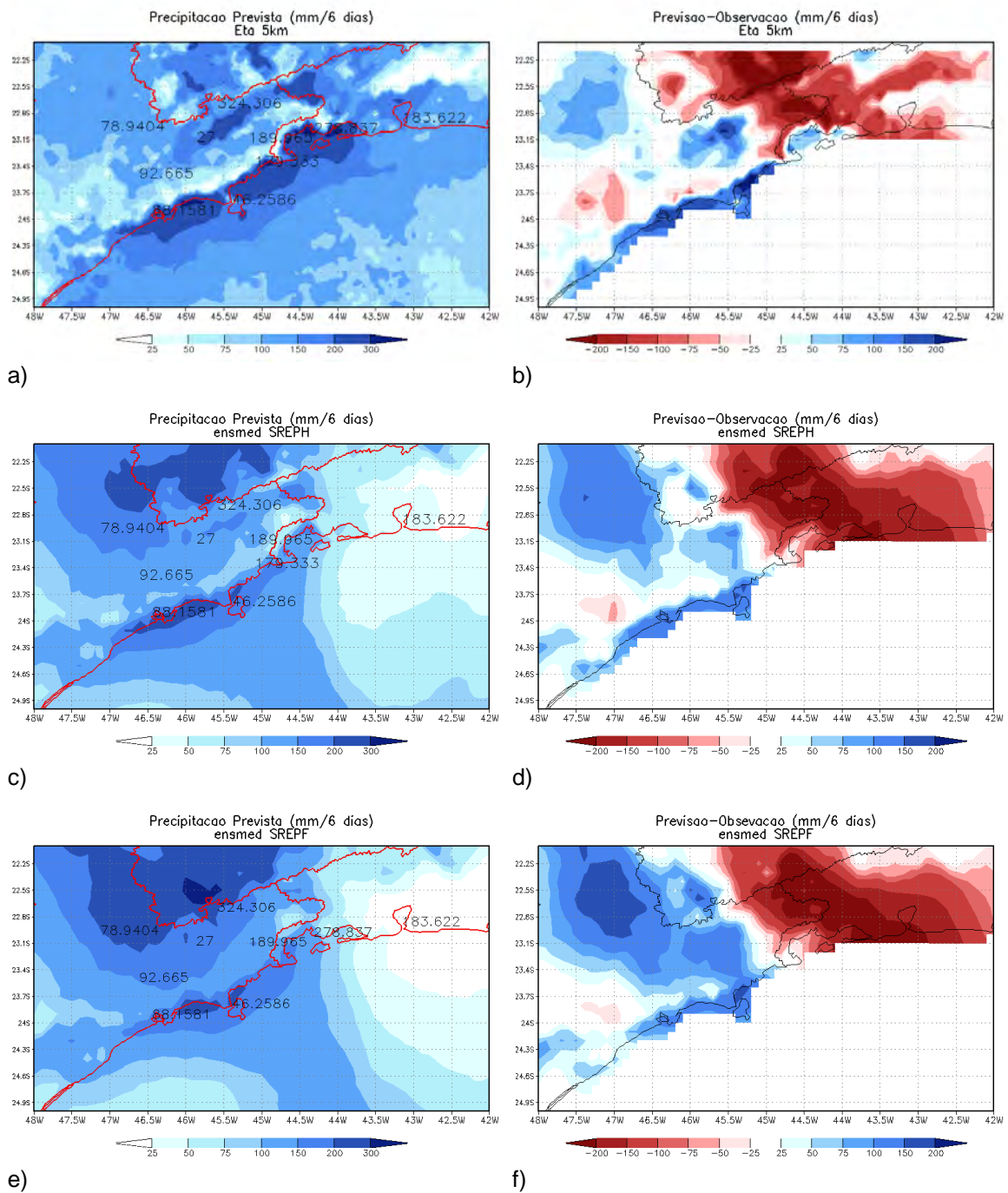
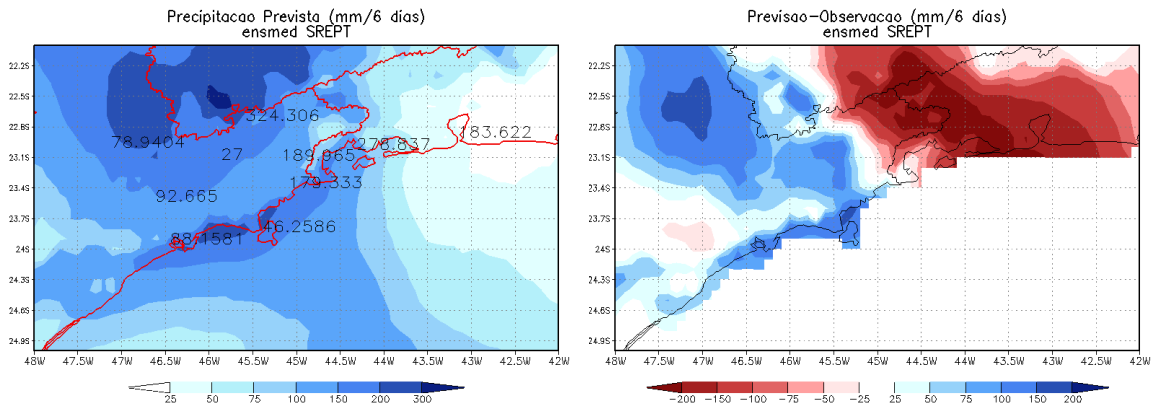


Figura 4.61 – Precipitação acumulada em 144 horas do caso ZCAS2000. Previsão (em sombreado) e valores observados (em números): a) previsão determinística; c) EM do SREPH; e) EM do SREPF; g) EM do SREPT. Diferença entre a previsão e a observação: b) previsão determinística; d) EM do SREPH; f) EM do SREPF; h) EM do SREPT.



g)
Figura 4.61 – Conclusão.

h)

- **Caso ANGRA2002**

As previsões do caso ANGRA2002 mostram diferenças significativas entre os experimentos (Figura 4.62). As previsões acumuladas em 3 dias do *ensemble* médio indicam maiores quantidades de precipitação, principalmente sobre o litoral, do que a previsão determinística que coloca apenas alguns núcleos mais intensos sobre o litoral paulista. Neste caso, os maiores índices observados ocorreram nas cidades Ubatuba e Angra dos Reis. As previsões a cada 24 horas (Figuras 4.62e-q) indicam padrões semelhantes entre os experimentos. No primeiro dia de previsão, pode-se notar a aproximação da banda de nebulosidade do sistema frontal, que no segundo dia de previsão atua sobre o litoral paulista com previsões do EM indicando maior quantidade de precipitação que a previsão determinística. No terceiro dia o sistema frontal avança na direção do litoral do Rio de Janeiro e são previstas precipitações acumuladas em 24 horas em torno de 50 a 75 mm pela previsão determinística e pelo EM do SREPH e entre 75 e 100 mm pelo EM do SREPF e SREPT. Para 72 horas de previsão os valores previstos pelo EM são mais próximos aos valores observados do que a previsão determinística. Nota-se que a previsão determinística diminui sensivelmente a área de precipitação sobre o continente em relação às previsões do EM dos três experimentos.

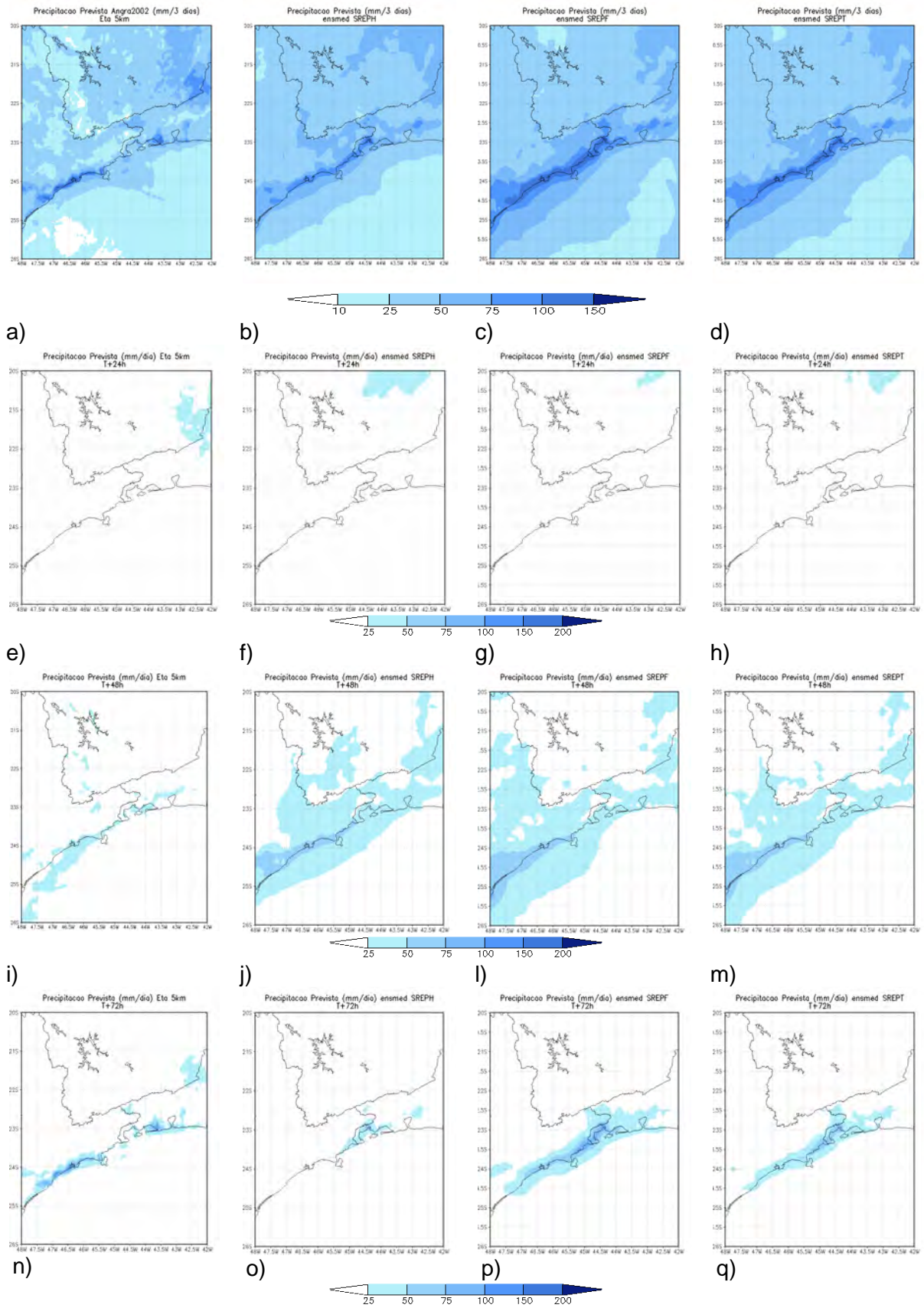


Figura 4.62 – Previsões de precipitação da previsão determinística e do ensemble médio do SREPH, SREPF e SREPT do caso ANGRA2002 acumulada em: a-d) 3 dias; e-q) 24 horas.

A comparação entre valores previstos e observados acumulados em 3 dias é apresentada na Figura 4.63. O principal núcleo de precipitação ocorreu em Ubatuba com precipitações acima de 230 mm, núcleos intensos também ocorreram em Angra dos Reis (acima de 60 mm), São Luis do Paraitinga (acima de 120 mm), São Sebastião (acima de 69 mm) e núcleos menos intensos em Santos (acima de 36 mm). Apesar dos resultados apresentados serem acumulados em 3 dias, é importante ressaltar que a maior parte da precipitação ocorreu nos horários finais da previsão em 48 e 72 horas, o que caracteriza o caso como evento severo.

Em todas as previsões é observado padrão de diferenças entre previsão e observação semelhantes. As previsões são subestimadas na região de Ubatuba e superestimadas em grande parte do litoral sul paulista. A previsão determinística subestimou a precipitação na região de Ubatuba em mais de 150 mm, os experimentos de EM subestimaram entre 100 e 150 mm. Porém, nota-se que o SREPF mostra uma região menor de subestimativa. O EM do SREPH indica menor superestimativa sobre o litoral sul paulista e interior que o SREPF, SREPT e a previsão determinística.

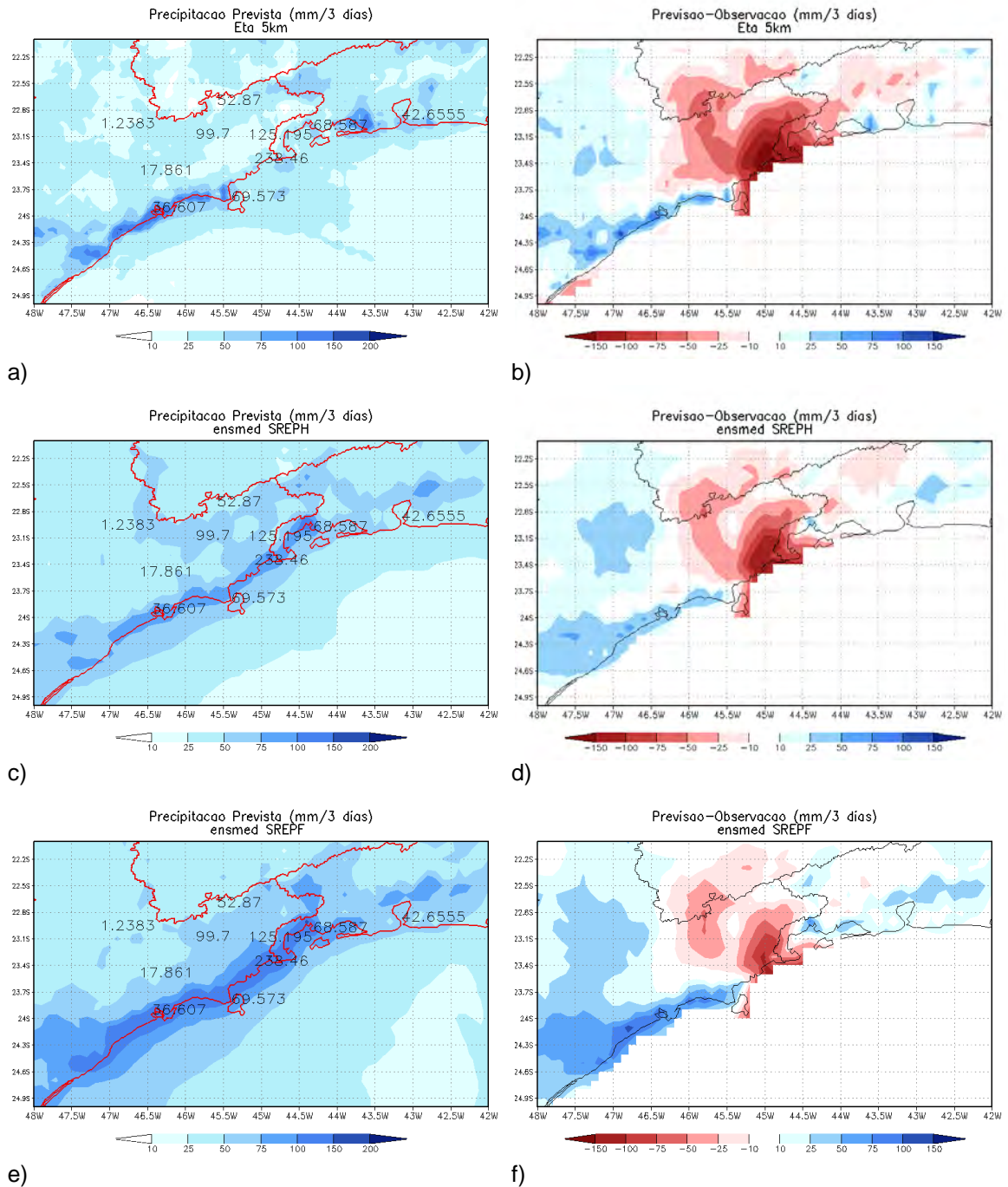


Figura 4.63 – Precipitação acumulada em 72 horas do caso ANGRA2002. Previsão (em sombreado) e valores observados (em números): a) previsão determinística; c) EM do SREPH; e) EM do SREPF; g) EM do SREPT. Diferença entre a previsão e a observação: b) previsão determinística; d) EM do SREPH; f) EM do SREPF; h) EM do SREPT.

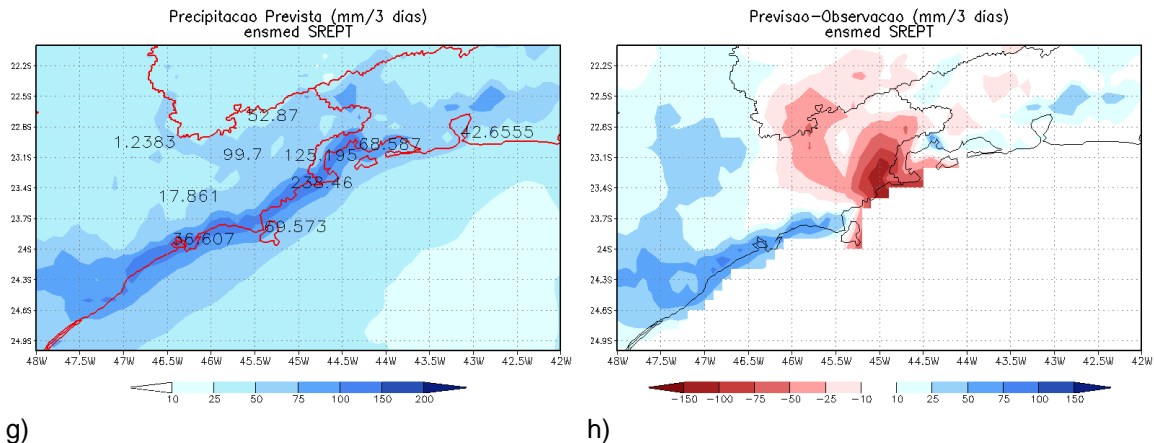


Figura 4.63 – Conclusão.

A seguir são apresentados os valores do RMSE da previsão determinística em comparação ao RMSE do *ensemble* médio de cada experimento e da previsão controle (Figura 4.64). Na coluna da esquerda estão os resultados do RMSE do caso ANGRA2002 e na coluna da direita estão os resultados do caso ZCAS2000. Foram avaliadas as variáveis TEMP, UMES e PNMM.

No caso ANGRA2002, os valores do RMSE da temperatura em 850 hPa da previsão determinística (curva em laranja) são maiores em praticamente todos os horários de previsão em comparação ao EM dos experimento e a previsão controle, exceto nas últimas 12 horas de previsão (Figura 4.64a). O mesmo comportamento de RMSE da temperatura é observado no caso ZCAS2000 (Figura 4.64b), porém o RMSE tanto das previsões probabilísticas, quanto da previsão controle tornam-se maiores nas últimas 24 horas de previsão. A umidade específica em 850 hPa apresenta RMSE da previsão determinística maior que os valores do RMSE das demais previsões, exceto nas últimas 12 e 24 horas, para o caso ANGRA2002 e para o caso ZCAS2000, respectivamente. O campo de PNMM para o caso ANGRA2002 tem RMSE da previsão determinística menor que as demais previsões até 48 horas de integração. Após este horário os valores do RMSE da previsão determinística torna-se maior que as demais previsões. Para o caso ZCAS2000 os valores do RMSE da previsão probabilística são maiores que as demais previsões em todos os horários.

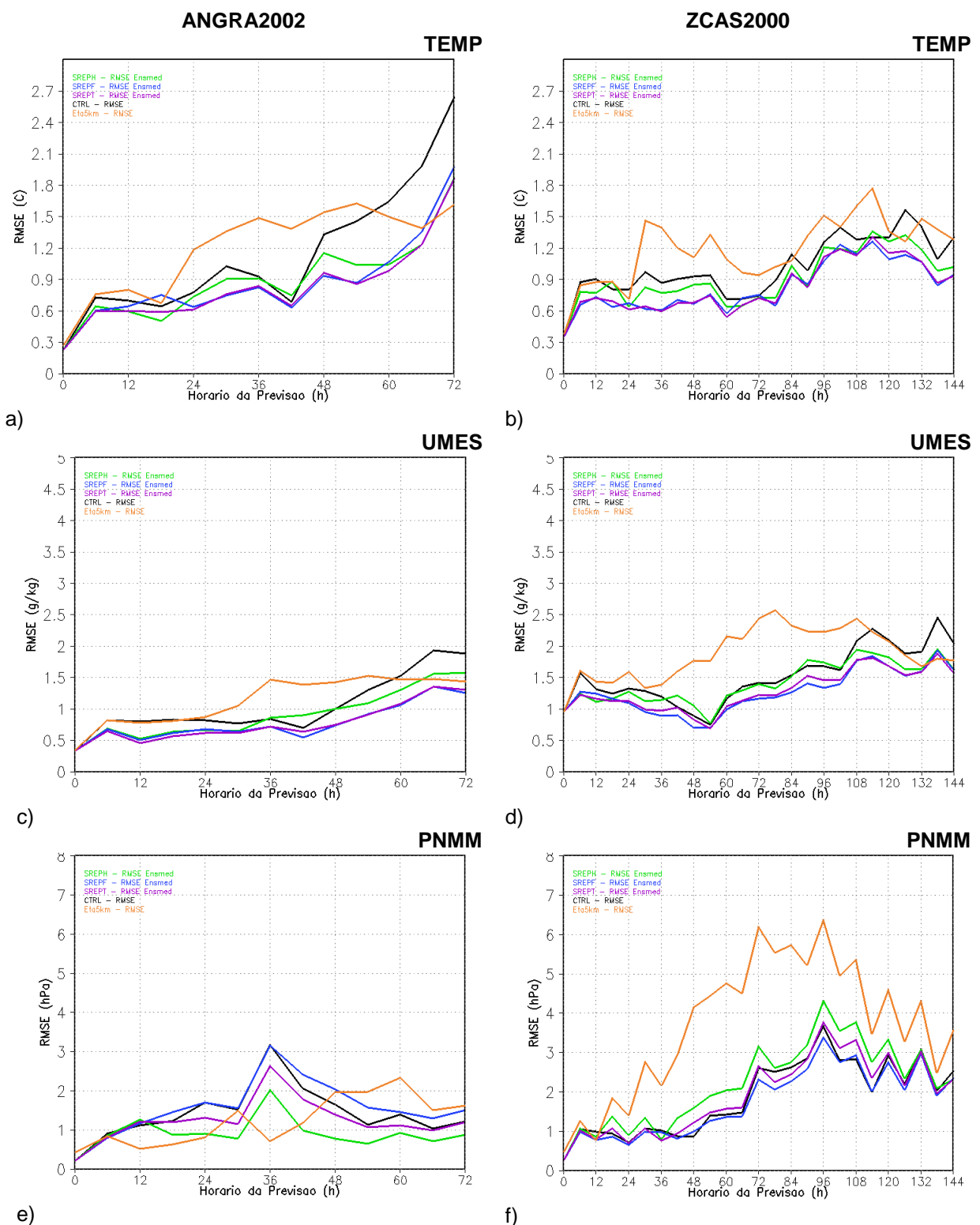


Figura 4.64 – RMSE do caso ANGRA2002 para as variáveis: a) temperatura em 850 hPa; c) umidade específica em 850 hPa; e) pressão ao nível médio do mar. RMSE do caso ZCAS2000 para as variáveis: a) temperatura em 850 hPa; c) umidade específica em 850 hPa; e) pressão ao nível médio do mar. SREPH (linha verde); SREPF (linha azul); SREPT (linha roxa); Previsão Controle (linha preta); Eta 5km (linha laranja).

Apesar do maior detalhamento da previsão determinística, esta apresenta previsões de precipitação muito próximas às previsões fornecidas pelo EM dos experimentos. O padrão de erros em relação à precipitação ocorrida é semelhante para todas as previsões, porém, pode-se notar que o *ensemble* médio apresenta ligeira vantagem em relação à previsão determinística. Considerando que as previsões por *ensemble* agregam informações as previsões, tais como, probabilidade e confiabilidade, há uma vantagem em aplicar a previsão por conjunto. Por outro lado, os resultados do RMSE mostram, em geral, uma redução do RMSE das previsões do EM em relação à previsão determinística. O aumento de resolução de 10km das previsões probabilísticas para 5km da previsão determinística conduziu a maiores erros em todas as variáveis avaliadas nos dois casos, exceto para a PNMM do caso ANGRA2002.

5 CONCLUSÕES

Sistemas de previsão por conjunto utilizando modelos de previsão numérica globais têm seu principal foco nos aspectos de grande escala e são empregados em previsões de médio prazo. Estas previsões apresentam bons índices de desempenho, pois modelos numéricos de previsão de tempo tem se mostrado eficientes em prever ondas baroclínicas. No entanto, limitações quanto ao desempenho destes modelos são frequentes em situações onde aspectos de mesoescala estão envolvidos.

O uso de previsão por conjunto para curto prazo tem sido uma alternativa as limitações dos SPE de médio prazo principalmente quando o foco principal são as previsões de eventos severos. Diferentes metodologias têm sido aplicadas na construção de SPE de curto prazo combinadas com o emprego de modelos de alta resolução. No entanto, diversas questões permanecem em aberto principalmente quanto à melhor forma de incluir tanto as incertezas das condições iniciais quanto as incertezas dos erros dos modelos.

No presente trabalho foram testados 4 conjuntos de previsão de curto prazo utilizando o modelo Eta em situações de eventos extremos. Dois destes conjuntos foram conduzidos para a verificação do papel das incertezas nas condições iniciais (SREP e SREPH); um terceiro conjunto foi estruturado para incluir perturbações em decorrência das incertezas dos modelos (SREPF), e um quarto experimento, que é constituído da combinação dos conjuntos de previsões por incertezas das condições iniciais e erros do modelo, formando um último conjunto de previsões com um total de 11 membros (SREPT), possibilitando a avaliação do impacto do número de membros sobre as previsões por conjunto.

O aspecto de mesoescala foi abordado pela escolha de eventos meteorológicos considerados como severos. Foram escolhidos 4 casos de Zona de Convergência do Atlântico Sul e 4 casos com chuvas intensas associadas à passagem de sistemas frontais sobre a Região da Serra do Mar. O objetivo principal deste trabalho foi poder melhor compreender a

previsibilidade destes tipos de eventos aplicando diferentes metodologias de previsão por conjunto.

A inclusão de uma nova fonte de incertezas na condição inicial foi avaliada em uma primeira etapa. O experimento que inclui a perturbação de umidade específica acrescenta maiores incertezas às condições iniciais do que o método que considera apenas as perturbações dos campos iniciais de vento e temperatura, tanto para o EMP quanto para o ECP. Porém, independente da perturbação inicialmente introduzida sempre ocorrerá um crescimento das perturbações com o avanço do prazo de previsão. Nos experimentos SREP e SREPH, as perturbações tendem a ser equivalentes nos instantes finais, indicando que o crescimento das perturbações ocorre tanto na metodologia sem umidade (membros do SREP) quanto na metodologia com umidade (membros do SREPH). Há, portanto, uma grande dependência do ECP em relação ao EMP nos instantes iniciais que tende a diminuir com o avanço do prazo de integração. Isto ocorre principalmente quando é avaliada uma região específica dentro do domínio e diferentes tendências entre as metodologias de curto e médio prazo são notadas. Estas diferentes tendências nos campos de umidade são responsáveis por diferenças significativas no campo de precipitação.

O espalhamento do ECP é maior que o espalhamento do EMP nos dois experimentos de perturbação da condição inicial. No entanto a inclusão de uma nova fonte de perturbações não conduz a diferença muito grande entre o espalhamento das previsões do *ensemble* de curto prazo seco (SREP) e úmido (SREPH). Mesmo sendo próximos os resultados em termos de espalhamento ocorre uma diferença na influência deste espalhamento sobre a previsão da precipitação nos dois experimentos, com vantagens para o experimento úmido que altera o conteúdo de umidade da atmosfera desde os horários iniciais até o prazo final da previsão.

A escolha da melhor técnica de previsão por conjunto a ser aplicada mostrou que em termos de avaliação determinística para os experimentos SREP, SREPH, SREPF e SREPT os valores do RMSE do *ensemble* médio em geral,

são inferiores aos valores da previsão controle, tanto nos casos de ZCAS quanto nos casos de SF. Todas as avaliações indicam um período de forte ajuste do modelo nos horários iniciais de integração quando o crescimento do RMSE para todas as variáveis avaliadas é bastante acentuado. Após esta fase de ajuste, o crescimento do RMSE com o avanço do prazo de integração é mais suave.

Os resultados dos experimentos SREP e SREPH em termos de RMSE são relativamente próximos para os casos de ZCAS e de SF. O espalhamento das previsões nos casos de ZCAS é muito semelhante para o SREP e SREPH para todas as variáveis. Por outro lado, nos casos de SF o espalhamento das previsões é nitidamente maior para o SREPH em relação ao SREP principalmente para a umidade específica em 850 hPa. Este maior espalhamento ocorre em função da presença de características de mesoescala que são mais marcantes nos casos de sistemas frontais. Esta diferença do espalhamento não foi observada nos casos de ZCAS cujas características de grande escala são mais fortes do que na passagem de um sistema frontal.

O valor do RMSE da maioria das variáveis avaliadas é significativamente menor para o EM do SREPF em relação aos experimentos de incertezas na condição inicial SREP ou SREPH, principalmente nos casos de SF. O espalhamento nos instantes iniciais é praticamente zero para todas as variáveis em todos os casos, pois todos os membros do SREPF partem da mesma condição inicial. No entanto, na fase de ajuste do modelo o espalhamento das previsões cresce rapidamente e após algumas horas de integração apresentam um crescimento mais suave. Ou seja, nos instantes iniciais a taxa de crescimento do espalhamento do SREPF é significativamente maior que a taxa de crescimento do espalhamento do SREP ou SREPH. Após esta fase de ajuste, comparativamente aos experimentos de condição inicial a taxa de crescimento torna-se similar indicando que as duas metodologias incorporam erros à previsão com magnitudes próximas.

As mesmas características do SREP, SREPH e SREPF de redução dos valores do RMSE do *ensemble* médio em comparação à previsão controle e do

alto crescimento do RMSE na fase de ajuste, são notadas no SREPT. No entanto a redução do RMSE na temperatura e umidade específica é maior no SREPT, principalmente em relação ao SREPH. A comparação entre os experimentos indica vantagens do SREPF e SREPT em relação ao SREPH em termos de RMSE. Os casos de ZCAS têm menores valores de RMSE indicando maior previsibilidade dos eventos escolhidos do que os casos de SF. O espalhamento do SREPT é muito próximo ao espalhamento do SREPF e maior que o espalhamento do SREPH. A discrepância entre espalhamento e erro é menor para o SREPT em comparação ao SREPH, para as variáveis TEMP e UMES, indicando uma menor tendência do SREPT em ser sub-dispersivo.

A vantagem do SREPH em relação ao SREP também é notada nos índices objetivos de precipitação, porém nestes casos a vantagem é dos casos de ZCAS. O padrão de grande escala presente nos casos de ZCAS favorece a previsões mais acuradas dos núcleos de precipitação. No entanto, os índices do ETS e BIAS apontam, entre os 4 conjuntos, vantagem do SREPF, que é mais nítida nos casos de ZCAS que nos casos de SF. A inclusão de diferentes parametrizações de convecção ajudou a minimizar o erro de cada esquema convectivo e contribuíram para diminuir as tendências em superestimar ou subestimar as previsões de precipitação.

Em termos de avaliações probabilísticas as distribuições do diagrama de Talagrand são similares para os 4 experimentos, tanto nos casos de ZCAS, quanto nos casos de SF com tendência de previsões subestimadas de temperatura em 850 hPa e superestimadas de PNMM. Este bias positivo da PNMM pode estar sendo causado pelo bias negativo da temperatura. As distribuições das previsões de umidade específica são sub-dispersivas, enquanto que as distribuições de precipitação apresentam leve tendência em superestimar nos horários iniciais. No entanto, para o SREP e SREPH, nos casos de SF os diagramas indicam distribuições de temperatura mais homogêneas e distribuições de precipitação acumulada em 24 horas diminuindo a tendência de superestimativa das previsões com o avanço do prazo de previsão para o SREPH. As distribuições do diagrama de Talagrand

do SREPF, em geral, indicam uma diminuição dos percentuais de previsões com tendência em superestimar ou subestimar. Esta vantagem é mais claramente notada nas distribuições do SREPT, cujo diagrama de Talagrand da precipitação acumulada em 24 horas indica uma distribuição quase que homogênea das previsões para os dois fenômenos estudados, o que indica boa descrição da distribuição estatística das previsões. O experimento com maior número de membros (SREPT) diminui as deficiências dos experimentos isolados e melhora a distribuição das previsões, principalmente comparando-se ao experimento SREPH.

As componentes do Brier Score foram calculadas para as previsões de probabilidade de anomalias maiores ou menores do que um desvio padrão climatológico. Os valores da componente resolução são quase sempre menores que os valores da componente confiabilidade. Em razão disto, na maioria dos eventos de ZCAS e de SF, os valores do índice *BSS* são pequenos e negativos, para qualquer um dos experimentos, indicando que as previsões estão sempre próximas à frequência climatológica. Os resultados indicam que em média o ensemble de curto prazo não está apto em distinguir entre diferentes regimes. No entanto os resultados do SREPT e SREPF apresentam algum ganho de desempenho com valores do índice *BS* menores que os valores fornecidos pelo SREPH ou SREP. Uma alternativa para melhorar o desempenho do índice *BSS* pode ser através da aplicação de um método de correção estatística das previsões. As variáveis utilizadas para calcular este índice, PNMM e TEMP, apresentam tendências em superestimar e subestimar as previsões, respectivamente. Estas tendências podem estar contaminando os valores da componente confiabilidade.

Embora a metodologia de perturbação da condição inicial utilizada ter sido desenvolvida para previsões por conjunto com modelos globais, o uso das análises e das previsões perturbadas geradas por esta metodologia como condições iniciais e de contorno lateral na construção do sistema de previsões por conjunto com modelos de área limitada possibilitam a geração de previsões por *ensemble* de curto prazo com potencial de utilização e devem ser incluídas

como membros do SREPT. É nítida a vantagem do SREPF e SREPT em relação ao SREP e SREPH, em função da inclusão das incertezas dos modelos e do aumento do número de membros. Os resultados da comparação entre integrações de resolução mais alta e previsões probabilísticas indicam vantagens para estas últimas, apesar da menor resolução das previsões probabilísticas.

Os resultados indicam que a previsibilidade tanto dos eventos Zona de Convergência do Atlântico Sul, quanto dos Sistemas Frontais, pode ser conhecida pela aplicação da técnica de previsões por conjunto, devendo o sistema de previsões incorporar as duas fontes de erros: incertezas da condição inicial e incertezas da física dos modelos.

6 SUGESTÕES

Novas alternativas de perturbação da condição inicial devem ser testadas. Encontra-se em fase de implementação no CPTEC uma versão do *Local Ensemble Kalman Filter* para ser usado na assimilação de dados e na previsão por conjunto. Os membros deste novo sistema poderiam ser testados como condições iniciais do *ensemble* de curto prazo.

Novos membros do ensemble de incertezas dos modelos devem ser testados com alteração de outros esquemas de parametrização que vem sendo desenvolvidos no modelo Eta, tais como, o impacto da umidade do solo e dos processos da radiação.

Deve-se também rodar os conjuntos por um período contínuo, que permitam uma avaliação mais completa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTHES, R. A. A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. **Mon. Wea. Rev.**, v. 105, p. 270-286, 1977.

ATGER, F. Verification of intense precipitation forecasts from single models and ensemble prediction systems. **Nonlinear Proc. In Geop.**, v. 8, p. 401-417, 2001.

CARVALHO, P. R. B. **Inclusão da perturbação de momentum no esquema de parametrização de cumulus Kain-Fritsch e impactos sobre um caso de chuva convectiva**. 2007. 106 p. (INPE-15145-TDI/1277). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007.

BAUMHEFNER, D. P. The relationship between present large-scale forecast skill and new estimates of predictability error growth. In: HOLLOWAY, g., WEST, B. J. (eds.) . **Predictability of fluid motions** (La jolla Institute- 1983). New York: American Institute of Physics, 1984. 169-180.

BLACK, T. L. The New NMC mesoscale Eta Model: description and forecast examples, NMC Notes. **Weather and Forecasting**, v. 9, p. 256-278, 1994.

BOWLER, N.E.; ARRIBAS, A.; MYLNE, K. R.; ROBERTSON, K. R.; AND BEARE, S. E. The MOGREPS short-range ensemble prediction system. **Q. J. R. Meteorol. Soc.**, v. 134, p. 703-722, 2008.

BUIZZA, R. Potential forecast skill of ensemble prediction and spread and skill distributions of the ECMWF ensemble prediction system. **Mon. Wea. Rev.**, v.125, p. 99-119, 1997.

_____. Comparison of a 51-member low-resolution ($T_L399L61$) ensemble with a 6-member high-resolution ($T_L799L91$) lagged-forecast ensemble. **Mon. Wea. Rev.**, v. 136, p. 3342-3362, 2008.

BUIZZA, R.; PALMER, T. N. Impact of ensemble size on the skill and the potential skill of an ensemble prediction system. **Mon. Wea. Rev.**, v. 126, 9, p. 2503-2518, 1998.

- BUIZZA, R.; MILLER, M. J.; PALMER, T. N. Stochastic simulation of model uncertainties in the ECMWF ensemble prediction system. **Q. J. R. Meteorol. Soc.**, v. 125, p. 2887-2908, 1999.
- BUIZZA, R. P.; HOUTKAMER, P. L.; TOTH, Z.; PELLERIN, G.; WEI, M.; AND ZHU Y. A comparison of the ECMWF, MSC, and NCEP global ensemble prediction systems. **Mon. Wea. Rev.**, v. 133, p. 1076-1097, 2005.
- CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. Tempo e Clima no Brasil. Oficina de Textos, 463p, 2009.
- CHARNEY, J. G. Dynamical forecasting by numerical process. **Compendium of meteorology**. Boston: American Meteorological Society, 1951.
- CHEN, F.; JANJIC, Z. I.; AND MITCHEL K. Impact of atmospheric surface-layer parameterization in the new land-surface scheme of the NCEP mesoscale Eta Model. **Boundary Layer Meteorology**, v. 85, p. 391-421, 1997.
- CLARK, A. J.; GALLUS, W. A.; CHENG, T. C. Contributions of mixed physics versus perturbed initial/lateral boundary conditions to ensemble based precipitation forecast skill. **Mon. Wea. Rev.**, v. 136, p. 2140-2156, 2008.
- COLLE, B. A.; MASS, C. F.; WESTRICK, K. J. MM5 precipitation verification over the Pacific Northwest during the 1997-99 cool seasons. **Wea. Forecasting**, v. 15, p. 730-744, 2000.
- COUTINHO, M. M. **Previsão por conjuntos utilizando perturbações baseadas em componentes principais**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999, 136p.
- DALEY, R.; MAYER, T. Estimates of global analysis error from the global weather experiment observational network. **Mon. Wea. Rev.**, v. 114, p. 1642-1653, 1986.
- DU, J.; DIMEGO, G.; TRACTON, M. S.; ZHOU, B. **NCEP short-range ensemble forecasting (SREF) system: Multi-IC, multi-model and multi-physics approach**. [Available on line at http://www.emc.ncep.noaa.gov/mmb/SREF/srefWMO_2003.pdf.] 2003

_____. **The NOAA/NWS/NCEP short-range ensemble forecasting (SREF) system: Evaluation of an initial condition versus multiple model physics ensemble approach**, at 20th Conf. on Weather Analysis and forecasting/ 16th Conf. on Numerical Weather Prediction, Seattle, WA, Amer. Meteor. Soc., 21.3, 2004.

DU, J.; MCQUEEN, J.; DIMEGO, G.; TOTH, Z.; JOVIC, D.; ZHOU, B.; CHUANG, H. New dimension of NCEP short-range ensemble forecasting (SREF) system: Inclusion of WRF members, at WMO Expert Team Meeting on Ensemble Prediction System, Exeter, United Kingdom, WMO, 5pp, 2006

ECKEL, F. A.; MASS, C. F. Aspects of effective mesoscale, short-range ensemble forecasting. **Wea. Forecasting**, v. 20, p. 328-350, 2005

EVANS, R. E.; HARRISON, M. S. J.; GRAHAM, R. Joint medium-range ensembles from The Met. Office and ECMWF systems. **Mon. Wea. Rev.**, v. 128, p. 3104-3127, 2000.

FELS, S. B.; SCHWARZKOPF, M. D. The simplified exchange approximation: A new method for radiative transfer calculations. **J. Atmos. Sci.**, v. 32, p. 1475-1488, 1975.

FERRIER, B. S.; LIN, Y.; BLACK, T.; ROGERS, E.; DIMEGO, G. Implementation of a new grid-scale cloud and precipitation scheme in the NCEP Eta Model, at 15th Conference on Numerical Weather Prediction, San Antonio, TX, Amer. Meteor. Soc., 280-283. 2002

FRITSCH, J. M.; CHAPPELL, C. F. Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. part I: Convective parametrization. **J. Atmos. Sci.**, V. 37, P. 1722-1733, 1980.

FROGNER, I. L.; HAAKENSTAD H.; IVERSEN, T. Limited-area ensemble predictions at the Norwegian Meteorological Institute. **Quart. J. R. Meteorol. Soc.**, v. 132. p. 2785-2808, 2006

GALLUS, W. A. Eta simulation of three extreme precipitation events: Sensitivity to resolution and convective parameterization. **Wea. Forecasting**, v. 14, p. 405-426, 1999.

GARCIA-MOYA, J. A.; CALLADO, A.; SANTOS, C.; SANTOS, D.; SIMARRO, J. Multi-model ensemble for short-range predictability, 3rd International Verification Methods Workshop, ECMWF,

http://www.ecmwf.int/newsevents/meetings/workshops/2007/jwgv/workshop-presentation/index_poster.htm. 2007.

GOMES, J. L.; CHOU, S. C. Dependence of partitioning of model implicit and explicit precipitation on horizontal resolution. **Meteor. Atmos. Phys.**, DOI: 10.1007/s00703-009-0050-7, in press, 2009.

GRIMIT, E. P.; MASS, C. F. Initial results of a mesoscale short-range ensemble forecasting system over the Pacific Northwest. **Wea. Forecasting**, v.17, p. 192-205, 2002.

HAMILL, T. M.; COLLUCCI, S. J. Verification of Eta-RSM short range ensemble forecasts. **Monthly Weather Review**, v. 125, p. 1312-1327, 1997.

HOFFMAN, R. N.; KALNAY, E. Lagged average forecasting, an alternative to Monte Carlo forecasting. **Tellus**, v. 35, p. 100-118, 1983.

HOU, D.; KALNAY, E.; DROEGMEIER, K. K. Objective verification of the SAMEX'98 ensemble forecasts. **Mon. Wea. Rev.**, v. 129, p. 73-91, 2001.

JANJIC, Z.I. Non-linear advection schemes and energy cascade on semi-staggered grids. **Monthly Weather Review**, v. 112, p. 1234-1245, 1984.

_____. The step-mountain eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes. **Mon. Wea. Rev.**, v. 122, p. 927-945, 1994.

KAIN, J. S. The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. **J. Appl. Meteor.**, v. 43, p. 170–181, 2004.

KAIN, J. S.; FRITSCH, J. M. The role of the convective “trigger function” in numerical forecasts of mesoscale convective system. **Meteor. Atmos. Phys.**, v. 49, p. 93-106, 1992.

_____. Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. **The Representation of Cumulus Convection in Numerical Models**, **Meteor. Monogr.**, No. 24, Amer. Meteor. Soc., p. 165–170, 1993.

KANAMITSU, M.; EBISUZAKI, W.; WOOLLEN, J.; YANG, S. K.; HNILO, J. J.; FIORINO, M.; POTTER, G. L. NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2). **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 83, p. 1631-1643, 2002.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Rev. Bras. Meteo*, v. 3, p. 217-231, 1988.

LACIS A. A.; HANSEN, J. E. A parameterization of the absorption of solar radiation in earth's atmosphere. **J. Atmos. Sci.**, v. 31, p. 118-133. 1974.

LEGG, T. P.; MYLNE, K. H. Early warnings of severe weather from ensemble forecast information. **Wea. Forecasting**, v. 19, p. 891-906 , 2004.

LEITH, C. E. Theoretical skill of Monte Carlo forecast. **Monthly Weather Review**, v 102, p. 409-418, 1974.

LORENZ, E. N. Deterministic non-periodic flow. **J. Atmos. Sci.**, v. 20, p. 130-141, 1963.

MARSIGLI, C.; MONTANI, A.; NEROZZI, F.; PACCAGNELA, T.; MOLTENI, F.; BUIZZA, R. A strategy for high-resolution ensemble prediction. II: Limited-area experiments in four Alpine flood events. **Quart. J. R. Meteorol. Soc.**, v. 127, p. 2095-2115, 2001.

MARSIGLI, C.; MONTANI, A.; NEROZZI, F.; PACCAGNELA, T. Probabilistic high-resolution forecast of heavy precipitation over Central Europe. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 4, p. 315-322, 2004.

MARSIGLI, C.; BOCCANERA, F.; MONTANI, A.; PACCAGNELA, T. The COSMO-LEPS ensemble system: validation of the methodology and verification. **Nonlinear Proc. In Geop.**, v. 12, p. 527-536, 2005.

MARSIGLI, C.; MONTANI, A.; PACCAGNELLA, T. A spatial verification method applied to the evaluation of high-resolution ensemble forecasts. **Meteorol. Appl.**, v. 15, p. 125-143, 2008.

MCQUEEN, J.; DU, J.; ZHOU, B.; DIMEGO, G.; JUANG, H.; FERRIER, B.; MANIKIN, G.; ROGERS E.; BLACK, T; TOTH, Z. **Overview of the NOAA/NWS/NCEP Short Range Ensemble Forecast (SREF) system. NOAA/NWS/NCEP/Environmental Modeling Center.**
<http://www.emc.ncep.noaa.gov/mmb/SREF/reference.html>. March, 2004

MELLOR, G. L.; YAMADA, T. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. **Rev. Geophys. Space Phys.**, v. 20, p. 851-875, 1982.

MENDONÇA, A. M.; BONATTI, J. P. Experiments with EOF-Based perturbation method to ensemble weather forecasting in middle latitudes. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 08., Foz do Iguaçu (PR), Br. **Proceedings...** 2006. p. 1829-1832. CD-ROM. (INPE-13835-PRE/9017). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m15@80/2006/06.26.18.44>>. Acesso em: 18 fev. 2010.

_____. Experiments with EOF-based perturbations methods and their impact on the CPTEC/INPE ensemble prediction system. **Mon. Wea. Rev.**, v. 137, p. 1438-1459, 2009.

MESINGER, F. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. **Riv. Meteor. Aeronaut.**, v. 44, p. 195-202, 1984.

MESINGER, F.; JANJIC, Z. I.; NICKOVIC, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D. G. The step mountain coordinate: model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of an Appalachian redevelopment. **Monthly Weather Review**, v. 116; p. 1493-1518, 1988.

MESINGER, F.; BLACK, T. On the impact on forecast accuracy of the step-mountain (eta) vs. sigma coordinate. **Meteor. Atmos. Phys.**, v. 50, p. 47-60, 1992.

MESINGER, F.; JANJIC, Z. I.; NICKOVIC, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D. G. The step mountain coordinate: model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of an Appalachian redevelopment. **Mon. Wea. Rev.**, v. 116, p. 1493-1518, 1988.

MOLTENI, R.; BUIZZA, R.; PALMER, T. N.; PETROLIAGIS, T. The ECMWF ensemble prediction system: Methodology and validation. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc.**, v. 122, p. 73-119, 1996.

MOLTENI, F.; BUIZZA, R.; MARSIGLI, C.; MONTANI, A.; NEROZZI, F.; PACCAGNELA, T. A strategy for high-resolution ensemble prediction. I:

Definitions of representative members and global-model experiments. **Quart. J. R. Meteorol. Soc.**, v. 127, p. 2069-2094, 2001.

MONTANI, A.; MARSIGLI, C.; NEROZZI, F.; PACCAGNELLA, T.; TIBALDI, S.; BUIZZA, R. The Sotavento flood in Southern Italy: performance of global and Limited-area ensemble Forecasts. **Nonl. Proc. in Geo.**, v. 10, p. 261-274, 2003a.

MULLEN, S. L.; BAUMHEFNER, D. P. The impact of initial condition uncertainty on numerical simulations of large-scale explosive cyclogenesis. **Monthly Weather Review**, v. 117, p. 2800-2821, 1989.

_____. Monte Carlo simulation of explosive cyclogenesis. **Monthly Weather Review**, v. 122, p. 1548-1567, 1994.

MULLEN, S. L.; BUIZZA, R. Quantitative precipitation forecasts over the United States by the ECMWF ensemble prediction system. **Monthly Weather Review**, v. 129, p. 638-663, 2001.

NUSS, W. A.; MILLER D. K. Mesoscale predictability under various synoptic regimes. **Nonlinear Proc. In Geop.**, 8, 429-438, 2001.

PALMER, T. N.; SHUTTS, G. T.; HAGEDORN, R.; DOBLAS-REYES, F.J.; JUNG, T.; LEUTBECHER, M. Representing model uncertainty in weather and climate prediction. **Annu. Rev. Earth Planet Sci.**, v. 33, p. 163-193, 2005.

OTT, E.; HUNT, B. R.; SZUNYOUGH, I.; ZIMIN, A. V.; KOSTELICH, E. J.; CORAZZA, M.; KALNAY, E.; PATIL, D. J.; YOURKE, J. A. A local ensemble Kalman filter for atmospheric data assimilation. **Tellus**, v. 56A, p. 415-428, 2004.

ORREL, D.; SMITH, L.; BARKMEIJER, J.; PALMER, T. N. Model error in weather forecasting. **Nonlinear Proc. Geophys**, v. 8, p. 357-371, 2001.

PIELKE, R. A. Mesoscale Meteorological Modeling. Academic Press, International Geophysics Series, 78, 676p, 2002.

REYNOLDS, C. A.; WEBSTER, P. J.; KALNAY, E. Random error growth in NMC's global forecasts. **Mon. Wea. Rev.**, v. 122, p. 1281-1305, 1994.

RICHARDSON, D. S. Skill and economic value of the ECMWF ensemble prediction system. **Quart. J. R. Meteorol. Soc.**, v. 126, p. 649-668, 2000.

SATYAMURTY, P.; MATTOS, L. F. Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Mon. Wea. Rev.**, v. 117, p.1355-1364, 1989

SELUCHI, M.E.; CHOU, S.C. Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, doi:10.1007/s00704-008-0101-x, 2009.

STENSRUD, D.J. Using short-range ensemble forecasts for predicting severe weather events. **Atmos. Research**, v. 56, p. 3-17, 2001a.

_____. **Parameterization schemes: keys to understanding numerical weather prediction models**. Cambridge, 459 pp, 2001b.

STENSRUD, D. J. FRITSCH, J. M. Mesoscale convective systems in weakly forced large-scale environments. Part II: Generation of a mesoscale initial condition. **Monthly Weather Review**, v. 122, p. 2068-2083, 1994a.

STENSRUD, D. J. FRITSCH, J. M. Mesoscale convective systems in weakly forced large-scale environments. Part III: Numerical simulations and implications for operational forecasting. **Monthly Weather Review**, v. 122, p. 2084-2104, 1994b.

STENSRUD, D. J.; BROOKS, H. E.; Du, J.; TRACTON, M. S.; ROGERS, E. Using Ensemble for Short-Range Forecasting. **Monthly Weather Review**, v. 127, p. 433-446, 1999.

STENSRUD, D. J.; BAO, J. W.; WARNER, T. T. Using initial condition and physics perturbations in short-range ensemble simulations of mesoscale convective systems. **Mon. Wea. Rev.**, v. 128, p. 2077-2107, 2000.

TALAGRAND, O.; VAUTARD, R.; STRAUSS, B. Evaluation of probabilistic prediction systems, at Proc. Workshop on Predictability, Reading, United Kingdom, ECMWF, 1-25, 1997.

TENNEKES, H. Karl Poper and the accountability of numerical forecasting, New Developments in Predictability: Proc. ECMWF Workshop on New Developments in Predictability, Reading, UK, ECMWF, 1991.

- TOTH, Z.; KALNAY, E. Ensemble forecasting at NMC: the generation of perturbations. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 74, p. 2317-2330 1993.
- TOTH, Z.; MARCHOK, T.; TRACTON, S.; KALNAY, E. Verification of the NCEP global ensemble forecasts. In: CONF. ON NUMERICAL WEATHER PREDICTION, 12., 1998, Phoenix, AZ. **Proceedings...** Phoenix: Amer. Meteor. Soc., 1998. p. 286-289
- TRACTON, M. S.; KALNAY, E. Operational ensemble prediction at the National Meteorological Center. Practical aspects. **Wea. Forecasting**, v. 8, p. 379-398, 1993.
- TRIBBIA, J. J.; BAUMHEFNER, D. P. The reliability of improvements in deterministic short-range forecasts in the presence of initial state and modeling deficiencies. **Monthly Weather Review**, v. 116, p.2276-2288, 1988.
- WANDISHIN, M. S.; MULLEN, S. L.; STENSRUD, D. J.; BROOKS, H. E. Evaluation of short-range multimodel ensemble system. **Mon. Wea. Rev.**, v. 129, 729-747, 2001.
- WANG, X.; BISHOP, C. H. A comparison of breeding and ensemble transform Kalman filter ensemble forecast schemes. **J. Atmos. Sci.**, v. 60, p. 1140-1158, 2003.
- WARNER, T. T. Modeling of surface effects on the mesoscale, in: **Mesoscale Modeling of the Atmosphere**, Pielke, R. A. and Pearce, R. P., Amer. Meteor. Soc., p. 21-27, 1992.
- WEI, M.; TOTH, Z.; WOBUS, R.; ZHU, Y.; BISHOP, C. H.; WANG, X. Ensemble transform Kalman filter-based ensemble perturbations in an operational global prediction system at NCEP. **Tellus**, v. 58A, p. 28-44, 2006.
- WHITAKER, J. S.; LOUGHE, A. F. The relationship between ensemble spread and ensemble mean skill. **Mon. Wea. Rev.**, v. 126, p. 3292-3302, 1998.
- WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. San Diego: Academic Press, 467 p, 1995.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Manual on the global data-processing system**. Geneva, 1992. p.485 - 217.

WOBUS, R.; KALNAY, E. Three years of operational prediction of forecast skill. **Mon. Wea. Rev.**, v. 123, p. 2132-2148, 1995.

ZHANG, Z. **Hurricane ensemble prediction using EOF-based perturbations.** Florida. Ph.D. Dissertation, 171 p. – Department of Meteorology, Florida State University, 1977.

ZHANG, Z.; KRISHNAMURTI, T. N. A perturbation method for hurricane ensemble predictions. **Mon. Wea. Rev.**, v. 127, p. 447-469, 1999.

ZHANG, F.; SNYDER, C.; ROTUNO, R. Mesoscale predictability of the “surprise” snowstorm of 24-25 January 2000. **Mon. Wea. Rev.**, v. 130, p. 1617-1632, 2002.

ZHANG, F.; SNYDER, C.; ROTUNO, R. Effects of moist convection on mesoscale predictability. **J. Atmos. Sci.**, v.60, p. 1173-1185 , 2003)

ZHANG, F.; ODINS, A. M.; NIELSEN-GAMMON, J. W. Mesoscale predictability of an extreme warm-season precipitation event. **Wea Forecasting**, v. 121, p. 149-166, 2006.

ZILITINKEVICH, S. S. Non local turbulent transport: pollution dispersion aspects or coherent structure on convective flows. In: Power, H.; Moussiopoulos, N.; Brebbia, C.A. (eds.). **Air pollutions theory and simulation, computational mechanics**, 1995. v.1, p. 53-60.

ANEXO A – Artigo publicado no periódico Journal of Geophysical Research, doi:10.1029/2009JD012503

Full article title: Impact of including moisture perturbations on short-range ensemble forecasts.

Josiane F. Bustamante Fonseca and Sin Chan Chou

National Institute for Space Research (INPE) - Center for Weather Prediction and Climate Studies (CPTEC)

Address: Rod. Pres. Dutra km 40, Cachoeira Paulista, SP, Brazil, CEP 12630-000.

josiane.bustamante@cptec.inpe.br, +55-12-3186-8417

chou@cptec.inpe.br, +55-12-3186-8424

FAX number: +55-12-31012835

KEYWORDS: Short-Range Ensemble Prediction, humidity perturbations, Eta Model.

ABSTRACT

We are developing a Short-Range Ensemble Prediction (SREP) system based on the Eta Model for use over South America. The Eta Model SREP system uses the CPTEC global model Ensemble Prediction System (EPS) forecasts as initial and lateral boundary conditions. The objectives of this work are to verify the impacts of including moisture perturbations in the global EPS on the SREP and to evaluate the forecast quality from the resulting SREP. We compare the SREP constructed with and without moisture perturbations. We chose four cases of South Atlantic Convergence Zone events that produced heavy rainfall for the tests and evaluation. The Eta Model was set with a horizontal resolution of 10 km and integrated for 6 days. The mean errors of the forecasts based on the two perturbation methodologies are similar, which indicates that including moisture did not increase the forecast error. Precipitation forecasts showed major improvement when moisture perturbation was included. The root mean square error (RMSE) of the SREP ensemble mean forecast from both initial condition perturbations is smaller than the RMSE of the control run. The constructed SREP system exhibits forecast RMSE growth rate larger than the ensemble forecast spread, on the other hand, this difference is reduced compared to the driver global model ensemble forecast system.

1 - Introduction

The ensemble approach is a technique used to incorporate model and initial condition uncertainties in forecasts and to provide probability forecasts. The spread among the members of the ensemble system should provide an estimate of the forecast uncertainty; the larger is the spread, the larger is the uncertainty. In addition, the ensemble forecast provides probabilistic information that in most cases should be of more value to forecasters and decision makers than a single deterministic forecast.

There is a number of issues to deal with when constructing an ensemble system, one being choosing a method to define initial perturbations that reflect the uncertainties in initial conditions.

Several methods have been used, including the breeding method [Toth and Kalnay 1993], singular vector [Molteni et al. 1996] and empirical orthogonal functions (EOF) [Zhang 1997]. However, these three methods were applied to ensemble systems using global models with low horizontal and vertical resolutions. Ensemble techniques have also been applied to regional models [Stensrud et al. 2000; Hou et al. 2001], and, nowadays, are present in many operational meteorological centers such as: the Consortium for Small-scale Modeling – Limited Ensemble Prediction System (COSMO-LEPS) [Marsigli et al. 2008], the multi-model approach [Du et al. 2003] at National Centers for Environmental Prediction (NCEP), the so-called MOGREPS in UK MetOffice [Bowler et al., 2008], and the multi-model short-range EPS at the Spanish Met Service which apply five different regional models [Garcia-Moya et al. 2007]. The regional models have higher horizontal and vertical resolutions and, consequently may improve mesoscale system predictability. Many different techniques can be used to construct a short-range ensemble forecast such as different combinations of physical parameterizations [Stensrud et al. 2000; Clark et al. 2008], different numerical models [Du et al. 2004], different analyses, or a combination of these techniques [Du et al. 2006].

A Short-Range Ensemble Prediction (SREP) system using the Eta Model [Mesinger et al. 1988; Black 1994] and with perturbations in the initial conditions has been under

development at the Center for Weather Prediction and Climate Studies (CPTEC). The perturbed initial conditions are obtained from the operational CPTEC global model ensemble prediction system (EPS). This EPS provides the initial conditions by perturbing only the temperature and wind component fields. The global model ensemble spread is much smaller than the root mean square error (RMSE) of the ensemble mean forecasts [Mendonça and Bonatti, 2006]. This deficiency in the EPS may affect the short-range ensemble prediction system. In recent studies, new perturbation sources were included in the CPTEC EPS and the results for the Northern Hemisphere indicate a small increase in the ensemble spread [Mendonça and Bonatti 2009].

In the present work, we compare two sets of initial conditions provided by CPTEC EPS and test them as initial and lateral boundary conditions for SREP, using the Eta Model. One set of initial conditions is derived from the operational CPTEC EPS and the other set includes perturbations to the moisture field in addition to the temperature and wind perturbations. It is expected that this perturbation will affect the mesoscale processes that, in general, are better simulated by higher resolution models. The main goals of this work are to investigate the influence of these different sets of initial conditions on the forecast quality of the SREP system and to verify the impact of moisture perturbations on the forecast spread and on predicted precipitation. For evaluation of the short-range ensemble prediction system, we chose four events of South Atlantic Convergence Zone (SACZ). Although the number of events is small, it can give some insights on the use of the methodology in a regional ensemble prediction system.

This paper is organized in the following manner: the global model EPS and the SREP schemes are explained in Section 2; in Section 3, the selected SACZ cases are briefly described; the effects of added perturbations of both methodologies on the ensemble forecasts are discussed in Section 4; in Section 5, the ensemble forecasts from SREP runs are evaluated; some discussion and conclusions are drawn in Section 6.

2 – Methodology

The construction of the short-range ensemble prediction systems and the Eta Model configuration are described below.

a – Short-Range Ensemble Prediction System

The SREP system is based on the CPTEC global model EPS [Mendonça and Bonatti, 2009]. The control initial conditions used in this study are the 1200 UTC analyses from the National Centers for Environmental Prediction (NCEP). For evaluations, these initial conditions are considered as the best estimate of the real atmospheric state. The global model spectral truncation used here is T126 which is approximately about 100 km at midlatitudes. In the vertical, the atmosphere is divided into 28 sigma layers (L28) and the timestep is 600 s. The operational CPTEC EPS applies a perturbation method proposed by Zhang and Krishnamurti [1999] based on empirical orthogonal functions (EOF) which consists of randomly adding characteristic errors to the initial conditions for selected variables. The magnitudes of these perturbations are based on the typical error size of the selected variable. These errors were estimated by Coutinho [1999] who recommended values of about 5.0 m s^{-1} and 1.5 K for the wind and temperature perturbation magnitudes, respectively. These perturbations are applied in a latitudinal band between 30°N and 45°S and at the 28 vertical levels of the global model.

The steps to generate the CPTEC EPS are:

- The NCEP T126L28 analyses are taken as the unperturbed initial conditions;
- Seven random perturbations of the size of typical errors are added to the NCEP analyses. These perturbations are normally distributed with mean zero and standard deviation comparable to that of the 3-h forecast error. The resulting perturbed analyses and the control analysis are used to integrate the model for 36 hours;
- EOF analysis is applied to each time series constructed from the difference between control and perturbed forecasts on a domain of interest. A group of optimal perturbations is chosen according to the largest eigenvalues obtained from this EOF analysis;

- A group of 15 initial states is generated by adding and subtracting the optimum perturbations to the control analysis.

More details about the CPTEC EPS can be found in Coutinho [1999] and Mendonça and Bonatti [2009].

From this 15-member ensemble, a cluster analysis based on the Ward's minimum variance algorithm is applied to the 500-hPa geopotential-height field at 120-hour forecast over South America. Four groups are identified. From each group, a representative member is selected to be used as the initial and lateral boundary conditions in the SREP. The representative member is the one most distant to the average of the other groups.

Two sets of CPTEC EPS integrations are carried out to provide different initial and lateral boundary conditions for the SREP system. The first set, which is the operational mode, is hereafter referred to as EPS, while the other set, which includes specific humidity perturbations, is hereafter referred to as EPSH. These specific humidity perturbations vary from 1 to 0 g/kg from the lowest to the uppermost global model levels.

The SREP system was tested considering the above two perturbed sets: one system using the conditions from the operational EPS, is hereafter referred to as SREP, and the other system using initial conditions from the EPSH, is referred to as SREPH. Both sets of experiments contains 5 members: the control analysis plus 4 perturbed analyses and their forecasts. Identical model configuration was setup in SREP and SREPH in order to verify the effects of different initial conditions on the short-range ensemble predictions.

b – Eta Model

The mesoscale Eta Model [Mesinger et al. 1988; Black 1994] is used in this SREP. In the present work, the Eta Model was set up with 10-km horizontal resolution and 38 vertical levels and was run in hydrostatic mode. The domain covers southeastern South America. The topography is represented in steps. The model's eta vertical coordinate has approximately horizontal constant eta surfaces. This characteristic reduces problems in calculating the horizontal derivatives in mountainous regions, particularly in calculation of the horizontal pressure gradient force. The prognostic variables are temperature, humidity, horizontal wind, surface pressure, turbulent kinetic energy, cloud hydrometeors, soil temperature and soil humidity. The model has a complex representation of the physical processes. Vertical turbulence follows the Mellor-Yamada level 2.5 scheme [Mellor-Yamada 1982], where the turbulent kinetic energy is predicted. The surface energy exchange is based on the Monin-Obukhov similarity theory and uses the Paulson stability functions. The radiation scheme includes shortwave [Lacis and Hansen 1974] and longwave radiation [Fels and Schwarzkopf 1975] process. The surface hydrology is based on the NOAH scheme [Chen et al. 1997]. The model has 4 soil layers, 12 types of vegetation cover and 7 types of soil. The convective precipitation is produced by the Betts-Miller-Janjic scheme [Janjic 1994]. In this scheme, thermodynamically unstable profiles are adjusted towards scheme-chosen reference profiles, if a number of other conditions are met. Explicit precipitation is produced by Ferrier cloud microphysics scheme [Ferrier et al., 2002]. More details on the Eta Model can be found in the Appendix B by Pielke [2002].

3 – Selected cases

The SACZ is a common summer large-scale feature over South America [Kousky, 1988]. It shows up as a cloud band oriented NW-SE over southeastern Brazil, with persistent rains which tend to last at least for four days. Southeastern Brazil is frequently affected by SACZ episodes. This large-scale phenomenon is associated with orographic ascent and the sea breeze and produces extreme precipitation amounts, causing landslides and floods.

Table 1 lists the chosen SACZ episodes, their duration and the maximum 6-day accumulated precipitation observed over the land areas. The observed precipitation was obtained from the conventional surface network and interpolated to the 10-km model output grid. Figure 1 shows the four SACZ episodes and the study domain. Although all selected cases were characterized by the same meteorological phenomenon, the SACZ, the amount of precipitation and the region where maximum precipitation occurred in each event varied. In SACZ2000, SACZ2003 and SACZ2004F, the main rain band extended from the coastal region to inland with NW-SE orientation, whereas that of the SACZ2004J exhibited a more meridional orientation. The integrations started 6 days before the final day of each episode. In this way, in the first 24 hours of the integrations the SACZ was not yet established.

4 – Inclusion of moisture perturbation

In the following sections, we compare the impact of two sets of initial conditions on the forecasts and the ensemble spread.

a- Impact on humidity fields

The two sets of experiments show significant changes when moisture perturbations are added to the analysis. Figure 2 shows the moisture difference between perturbed analyses and the unperturbed analysis from NCEP. Only one ensemble member is shown in detail. The shaded areas indicate regions where moisture was reduced in comparison with the unperturbed analysis. For the member shown in Fig. 2, the moisture perturbation inclusion reduced the amount of 850-hPa specific humidity of the initial state in most of the domain (Fig. 2b).

Figure 3 shows the differences in moisture forecasts between the EPS and EPSH, while Figure 4 shows the differences in moisture forecasts between the SREP and SREPH forecasts.

With respect to the unperturbed analysis, the initial conditions of the EPSH show more areas of significant differences than the initial conditions of the EPS. Despite these clear impacts on the initial conditions, these impacts decrease with model integration, which is seen at 72-h and 144-h forecasts (Fig. 3). On the other hand, the areas of differences in moisture forecasts between the SREP and SREPH grow with the integration (Fig. 4). However, after 72 hours of forecast, the SACZ is established over the central part of the domain and the differences in moisture forecasts no longer grow with integration (Fig. 4). This small difference between SREPH and SREP forecasts occurred in all SACZ cases, and suggests that when large-scale forcing is predominant, the forecasts from the ensemble members are rather similar despite the fact that they use different initial and lateral boundary conditions.

b- Impacts on precipitation fields

The variable which showed more sensitivity to the moisture perturbations inclusion was the precipitation. Figure 5 shows the ensemble means of the 24-h accumulated precipitation averaged over the whole domain for all cases from SREP and SREPH, and observations. The precipitation from SREPH is closer to observations at most of forecast ranges which indicates that the inclusion of moisture perturbation improved the ensemble mean precipitation forecast. A close look at each member showed that an increase or decrease in humidity due to perturbation inclusion led to an increase or decrease in predicted precipitation amounts, respectively.

c - Spread: EPS versus SREP

The ensemble spread is measured by computing the standard deviation of ensemble members with respect to the ensemble mean. An ensemble system with small spread,

that is small dispersion, may not contain the true state, if the spread is large enough the probability of the true state to be among the ensemble solutions becomes higher. It is expected that the inclusion of humidity perturbation result in additional dispersion of the forecast. The quality of the ensemble system also depends on the forecast RMSE. Comparison of spread against forecast RMSE is given in Section 5a; in this Section we will focus on the comparison between EPS and SREP spread.

Figure 6 shows the spread of 850-hPa specific humidity and 3-hour accumulated precipitation for EPS and SREP runs. The values are averages over all cases and over the whole SREP domain. Figure 6 shows that the SREP spread is larger than the EPS spread for the 850-hPa specific humidity and precipitation. This is in agreement with the larger differences among SREP forecasts (Figure 4) than those among EPS forecasts (Figure 3). Studies carried out by Mendonça and Bonatti [2009] indicate that even when including perturbations of more variables such as the mean sea level pressure and specific humidity in the EPS system, the spread did not show significant increase over the Southern Hemisphere.

The ensemble spread of 850-hPa specific humidity is larger in the humidity experiments, although it occurs mainly in the early hours of the forecast. The ensemble spread growth rate is larger in the first 72 hours, and it becomes smaller afterwards. The fact that the uncertainty decreases with forecast time may be associated with the type of meteorological phenomena involved. The large scale patterns of SACZ have generally good predictability [Seluchi and Chou 2009]. In the early forecast time, the SACZ event has not yet established, so the spread is larger than in the later forecast time when the SACZ features, such as the low-level humidity convergence, are predominant in all forecasts members.

Precipitation spread growth rate decreases with time integration. The ensemble spread exhibits a diurnal cycle, with the maximum spread occurring at 1800 UTC and the minimum spread at 0600 UTC. This large spread at 1800 UTC is probably related to the increase of precipitation at these convective hours. In general, SREP runs show larger spread than the EPS runs in all forecast hours.

5 – Ensemble evaluation

The inclusion of one more perturbed variable presumably should not decrease the final forecast quality. In order to measure the quality of the ensemble forecasts, various statistical metrics are applied: the ensemble mean RMSE, the Talagrand diagram, Relative Operating Characteristic (ROC) curves and the Equitable Threat Score (ETS). The RMSE is calculated and compared against the ensemble spread. Talagrand diagrams and ROC curves are calculated to verify the realism of an ensemble prediction system and the statistical discrimination capability of the probabilistic forecasts. Here, the precipitation forecast skill is evaluated using ETS score and ROC curves.

The results shown here are those obtained for the whole domain for SREP and SREPH runs. Here, because the focus is on short-range forecasts, lower troposphere variables such as the 850-hPa specific humidity and temperature are evaluated using NCEP analyses. Precipitation is evaluated using data from the surface observation network.

a- Root Mean Square Error and Ensemble Spread

In an ensemble prediction system it is desirable that forecast RMSE magnitude be comparable to the ensemble spread. The discrepancy between the ensemble spread and RMSE indicates whether the ensemble system can estimate the uncertainties. A large discrepancy is an indication of some deficiency in the ensemble system which may be under-dispersive, but also may be an indication of model large systematic error.

In general, the ensemble mean RMSE shows similar results for both ensemble experiments (Fig. 7). The 850-hPa specific humidity and temperature RMSE from SREPH are slightly larger than in SREP experiments toward the end of the forecast time. At all forecast hours, the control member RMSE is larger than the ensemble mean

RMSE, which means that both SREP and SREPH runs provide improved forecasts with respect to the control run.

The 850-hPa temperature spread (Fig. 7a) is smaller for the SREPH experiment than for the SREP experiment toward the end of the forecast time. The largest spread is noted at the initial time with values around 1.2°C. This spread is largest in the early forecast hours, this may be partly due to model variable adjustment to the initial conditions as the analyses come from NCEP model and not Eta Model. The strong decrease of spread occurs in the early forecast hours followed by a slow increase with model integration. The curves show that the temperature RMSE is larger than the spread after 24 hours. The temperature mean error indicates a negative bias with time integration (Figure not shown).

At the initial forecast time, the 850-hPa specific humidity spread is about 0.2 g/kg for SREP runs and 0.6 g/kg for SREPH runs and both of them increases with time (Fig. 7b). There is a fast growth in the first 12 hours probably because of the model adjustment period. A slower growth in time which reaches around 1.2 g/kg occurs after this period. The humidity RMSE (Fig. 7b) varies between 0.9 and 1.7 g/kg. The difference between specific humidity spread and RMSE in the SREP system is comparable in magnitude.

Mendonça and Bonatti [2006], showed that the CPTEC global model EPS has large RMSE for some variables such as 500-hPa geopotential height. This global model EPS RMSE is larger in comparison with other global models such as those shown in Buizza et al. [2005]. The 850-hPa temperature and specific humidity forecasts from regional ensemble showed smaller RMSE and larger spread than the global ensemble. Therefore, the discrepancy between RMSE and spread in SREP system is smaller than in EPS system. This is a desirable feature as it shows that the regional model has improved forecasts over global model.

b– Talagrand Diagram

Talagrand diagrams or rank histograms help to verify if the forecast and verifying analyses have the same probability distributions [Talagrand 1997]. Talagrand diagrams are constructed by ordering at each grid point the forecast value from each ensemble member from the smallest to the largest value. The number of interval bins is equal to the number of ensemble members plus one. In the present work, we created 6 bins. It is counted the number of times that the value of the verifying analysis falls into one of these intervals at each grid point. If the analysis value is smaller than the smallest forecast value, it falls into interval 1, and if the analysis is larger than the largest forecast value, it falls into interval 6. An ideal ensemble shows a flat rank histogram. A slope toward the right or left side indicates that the ensemble has a negative or positive bias, respectively. A U-shaped histogram indicates an insufficient spread, while an inverted U-shape indicates an excessive spread among the ensemble members. The T126L28 NCEP analyses were taken as the verifying analyses.

Figures 8, 9 and 10 show the Talagrand diagrams for the SREP and SREPH experiments for 850-hPa temperature, 850-hPa specific humidity and 24-h accumulated precipitation at 24- and 144-hour forecast lead times. At the early forecast times, the 850-hPa temperature diagrams (Fig. 8) are quite flat with a slight shift toward the largest intervals. After 96 hours of forecast, a shift to the largest interval is noted, showing a negative bias. The same bias sign occurs in the 850-hPa temperature mean error (figure not shown). A U-shaped distribution is shown for the 850-hPa specific humidity diagrams (Fig. 9) at all forecast times for both experiments. Although the moisture perturbation was included in the initial conditions, the SREPH runs indicate moisture spread similar to the SREP runs. At the early forecast times, the 24-h accumulated precipitation Talagrand diagrams (Fig. 10) exhibited a slightly U-shaped distribution for both experiments. After 144 hours of forecast a slightly positive bias is shown.

c – ROC curves

Relative operating characteristics (ROC) curves represent the relation between the probability of detection (POD) and the false alarm probability of detection (PODF). The area under the ROC curve characterizes the quality of a forecast system by describing the system's ability to correctly anticipate the occurrence or non-occurrence of pre-defined events. For a probabilistic forecast system, the probability at which a warning is issued varies across a range of thresholds.

ROC curves are calculated for 24-hour accumulated precipitation probabilities for different thresholds (Fig. 11): 1, 5, 10, 25 and 50 mm. Results are very similar for SREP and SREPH, so only SREPH are shown. All curves are above the diagonal which indicates some skill at different precipitation rates. The ensemble system has the greatest accuracy at thresholds smaller than 10 mm. Heavy rainfalls is still difficult to forecast.

d– Equitable Threat Score

The Equitable Threat Score (ETS) and the related BIAS score are objective indices that may be used to evaluate precipitation forecast skill at different thresholds [Mesinger and Black 1992]. The ensemble mean was evaluated according to its ability to forecast precipitation amounts above certain thresholds. The precipitation amounts are accumulated over 24 hours ending at 1200 UTC.

A perfect forecast results in ETS and BIAS equal to 1. BIAS score higher (smaller) than 1 indicates an overestimated (underestimated) forecast. Figure 12 shows the ETS and BIAS for the ensemble mean predicted for both experiments for all cases and all forecast ranges. ETS are quite similar for SREP and SREPH with a small advantage for the SREPH experiments in the heavy rain thresholds, over 25 mm. BIAS indicates better results for the SREPH experiments in all threshold categories. For rain thresholds smaller than 6 mm/day there was no clear advantage of one system over the other, while for heavier rains, above 25 mm/day, the improvements were larger and the underestimate smaller for SREPH results than for SREP.

e – Probability forecast for extreme events

Since an application of ensemble system is to provide probability forecasts, it is useful to show the most likely location, where precipitation above a certain threshold will occur. In SACZ events, it is desirable to know whether large amount of precipitation will accumulate in a certain place over a given period of time. Figure 13 shows the probability forecast of precipitation above 50 mm/6 days for SREPH runs. For all SACZ events, the forecasts from the SREP or SREPH system show regions of higher probability, above 80%, of precipitation above the 50 mm threshold (Fig. 13).

Figure 14 shows the regions where observed precipitation occurred above 50 mm. The high probability areas forecasted show good agreement with the regions where observed precipitation occurred above this threshold (Fig 14). Although 50 mm is not a high precipitation rate, the results are useful for application purposes by indicating a few days in advance the high probability (between 80 and 100%) of occurrence of SACZ events.

6 – Conclusions

We tested the impact on ensemble forecasts of two sets of perturbed initial conditions that differed by the inclusion of perturbations to the moisture field. Four episodes of the South Atlantic Convergence Zone were selected for this study. Although this is a small number of cases results can give some indications of the importance of moisture perturbations to improve precipitations forecasts and of the potential of this new methodology to construct a regional ensemble system.

The inclusion of this source of uncertainty to the initial conditions caused increase of the spread of the global model EPS in the early forecasts hours and some improvement to the nested model forecasts. The inclusion of moisture caused increase in the SREPH

spread in the early forecast hours, but the spread stayed approximately constant with time integration. This may be related to the period of establishment of the large-scale features of the SACZ. Although the SREPH spread did not increase much it is important to notice that the moisture inclusion did not increase the ensemble mean RMSE, but actually decreased it with respect to control run RMSE. This result means that the quality of the system was kept. For all variables evaluated the SREPH spread was higher than the EPSH spread.

Precipitation was the variable most sensitive to the moisture perturbation in the initial conditions. Improvement occurred in the predicted position and amount of precipitation. Although the selected SACZ cases show that the short-range ensemble prediction system generally underestimated the 24-h accumulated precipitation, except at 144-h forecast time, the SREPH produced rain closer to the observed precipitation. Precipitation ETS and the associated BIAS showed advantages of the SREPH over SREP runs by scoring higher for heavier rains. The usefulness of the ensemble was shown in the precipitation probability forecasts, which indicated the intensity of every SACZ event with higher degree of confidence. This shows good correspondence between mapped high probability areas and observed areas of heavy rain. The ROC skill curves of SREPH runs indicate greatest accuracy at thresholds smaller than 10 mm.

For other variables, the evaluations between the moisture and no moisture perturbation in the initial conditions were very similar. Talagrand diagrams showed a negative bias for the 850-hPa temperature. The 850-hPa specific humidity and 24-h accumulated precipitation exhibited Talagrand diagram with U-shape distribution which means under-dispersion. For most variables, the RMSE showed a growth rate larger than the spread growth rate, except in the early forecast time, which means that there is still some under-dispersion in the short-range ensemble prediction system even including moisture perturbation, but the discrepancy between RMSE and spread is smaller in SREPH than in EPSH system.

Future work on increasing the number of members is currently being conducted. We expect that an ensemble system with perturbed model physics may help to reduce RMSE and increase the ensemble spread. The positive impacts on the precipitation

forecasts generally showed that the inclusion of moisture in the initial condition perturbation is recommended.

ACKNOWLEDGMENT: The authors would like to thank the reviewers for their useful comments which have helped to improve the manuscript. This work is a contribution to the Serra do Mar Project, partly funded by FAPESP under grant n^o 04/09649-0 and partly funded by CNPq under grant n^o 308725/2007-7.

REFERENCES

Black, T. L. (1994), NMC Notes, 1994: The New NMC mesoscale Eta Model: description and forecast examples, *Weather and Forecasting*, 9, 256-278.

Bowler, N. E., A. Arribas, K. R. Mylne, K. R. Robertson, and S. E. Beare (2008), The MOGREPS short-range ensemble prediction system, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 134, 703-722.

Buizza, R., P. L. Houtekamer, Z. Toth, G. Pellerin, M. Wei, and Y. Zhu (2005), A comparison of the ECMWF, MSC, and NCEP global ensemble prediction systems, *Monthly Weather Review*, 133, 1076-1097.

Chen, F., Z. I. Janjic, and K. Mitchell (1997), Impact of atmospheric surface-layer parameterization in the new land-surface scheme of the NCEP mesoscale Eta Model, *Boundary Layer Meteorology*, 85, 391-421.

Clark, A. J., W. A. Gallus, and T. C. Cheng (2008), Contributions of mixed physics versus perturbed initial/lateral boundary conditions to ensemble based precipitation forecast skill, *Monthly Weather Review*, 136, 2140-2156.

Coutinho, M. M. (1999), Ensemble Prediction using EOF-based perturbations (in Portuguese), M. S. thesis, 133 p., National Institute for Space Research, Brazil, 1999.

Du, J., G. DiMego, M. S. Tracton, and B. Zhou (2003), NCEP short-range ensemble forecasting (SREF) system: Multi-IC, multi-model and multi-physics approach. Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling, J. Cote, Ed., *Rep.* 33

WMO/TD 1161, CAS/JSC Working Group Numerical Experimentation (WGNE), 5.09-5.10. [Available on line at http://www.emc.ncep.noaa.gov/mmb/SREF/srefWMO_2003.pdf.]

_, and Coauthors (2004), The NOAA/NWS/NCEP short-range ensemble forecasting (SREF) system: Evaluation of an initial condition versus multiple model physics ensemble approach, at 20th Conf. on Weather Analysis and forecasting/ 16th Conf. on Numerical Weather Prediction, Seattle, WA, Amer. Meteor. Soc., 21.3.

_, J. McQueen, G. DiMego, Z. Toth, D. Jovic, B. Zhou, and H. Chuang (2006), New dimension of NCEP short-range ensemble forecasting (SREF) system: Inclusion of WRF members, at WMO Expert Team Meeting on Ensemble Prediction System, Exeter, United Kingdom, WMO, 5pp

Evans, R. E., M. S. J. Harrison, and R. Graham (2000), Joint medium-range ensembles from The Met. Office and ECMWF systems, *Monthly Weather Review*, 128, 3104-3127.

Fels, S. B., and M. D. Schwarzkopf (1975), The simplified exchange approximation: A new method for radiative transfer calculations, *J. Atmos. Sci.*, 32, 1475-1488.

Ferrier, B. S., Y. Lin, T. Black, E. Rogers, and G. DiMego (2002), Implementation of a new grid-scale cloud and precipitation scheme in the NCEP Eta Model at 15th Conference on Numerical Weather Prediction, San Antonio, TX, Amer. Meteor. Soc., 280-283.

Garcia-Moya, J. A., A. Callado, C. Santos, D. Santos, J. Simarro (2007), Multi-model ensemble for short-range predictability, 3rd International Verification Methods Workshop, ECMWF, http://www.ecmwf.int/newsevents/meetings/workshops/2007/jwgv/workshop-presentation/index_poster.htm.

Hou, D., E. Kalnay, and K. K. Droegmeier (2001), Objective verification of the SAMEX'98 ensemble forecasts, *Monthly Weather Review*, 129, 73-91.

Janjic, Z. I. (1994), The step-mountain eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes, *Monthly Weather Review*, 122, 927-945.

Kousky, V. E. (1988), Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector, *Rev. Bras. Meteo.*, 3, 217-231.

- Lacis A. A., and J. E Hansen (1974), A parameterization of the absorption of solar radiation in earth's atmosphere, *J. Atmos. Sci.*, *31*, 118-133.
- Marsigli, C., A. Montani, and T. Paccagnella (2008), A spatial verification method applied to the evaluation of high-resolution ensemble forecasts, *Meteorol. Appl.*, *15*, 125-143.
- Mellor, G. L., and T. Yamada (1982), Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems, *Rev. Geophys. Space Phys.*, *20*, 851-875.
- Mendonça, A. M., and J. P. Bonatti (2006), Experiments with EOF-based perturbation method to ensemble weather forecasting in midlatitudes, at 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Foz do Iguaçu, PR, Brazil, 1829-1832.
- _, and _ (2009), Experiments with EOF-based perturbations methods and their impact on the CPTEC/INPE ensemble prediction system, *Monthly Weather Review*, *137*, no 4, 1438-1459.
- Mesinger, F., and T. Black (1992), On the impact on forecast accuracy of the step-mountain (eta) vs. sigma coordinate, *Meteor. Atmos. Phys.*, *50*, 47-60.
- _, Z. I. Janjic, S. Nickovic, D. Gavrilov, and D. G. Deaven (1988), The step mountain coordinate: model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of an Appalachian redevelopment, *Monthly Weather Review*, *116*, 1493-1518.
- Molteni, R., R. Buizza, T. N. Palmer, and T. Petroliagis (1996), The ECMWF ensemble prediction system: Methodology and validation, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, *122*, 73-119.
- Pielke, R. A. (2002), *Mesoscale Meteorological Modeling*. Academic Press, International Geophysics Series, 78, 676p.
- Seluchi, M.E., and S.C. Chou (2009), Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, doi:10.1007/s00704-008-0101-x.
- Stensrud, D. J., J. W. Bao, and T. T. Warner (2000), Using initial condition and physics perturbations in short-range ensemble simulations of mesoscale convective systems, *Monthly Weather Review*, *128*, 2077-2107.

Talagrand, O., R. Vautard, and B. Strauss, (1997), Evaluation of probabilistic prediction systems, at Proc. Workshop on Predictability, Reading, United Kingdom, ECMWF, 1-25.

Toth, Z., and E. Kalnay (1993), Ensemble forecasting at NMC: the generation of perturbations, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 74, 2317-2330.

Wobus, R., and E. Kalnay (1995), Three years of operational prediction of forecast skill, *Monthly Weather Review*, 123, 2132-2148.

Zhang, Z. (1997), Hurricane ensemble prediction using EOF-based perturbations. Florida. Ph.D. Dissertation, 171 p. – Department of Meteorology, Florida State University, 1997.

Zhang, Z., and T. N. Krishnamurti (1999), A perturbation method for hurricane ensemble predictions, *Monthly Weather Review*, 127, 447-469.

LIST OF CAPTIONS

Figure 1: observed 6-day accumulated precipitation (mm/6days) for episodes: a) SACZ2000; b) SACZ2003; c) SACZ2004J; and d) SACZ2004F.

Figure 2: 850-hPa specific humidity difference between perturbed initial condition member and unperturbed NCEP analysis from: a) EPS and b) EPSH. Negative values are shaded and contour intervals are 0.5 g/kg.

Figure 3: 850-hPa specific humidity (g/kg) difference between EPSH and EPS forecasts: a) 72-hour and b) 144-hour forecasts. Negative values are shaded and indicate reduction of initial moisture of EPSH with respect to EPS. The contour intervals are 0.5 g/kg.

Figure 4: 850-hPa specific humidity (g/kg) difference between forecasts from SREPH and SREP: a) 72-hour and b) 144-hour. Negative values are shaded and contour intervals are 0.5 g/kg.

Figure 5: Ensemble mean forecast of 24-hour accumulated precipitation, average over the whole domain from SREP and SREPH runs and observed precipitation (mm/day).

Figure 6: Ensemble spread from SREP (solid line), SREPH (dashed line), EPS (dotted line) and EPSH (dash-dotted line) for: a) 850-hPa specific humidity (g/kg) and b) 3-hour accumulated precipitation (mm/3h).

Figure 7: RMSE and spread of: a) 850-hPa temperature ($^{\circ}\text{C}$) and b) 850-hPa specific humidity (g/kg). RMSE is solid line and spread is dashed line for SREPH, SREP and control runs.

Figure 8: 850-hPa temperature Talagrand diagrams for: a) 24-hour forecasts; b) 144-hour forecasts.

Figure 9: 850-hPa specific humidity Talagrand diagrams for: a) 24-hour forecasts; and b) 144-hour forecasts.

Figure 10: 24-h accumulated precipitation Talagrand diagrams for: a) 24-hour forecasts; and b) 144-hour forecasts.

Figure 11: ROC curves for SREPH probability of 24-h accumulated precipitation using all 5 ensemble members for the 1, 5, 10, 25 and 50 mm rainfall thresholds.

Figure 12: Scores of 24-hour accumulated precipitation from ensemble mean forecasts: a) ETS and b) BIAS. The numbers in the abscissa are the precipitation thresholds (mm) (upper row) and the number of observations in each threshold (lower row).

Figure 13: Probability forecast of accumulated precipitation during SACZ episode above the 50 mm threshold: a) SACZ2000; b) SACZ2003; c) SACZ2004J; and d) SACZ2004F. Probability forecast intervals are 20 %, 40%, 60% and 80%.

Figure 14: Observed accumulated precipitation during SACZ episodes above the 50 mm threshold: a) SACZ2000; b) SACZ2003; c) SACZ2004J; and d) SACZ2004F. Shaded areas indicate where precipitation was observed to occur above 50mm/6days.

Table 1: List of South Atlantic Convergence Zone episodes: occurrence period and maximum accumulated precipitation (mm/6days) over land areas near the coast.

EPISODE	PERIOD	OBSERVED ACC. PRECIP. (mm/6days)
SACZ2000	12/31/1999 to 01/05/2000	350
SACZ2003	01/25/2003 to 01/30/2003	180
SACZ2004J	01/26/2004 to 01/31/2004	300
SACZ2004F	02/20/2004 to 02/25/2004	200

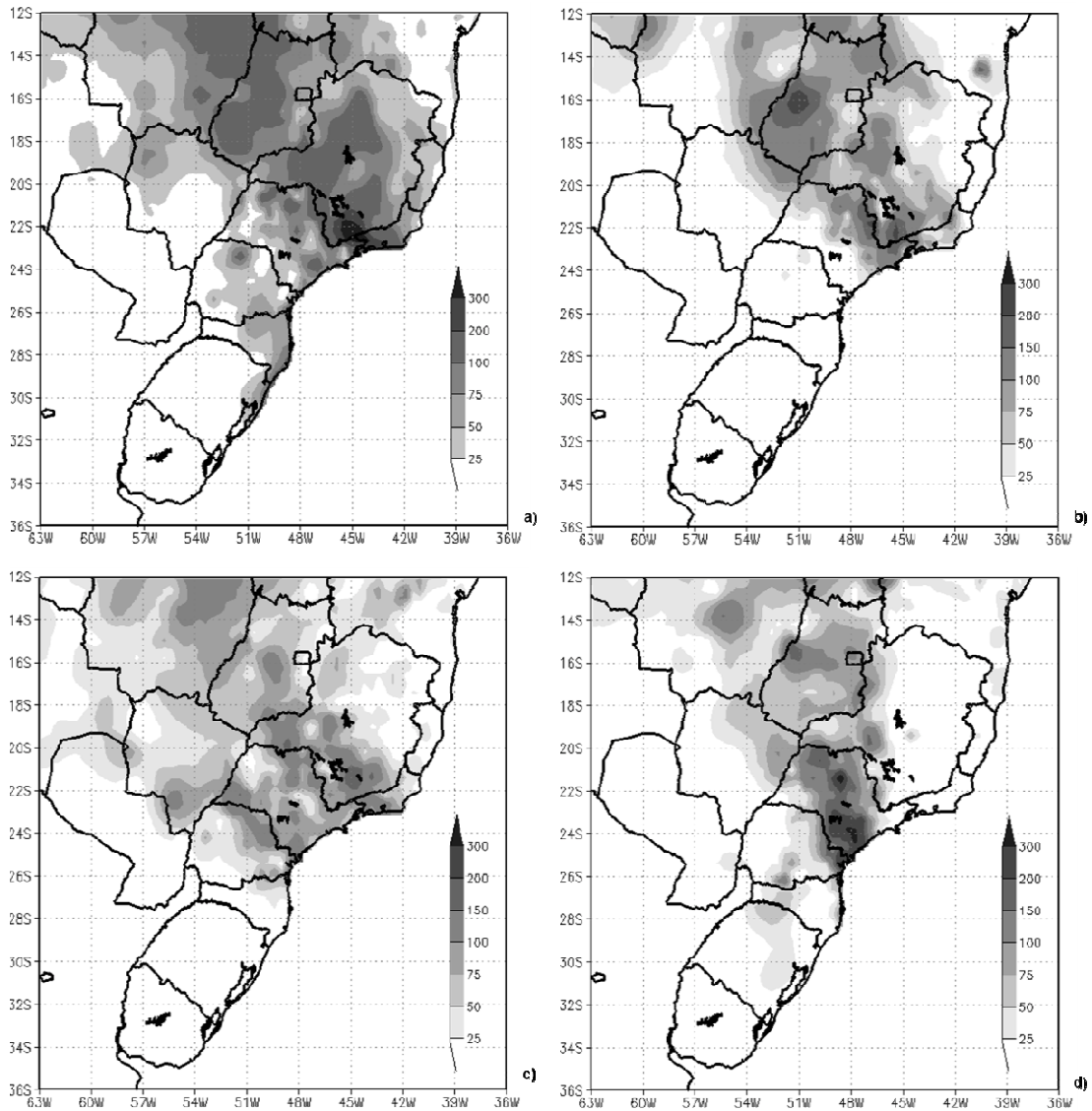


Figure 1: observed 6-day accumulated precipitation (mm/6days) for episodes: a) SACZ2000; b) SACZ2003; c) SACZ2004J; and d) SACZ2004F.

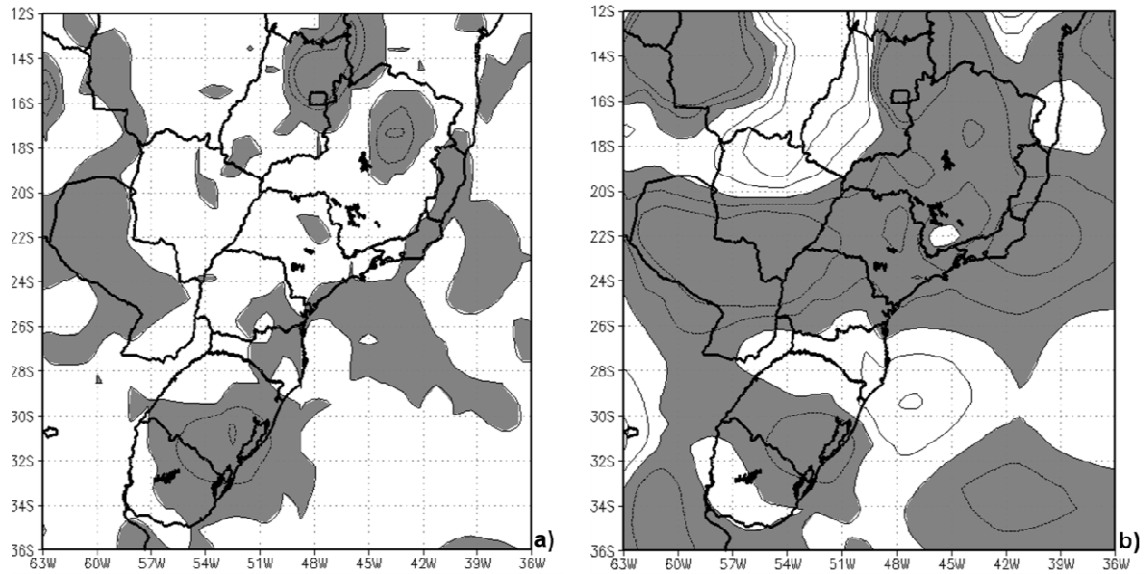


Figure 2: 850-hPa specific humidity difference between perturbed initial condition member and unperturbed NCEP analysis from: a) EPS and b) EPSH. Negative values are shaded and contour intervals are 0.5 g/kg.

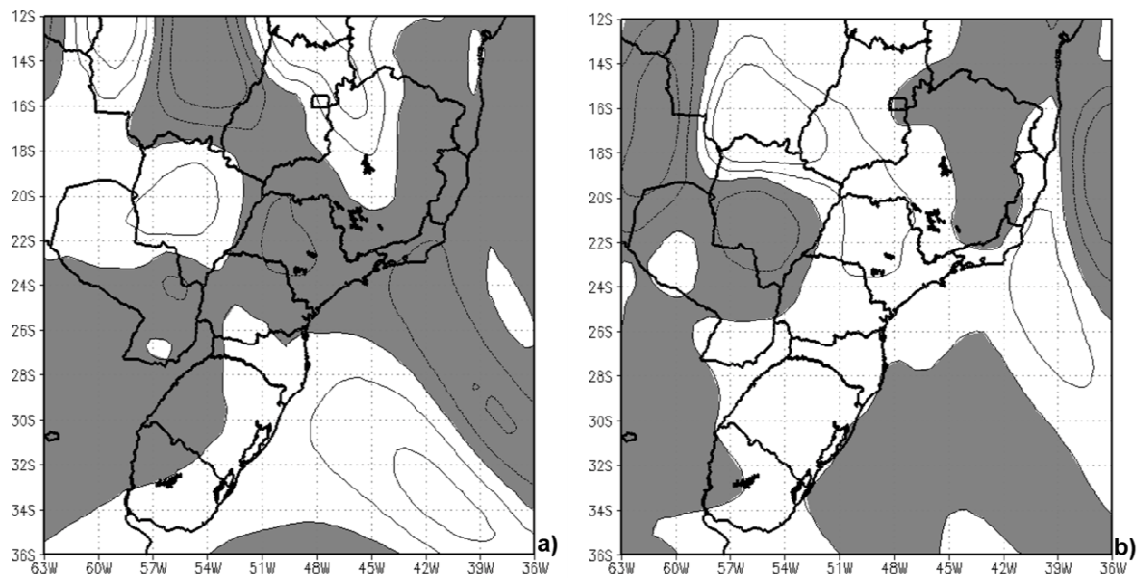


Figure 3: 850-hPa specific humidity (g/kg) difference between EPSH and EPS forecasts: a) 72-hour and b) 144-hour forecasts. Negative values are shaded and indicate reduction of initial moisture of EPSH with respect to EPS. The contour intervals are 0.5 g/kg.

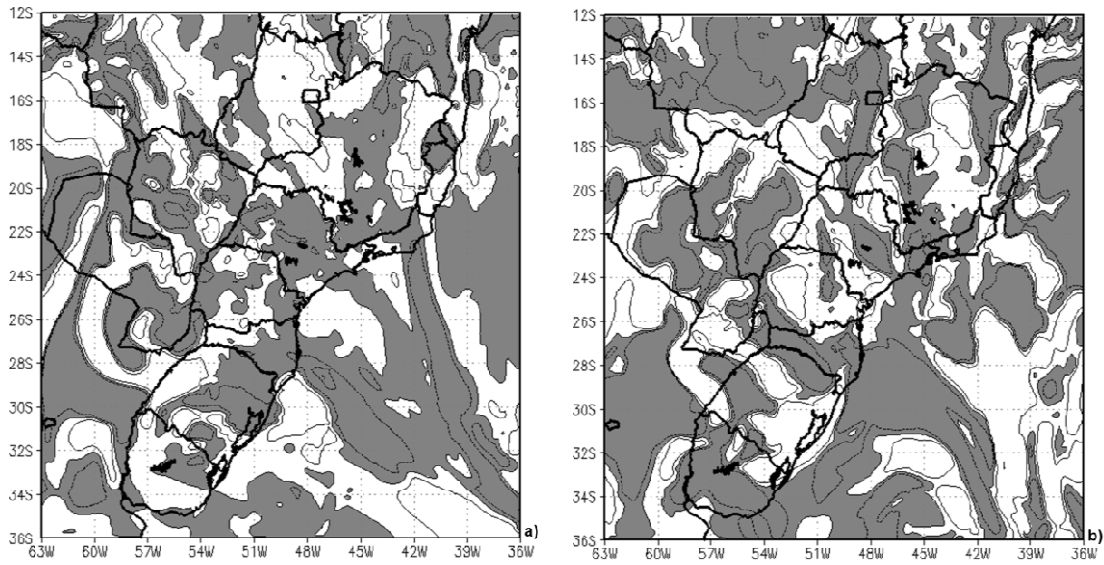


Figure 4: 850-hPa specific humidity (g/kg) difference between forecasts from SREPH and SREP: a) 72-hour and b) 144-hour. Negative values are shaded and contour intervals are 0.5 g/kg.

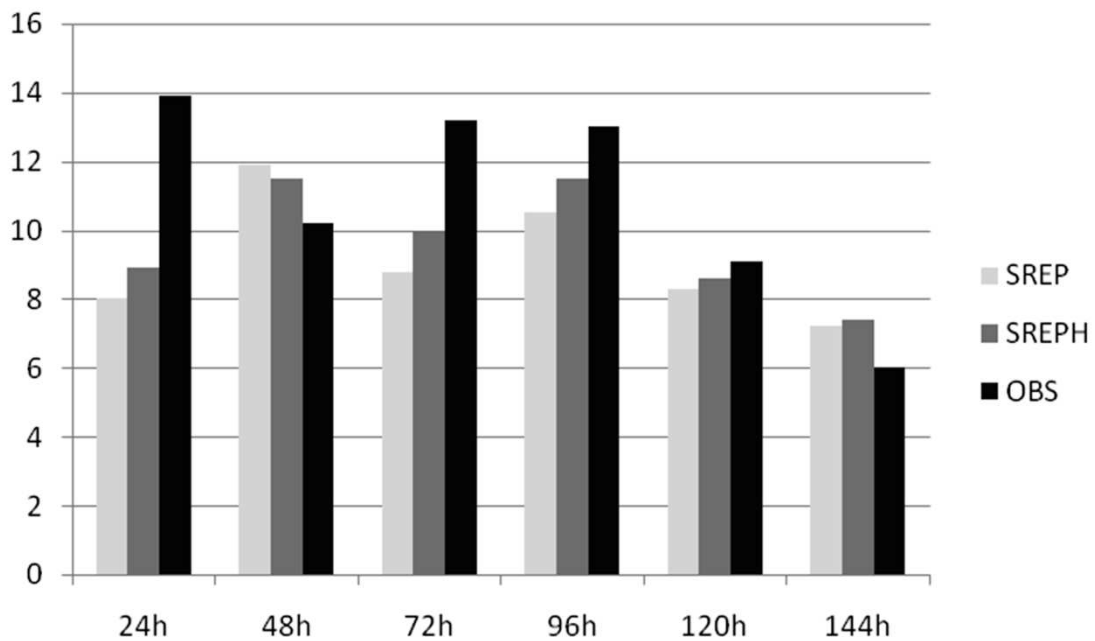


Figure 5: Ensemble mean forecast of 24-hour accumulated precipitation, average over the whole domain from SREP and SREPH runs and observed precipitation (mm/day).

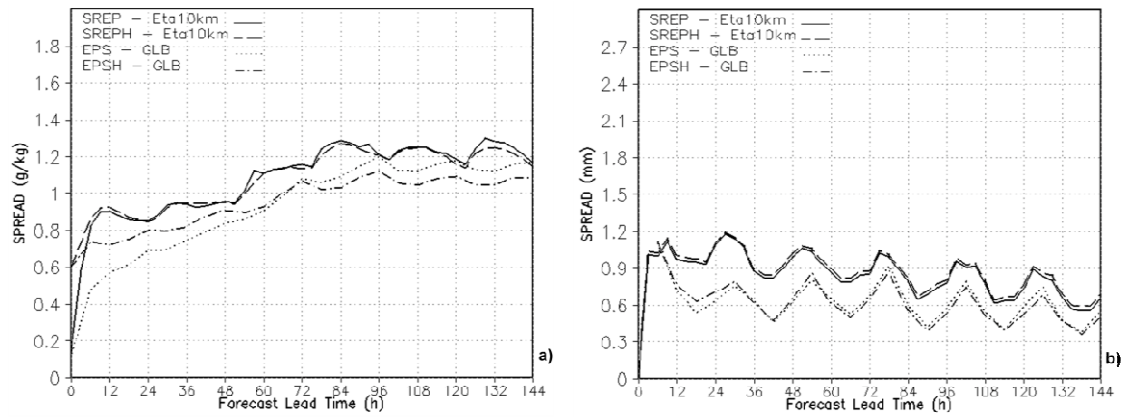


Figure 6: Ensemble spread from SREP (solid line), SREPH (dashed line), EPS (dotted line) and EPSH (dash-dotted line) for: a) 850-hPa specific humidity (g/kg) and b) 3-hour accumulated precipitation (mm/3h).

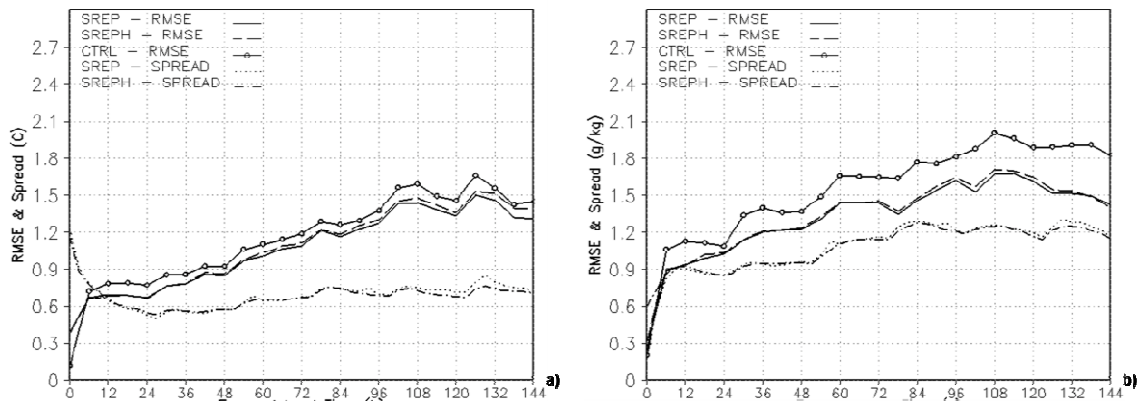


Figure 7: RMSE and spread of: a) 850-hPa temperature ($^{\circ}$ C) and b) 850-hPa specific humidity (g/kg). RMSE is solid line and spread is dashed line for SREPH, SREP and control runs.

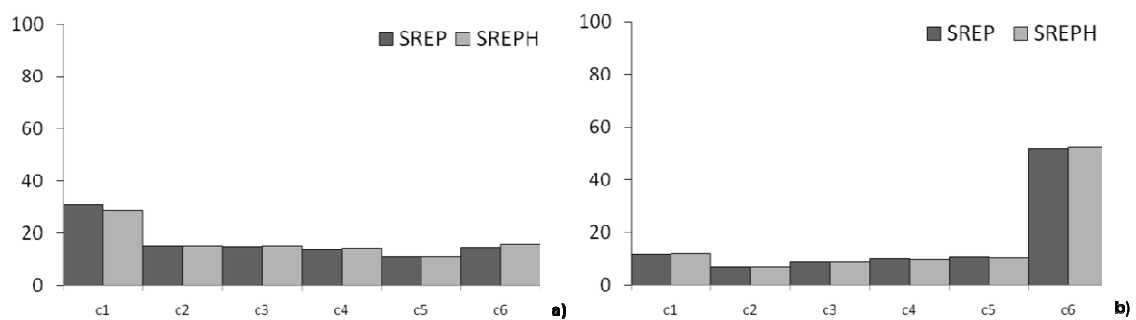


Figure 8: 850-hPa temperature Talagrand diagrams for: a) 24-hour forecasts; b) 144-hour forecasts.

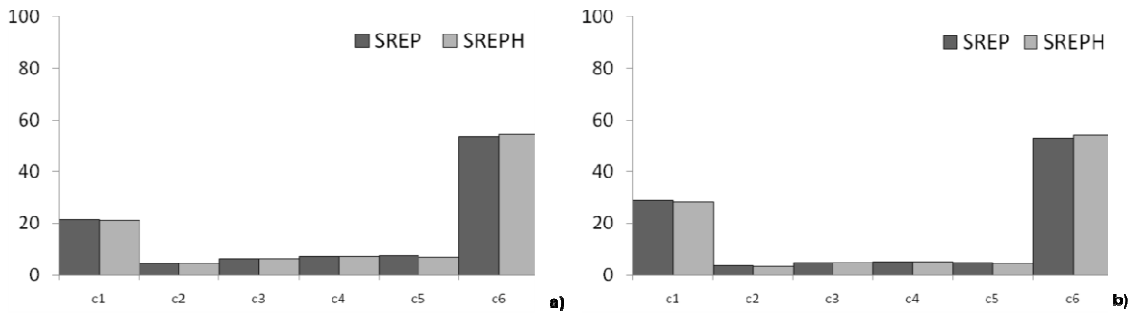


Figure 9: 850-hPa specific humidity Talagrand diagrams for: a) 24-hour forecasts; and b) 144-hour forecasts.

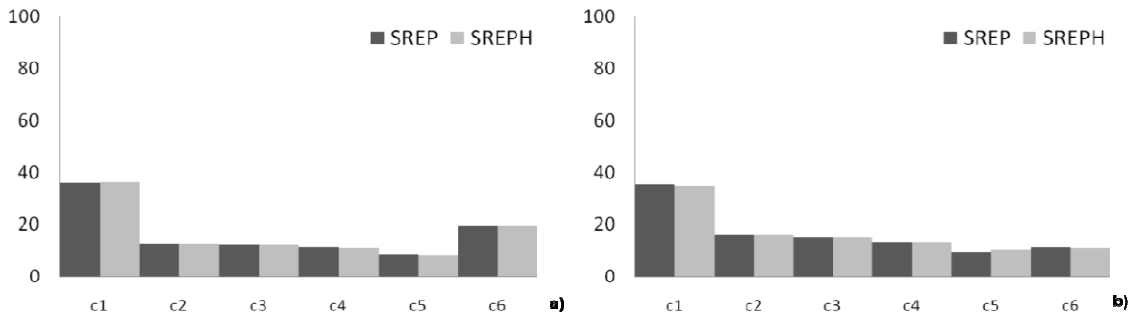


Figure 10: 24-h accumulated precipitation Talagrand diagrams for: a) 24-hour forecasts; and b) 144-hour forecasts.

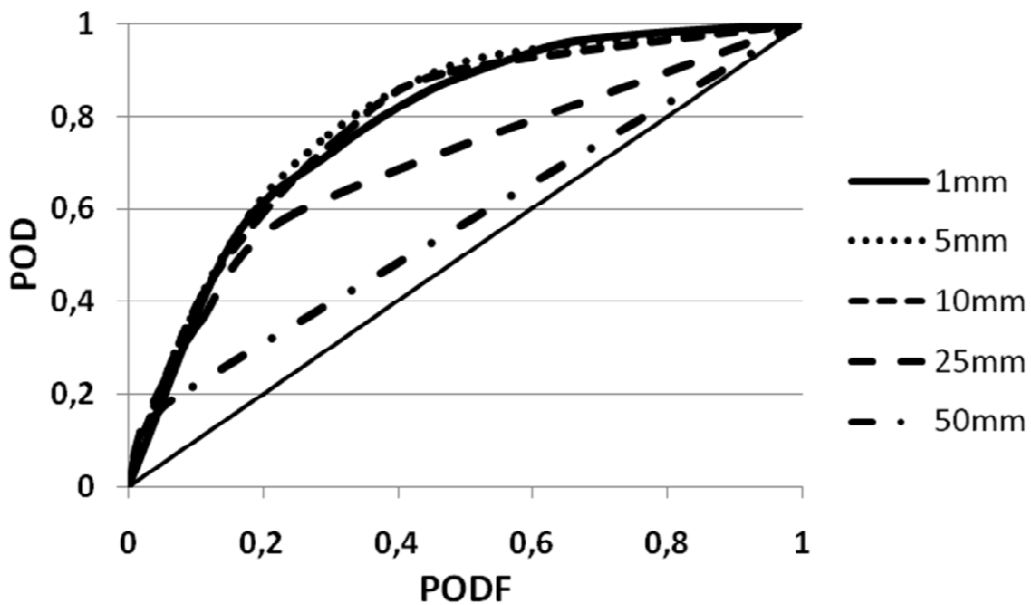


Figure 11: ROC curves for SREPH probability of 24-h accumulated precipitation using all 5 ensemble members for the 1, 5, 10, 25 and 50 mm rainfall thresholds.

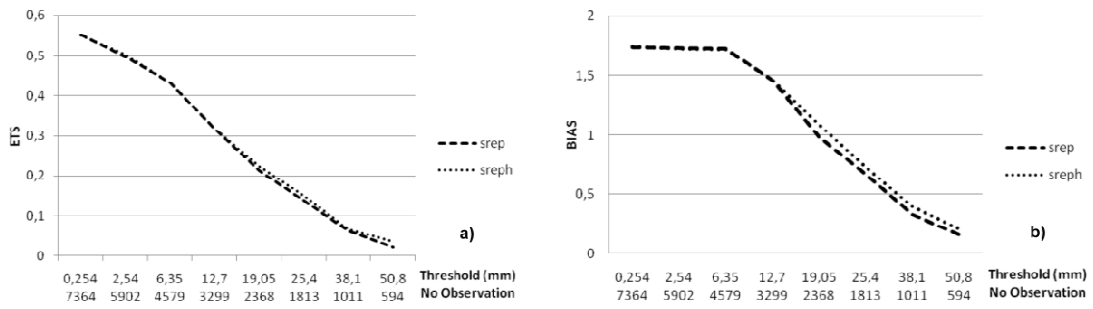


Figure 12: Scores of 24-hour accumulated precipitation from ensemble mean forecasts: a) ETS and b) BIAS. The numbers in the abscissa are the precipitation thresholds (mm) (upper row) and the number of observations in each threshold (lower row).

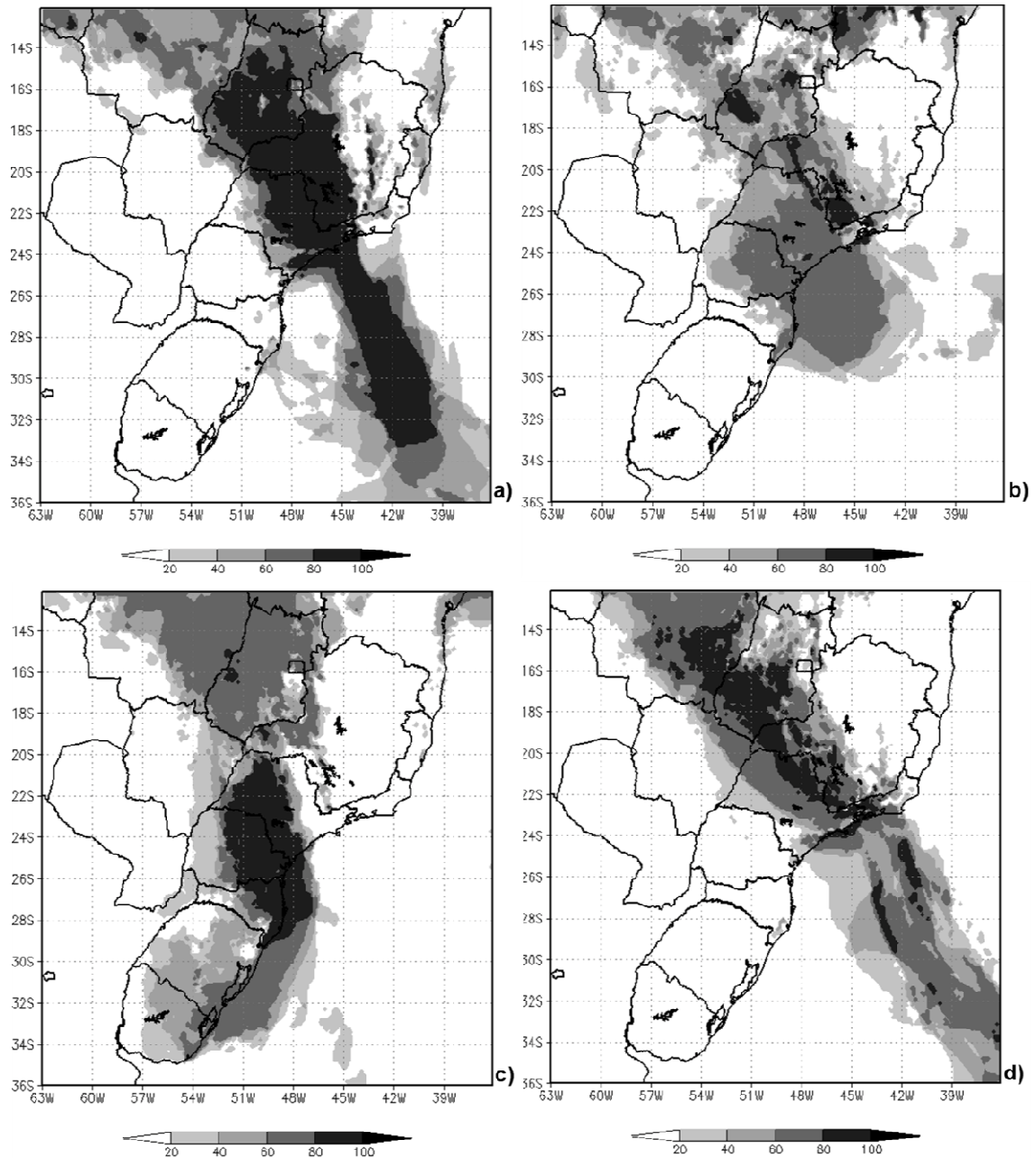


Figure 13: Probability forecast of accumulated precipitation during SACZ episode above the 50 mm threshold: a) SACZ2000; b) SACZ2003; c) SACZ2004J; and d) SACZ2004F. Probability forecast intervals are 20 %, 40%, 60% and 80%.

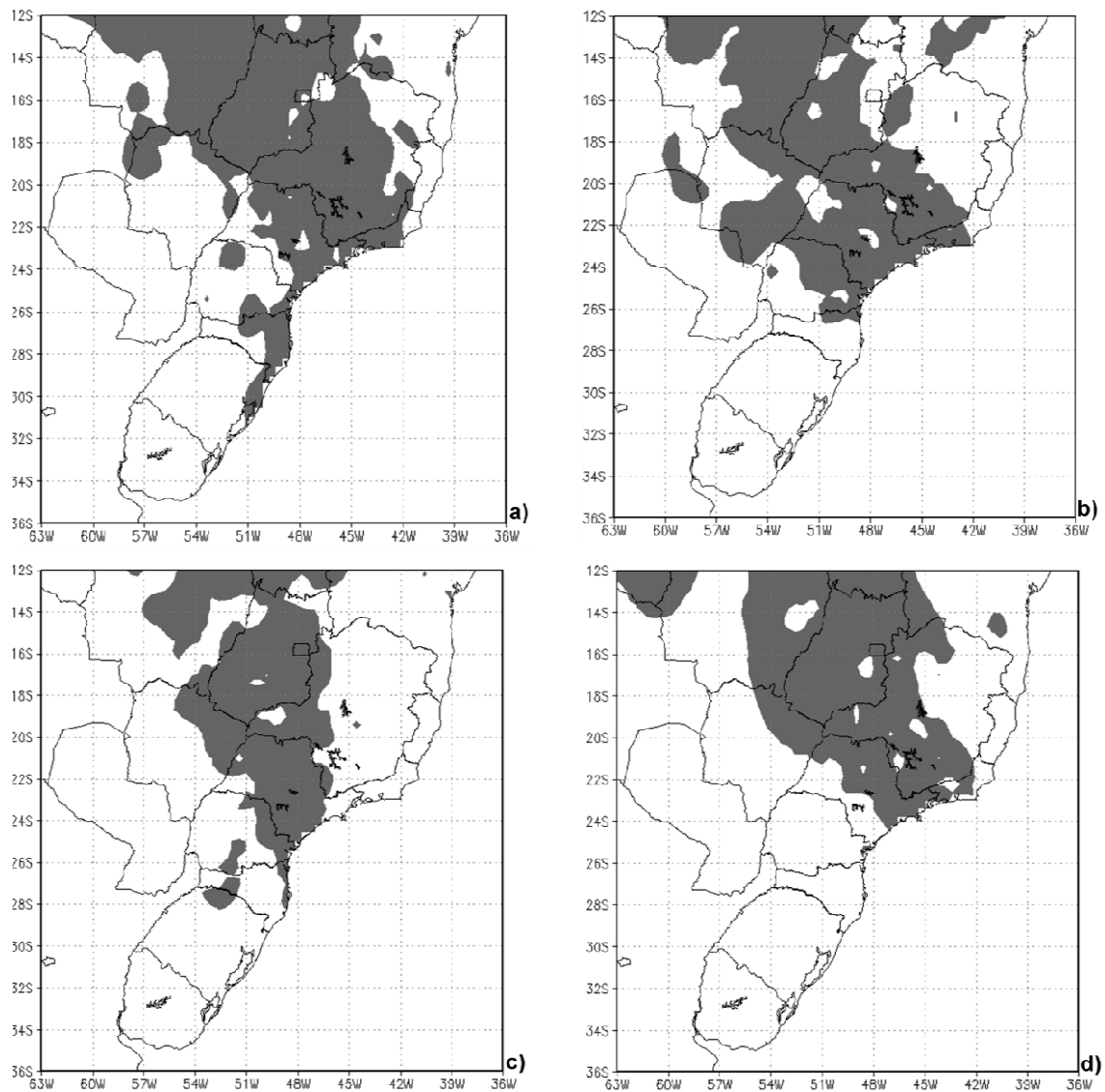


Figure 14: Observed accumulated precipitation during SACZ episodes above the 50 mm threshold: a) SACZ2000; b) SACZ2003; c) SACZ2004J; and d) SACZ2004F. Shaded areas indicate where precipitation was observed to occur above 50mm/6days.

Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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