



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/06.27.18.03-RPQ

SUPER MODEL ENSEMBLE DO CPTEC (SMEC)

José Roberto Rozante
Demerval Soares Moreira

URL do documento original:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3GHMAFL>>

INPE
São José dos Campos
2014

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

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

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

Membros:

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

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

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

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

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

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/06.27.18.03-RPQ

SUPER MODEL ENSEMBLE DO CPTEC (SMEC)

José Roberto Rozante
Demerval Soares Moreira

URL do documento original:
<<http://urlib.net/8JMKD3MGP5W34M/3GHMAFL>>

INPE
São José dos Campos
2014



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

“Quando somos bons para os outros, somos ainda melhores para nós”.

Benjamim Franklin

Aos colegas de trabalho e aos meus queridos filhos Vinícius e Gabriela.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro através do projeto “Previsibilidade de Eventos Extremos de Precipitação através de um conjunto ampliado de previsões numéricas” (Processo número: 479638/2011-0), e ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) pela disponibilização da infra-estrutura.

RESUMO

No presente estudo, é proposto um método de previsão numérica de tempo por conjunto para a região da América do Sul. Esse método leva em conta a combinações de previsões numéricas de vários modelos, atribuindo maiores pesos aos modelos que apresentem as melhores performance. Nove modelos numéricos, integrados operacionalmente, foram utilizados para a realização deste Estudo. O objetivo principal do estudo é obter um produto de previsão de tempo (curto-médio prazo) que agregue o que tem de melhor em cada um dos nove modelos utilizados no estudo, e conseqüentemente produzindo previsões mais confiáveis. O método proposto foi avaliado durante os meses de verão (dezembro 2012, janeiro e fevereiro de 2013) e inverno (junho, julho e agosto de 2013). Os resultados mostram que o método proposto consegue melhorar consideravelmente os resultados fornecidos pelos modelos numéricos, e conseqüentemente apresenta potenciais promissores para aplicações operacionais em qualquer centro de previsão de tempo.

ABSTRACT

In this study, a method of numerical weather prediction by ensemble for the South American region is proposed. This method takes into account combinations of the numerical predictions of various models, assigning greater weight to models that exhibit the best performance. Nine operational numerical models were used to perform this study. The main objective of the study is to obtain a weather forecasting product (short-to-medium range) that combines what is best in each of the nine models used in the study, thus producing more reliable predictions. The proposed method was evaluated during austral summer (December 2012, and January and February 2013) and winter (June, July and August 2013). The results show that the proposed method can significantly improve the results provided by the numerical models, and consequently has promising potential for operational applications in any weather forecasting center.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1: Esquema mostrando quais os meses de previsões (destacados em vermelho) que serão utilizados para o cálculo do viés médio a ser utilizado para o mês de janeiro de 2013 (destacado em verde).	5
Figura 3.1: Distribuição espacial dos pontos de grades dos modelos com menores valores de RMSE da pressão reduzida ao nível médio do mar, para o período de inverno (esquerda) e verão (direita).	9
Figura 3.2: Distribuição espacial dos pontos de grades dos modelos com menores valores de RMSE da altura geopotencial em 500 hPa, para o período de inverno (esquerda) e verão (direita).	11
Figura 3.3: Distribuição espacial dos pontos de grades dos modelos com menores valores de RMSE da temperatura em 850 hPa, para o período de inverno (esquerda) e verão (direita).	13
Figura 3.4: Distribuição espacial dos pontos de grades dos modelos com menores valores de RMSE da umidade relativa em 850 hPa, para o período de inverno (esquerda) e verão (direita).	15
Figura 3.5: Evolução temporal da percentagem de pontos de grade em que os modelos apresentaram os menores valores de RMSE. Linha vermelha leva em conta o desempenho dos cinco modelos globais, e linha azul considera o desempenho dos quatro modelos regionais, englobando o período de inverno e verão. (a) pressão reduzida ao nível do mar; (b) geopotencial em 500 hPa (c) temperatura do ar em 850 hPa e (d) umidade relativa em 850 hPa.	16
Figura 3.6: Média para o trimestre de verão das análises do NCEP (primeira coluna) e previsões de 168 horas do SMEC (segunda coluna) e Eta15 (terceira coluna) para as variáveis; pressão reduzida ao nível médio do mar (a,b,c), temperatura em 850hPa (d,e,f), altura geopotencial em 500 hPa (g,h,i), umidade relativa (j,l,m) e vento meridional em 850 hPa (n,o,p).	20

Figura 3.7: Média para o trimestre de inverno das análises do NCEP (primeira coluna) e previsões de 168 horas do SMEC (segunda coluna) e Eta15 (terceira coluna) para as variáveis; pressão reduzida ao nível médio do mar (a,b,c), temperatura em 850hPa (d,e,f), altura geopotencial em 500 hPa (g,h,i), umidade relativa (j,l,m) e vento meridional em 850 hPa (n,o,p).	23
Figura 3.8: Precipitação acumulada durante o período de verão para o MERGE (a), previsões de 168 horas do SMEC (b) e Eta15 (c), e seus respectivos RMSE (d,e) e ETS (f).....	25
Figura 3.9: Distribuição espacial do RMSE de 48 horas de integração do período de inverno do SMEC (coluna esquerda) e Eta15 (coluna direita), para as variáveis de pressão reduzida ao nível médio do mar (a,b), altura geopotencial em 500 hPa (c,d), temperatura do ar em 850 hPa (e,f), vento meridional em 850 hPa (g,h), umidade relativa do ar em 850 (i,j) e vento zonal em 250 hPa (l,m).....	28
Figura 3.10: Evolução temporal da média espacial do RMSE (calculado a partir das análises do NCEP) da altura geopotencial em 500 hPa (a,b), temperatura do ar em 850 hPa (c,d), vento meridional em 850 hPa (e,f), umidade específica em 925 hPa (g,h) e vento zonal em 250 hPa (i,j) para os trimestres de inverno (coluna esquerda) e verão (coluna direita).....	30
Figura 3.11: Evolução temporal da média espacial do RMSE (calculado a partir das observações) da pressão ao nível médio do mar (a,b), temperatura em 2 metros(c,d), vento zonal em 10 metros (e,f), vento meridional em 10 metros (g,h) para os trimestres de inverno (coluna esquerda) e verão (coluna direita).	32
Figura 3.12: Precipitação média para os casos selecionados.....	33
Figura 3.13: Médias das Previsões de precipitação do SMEC(1º coluna), Eta15km (2º coluna), Brams20(3º coluna), T299(4º coluna), T126MED(5º coluna) para os horários de 24(1º linha), 48(2º linha), 72(3º linha), 96(4º linha), 120(5º linha), 144(6º linha) e 168(7º linha) horas.....	34

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Principais características dos modelos utilizados.....	4

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NCEP	National Centers Environment Prediction
SMEC	Super Model Ensemble do CPTEC
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
BRAMS	Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System
SLP	Pressão Reduzida ao Nível Médio do Mar
FCT	Previsões
hr	Horas
GEO	Altura Geopotencial
TEMP	Temperatura
RH	Umidade Relativa
METAR	METEorological Aerodrome Report
SYNOP	Surface Synoptic Observations
PCD's	Plataforma de Coleta de Dados
ETS	Equitable Threat Score
GMD	Geoscientific Model Development

LISTA DE SÍMBOLOS

$^{\circ} W$	Longitude Oeste
$^{\circ} S, ^{\circ} N$	Latitude Sul e Norte, respectivamente
Σ	Somatória
K	Kelvin
σ	Erro médio
$\overline{\sigma_{(m)}}$	Viés médio
D	Total de dias
$\overline{\sigma_{(m)}^2}$	Erro quadrático médio
F, A	Previsões, Análises respectivamente
M	Modelos
x	longitude
y	latitude
z	Nível vertical
t	tempo
x	longitude

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 METODOLOGIA.....	3
2.1. CONJUNTO DE DADOS.....	3
2.2. CÁLCULO DOS ERROS E DO SMEC.....	4
3 RESULTADOS.....	7
3.1. Contribuições dos modelos.....	7
3.2. Avaliação do SMEC.....	16
3.3. Compostos de casos de precipitações intensas.....	32
4 CONCLUSÕES.....	35
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

Modelos numéricos de previsão de tempo são ferramentas importantes para o entendimento dos fenômenos meteorológicos, bem como para a realização de previsões de tempo. A previsibilidade destes modelos numéricos apresenta uma forte dependência das condições iniciais fornecidas para o modelo, e tem sido amplamente discutida desde a década de 60 (LORENZ, 1965 e 1969) até na década atual (NGAN e EPERON, 2012; CINTINEO e DAVID, 2013). Os erros que ocorrem durante a elaboração das condições iniciais podem causar grandes incertezas no sistema de previsão numérica (THOMPSON, 1957; ZHU e THORPE, 2006). Outras fontes de incertezas podem estar associadas com a representação dos processos físicos nos modelos (KRISHNAMURTI et al. 2004; van LIER-WALQUI et al. 2012). Neste sentido, o conhecimento dos erros sistemáticos ocasionados devidos às incertezas é de suma importância para realizar melhorias no sistema de previsão, a fim de minimizá-los, além de auxiliar os meteorologistas durante a elaboração da previsão do tempo.

Intercomparações entre previsões de tempo de diferentes tipos de modelos numéricos tem mostrado que o desempenho de cada um pode variar tanto em escala temporal, quanto em escala espacial (SAULO et al. 2001; SILVA DIAS et al. 2006). Sendo assim, uma combinação entre os resultados de vários tipos de modelos, ponderada pelo inverso dos seus respectivos erros, pode produzir previsões de tempo de maior confiabilidade. O conceito de utilizar a combinação de um conjunto de resultados de modelos numéricos para a melhoria na previsão foi discutido primeiramente por Krishnamurti et al (1999, 2000, 2000b), e vem sendo amplamente utilizado (YUN et al. 2003; CHAKRABORTY e al. 2007; LENARTZ et al. 2010).

Atualmente, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) integra, de forma operacional, diversos tipos de modalidade de modelos numéricos (circulação geral, oceânico-atmosférico, regionais e químico-atmosférico). No intuito de fazer uso,

da melhor maneira possível, das previsões de todos os modelos integrados no CPTEC/INPE, propõe-se neste trabalho a elaboração de um produto de previsão de tempo, de curto e médio prazo, que doravante será denominado de Super Model Ensemble do CPTEC (SMEC). Este produto tem como objetivo ponderar a previsão de cada modelo pelo inverso do seu próprio erro sistemático, logo modelos com maior erro terá menor peso e vice-versa, produzindo previsões de tempo mais confiáveis.

2 METODOLOGIA

2.1. CONJUNTO DE DADOS

Neste trabalho, para a obtenção do SMEC, serão utilizados quatro tipos de configuração do modelo de circulação geral do CPTEC/INPE (espectral com truncamento triangular e em grade gaussiana), três tipos para o modelo regional Eta e um para o Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System (BRAMS). Todos os modelos utilizam como condição inicial a análise elaborada no National Centers for Environmental Prediction (NCEP), e são integrados em diferentes resoluções espaciais. Uma interpolação bilinear será aplicada a todos os modelos a fim de padronizá-los com uma resolução de 20 quilômetros (a mesma do SMEC). Mais detalhes sobre os modelos e suas configurações podem ser vistos na tabela 1. O prazo de integração e a frequência de saídas usados em todos os modelos foram de sete dias e 6 horas, respectivamente.

O produto SMEC será gerado sobre o domínio da América do Sul e oceanos adjacentes (90°W - 20°W ; 55°S - 15°N). Esta restrição deve-se ao fato da utilização de modelos regionais que fornecem previsões abrangendo apenas este domínio. Optou-se em gerar o SMEC na resolução horizontal de 20 quilômetros por ser uma resolução que possibilita a detecção de fenômenos de mesoescala e para que tenha a mesma grade do produto de precipitação MERGE (ROZANTE et al. 2010), que será utilizado para a validação do SMEC. Para a resolução vertical serão utilizados cinco níveis em coordenadas de pressão (1000, 925, 850, 500 e 250 hPa). Estes níveis foram selecionados no intuito de representar a atmosfera em baixos, médios e altos níveis, e também por serem os níveis mais analisados pelos meteorologistas ao elaborarem as previsões de tempo.

As variáveis disponíveis no SMEC são: pressão reduzida ao nível médio do mar, temperatura do ar em 2 metros e em níveis de pressão, vento zonal e meridional em 10 metros e em níveis de pressão, altura geopotencial, umidade

relativa, e velocidade vertical. Estas são as variáveis mais utilizadas nas previsões de tempo e são as primitivas de muitas outras variáveis meteorológicas. O prazo de previsão do SMEC será de sete dias com saídas a cada 6 horas. O produto será avaliado para os meses do verão austral (dezembro 2012, janeiro e fevereiro de 2013) e inverno austral (junho, julho e agosto de 2013) e as suas previsões operacionais serão disponibilizadas em uma área pública, possibilitando a utilização do SMEC, na geração dos boletins meteorológicos, por qualquer centro de meteorologia.

Tabela 2.1: Principais características dos modelos utilizados.

Sigla	Descrição do modelo	Resolução Horizontal	Níveis verticais
T062ACO	Global - acoplado Oceano Atmosfera	~ 200 km	28
T126	Global - membro controle do ensemble	~ 100 km	28
T126MED	Global - membro médio do ensemble	~ 100 km	28
T213	Global	~ 63 km	42
T299	Global	~ 44 km	64
Eta40	Regional - membro controle	40 km	38
Eta40ZHAO	Regional - membro de física	40 km	38
Eta15	Regional	15 km	50
BRAMS20	Regional	20 km	38

2.2. CÁLCULO DOS ERROS E DO SMEC

O viés ou erro médio (σ) dos modelos numéricos é expresso pela diferença entre as previsões e as observações/análises, dado pela seguinte equação:

$$\sigma_{(M,v,x,y,z,t)} = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^{d=N} (F_{(M,v,x,y,z,t)} - A_{(v,x,y,z,t)}) \quad (2.1)$$

Onde, F, A e N indicam as previsões, análises e número de dias de previsões, respectivamente. Os erros são calculados em função dos modelos (M), variável (v), longitude(x), latitude (y), níveis na vertical (z) e tempo de integração (t). Esta diferença indica tendências das previsões em subestimar ou superestimar os valores das variáveis meteorológicas.

O viés dos modelos varia ao longo do ano em virtude das mudanças das estações. Levando em conta este fato, optou-se pelo cálculo do viés médio considerando as integrações de 168 horas (intervalos de 6 em 6 horas) durante três meses. A determinação do viés médio ($\overline{\sigma(m)}$) que será utilizado em um determinado mês (m), para cada modelo e horário de integração, é dado pela equação 2.2:

$$\overline{\sigma(m)} = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^{d=D} (F_d - A_d) \quad (2.2)$$

Onde D é o total de dias dos três meses usados para o cálculo, e nD é o número de dias de cada mês utilizado, expresso pela equação 2.3.

$$D = nD_{(m-1)} + nD_{(m-12)} + nD_{(m-11)} \quad (2.3)$$

O esquema abaixo (fig. 2.1) exemplifica o período utilizado no cálculo do viés médio a ser utilizado para as previsões do SMEC no mês de janeiro de 2013.



Figura 2.1: Esquema mostrando quais os meses de previsões (destacados em vermelho) que serão utilizados para o cálculo do viés médio a ser utilizado para o mês de janeiro de 2013 (destacado em verde).

$$D = nD_{(DEZ)} + nD_{(JAN)} + nD_{(FEV)} \quad (2.4)$$

$$D = 31 + 31 + 29 = 91 \quad (2.5)$$

$$\overline{\sigma_{(JAN)}} = \frac{1}{91} \sum_{d=1}^{d=91} (F_d - A_d) \quad (2.6)$$

Para o cálculo do erro quadrático médio ($\overline{\sigma_{(m)}^2}$) foi aplicado a mesma metodologia descrita acima, dada pela seguinte equação:

$$\overline{\sigma_{(m)}^2} = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^{d=D} (F_d - A_d)^2 \quad (2.7)$$

O SMEC, em linhas gerais, é um produto obtido a partir de combinações de previsões numéricas de vários modelos. Neste caso, o viés médio de cada modelo é retirado, e em seguida é feita uma média ponderada pelo inverso do erro quadrático médio de cada modelo. Este procedimento além de minimizar os erros sistemáticos dos modelos, atribui maiores pesos aos modelos que apresentam os menores valores de erro quadrático médio. O SMEC pode ser expresso através da seguinte equação:

$$SMEC(v, x, y, z, t) = \frac{\sum_{i=1}^{i=M} \left(\frac{F_i(v, x, y, z, t) - \bar{\sigma}_i(v, x, y, z, t)}{\overline{\sigma}_i^2(v, x, y, z, t)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=M} \left(\frac{1}{\overline{\sigma}_i^2(v, x, y, z, t)} \right)} \quad (2.8)$$

3 RESULTADOS

3.1. Contribuições dos modelos

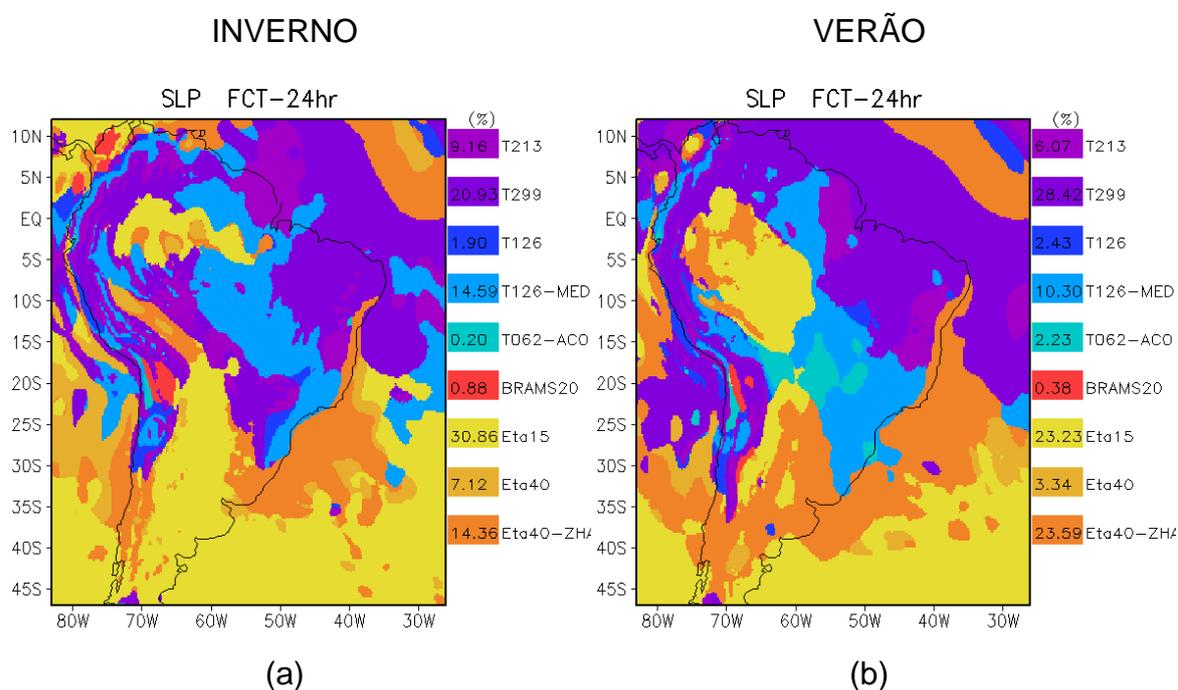
Nesta seção, serão apresentados os resultados referentes à contribuição de cada modelo para o cálculo do SMEC para os trimestres de verão e inverno. A contribuição será mostrada através da raiz do erro quadrático médio de algumas variáveis ($RMSE = \sqrt{\sigma^2}$).

A contribuição de cada modelo para o cálculo do SMEC será exemplificada para algumas variáveis, níveis e horários de integração. A identificação das regiões onde cada modelo apresenta sua maior contribuição foi realizada da seguinte forma; em cada ponto de grade, sobre o domínio da América do Sul, foi atribuído o valor numérico referente ao modelo que possui o menor valor de RMSE entre todos. Desta forma, fica caracterizada uma distribuição espacial das regiões onde cada modelo apresenta sua maior contribuição para o cálculo do SMEC.

As figuras a seguir mostram a distribuição espacial dos pontos de grades onde cada modelo, apresentou os menores valores de RMSE, conseqüentemente terão uma maior contribuição para o cálculo do SMEC. Os números no interior das legendas indicam a percentagem de pontos de grade em que o modelo obteve os menores valores de RMSE. A coluna da direita são os resultados referentes ao período de verão e os da esquerda do inverno.

Considerando a pressão reduzida ao nível médio do mar, nas integrações de 24 horas (fig. 3.1a e 3.1b) mostra que para as latitudes ao sul de 35S e sobre os oceanos, os modelos regionais do Eta apresentam erros menores em relação aos demais modelos, enquanto que para as latitudes ao norte os modelos globais são melhores (principalmente o T299). Este padrão é observado tanto para o inverno quanto para o verão. Em 48 horas de previsão (fig. 3.1d), no período de verão, o membro de física (Eta40-ZHAO) representa cerca de 50% dos pontos de grades com erros inferiores aos outros modelos.

Já no inverno (fig. 3.1c) ainda verifica-se o predomínio dos modelos Eta, porém com o Eta15 indicando maiores percentagens (~30%). Neste horário observa-se uma queda considerável do modelo T299. Um comportamento similar foi verificado nos resultados de 72, 86, 120 e 144 horas (não apresentados). Os resultados referentes a 168 horas mostram que a partir deste tempo de integração os modelos globais voltam a indicar mais regiões com erros menores, principalmente para inverno (fig. 3.1e e 3.1f).



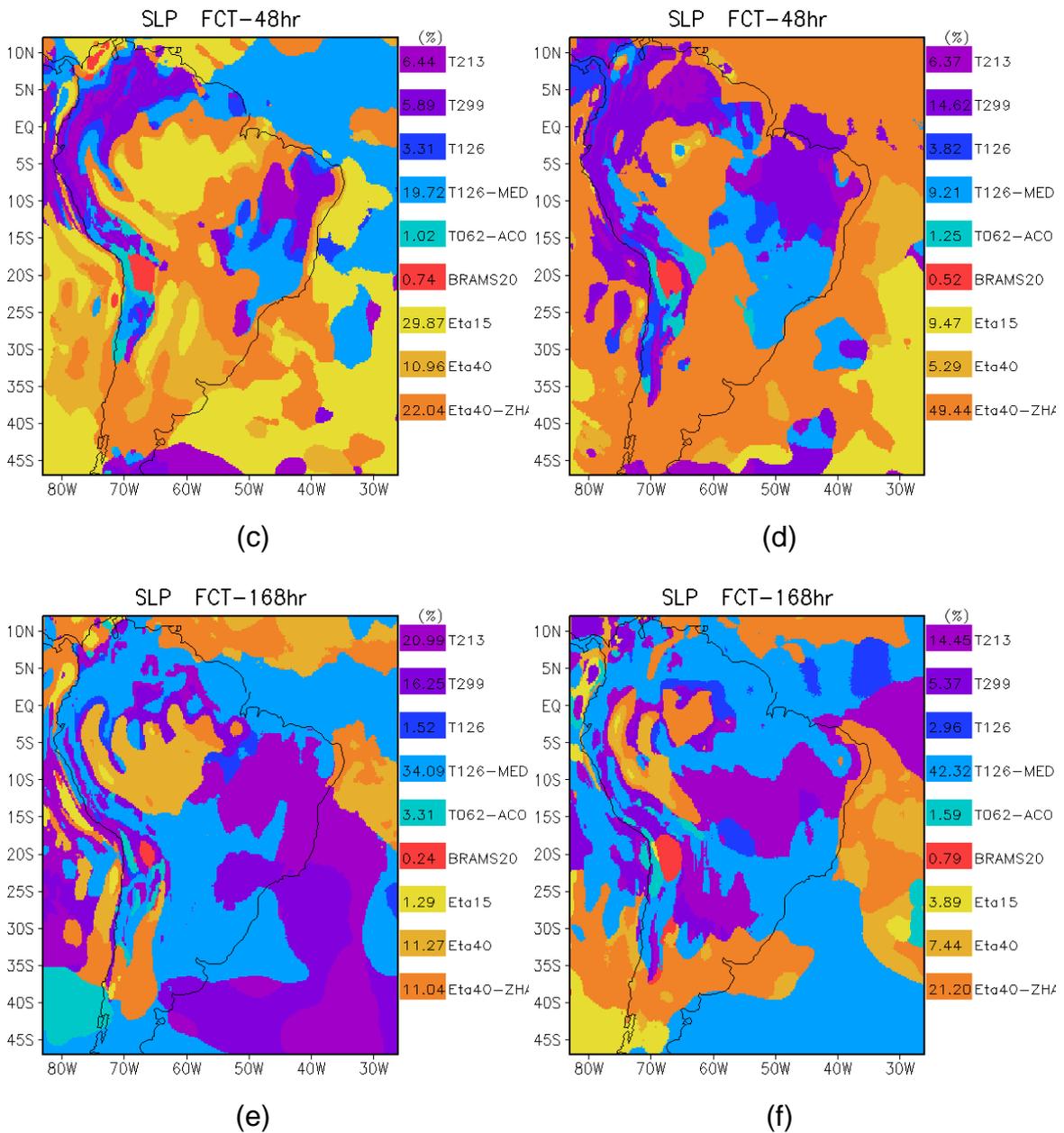


Figura 3.1: Distribuição espacial dos pontos de grades dos modelos com menores valores de RMSE da pressão reduzida ao nível médio do mar, para o período de inverno (esquerda) e verão (direita).

A altura geopotencial em 500 hPa de 24 horas no verão difere consideravelmente do verificado no inverno (fig. 3.2a e 3.2b). As principais diferenças ocorrem no interior do continente e Atlântico Norte, onde no verão o ensemble médio (T126-MED) abrange uma vasta área (em torno de 46%),

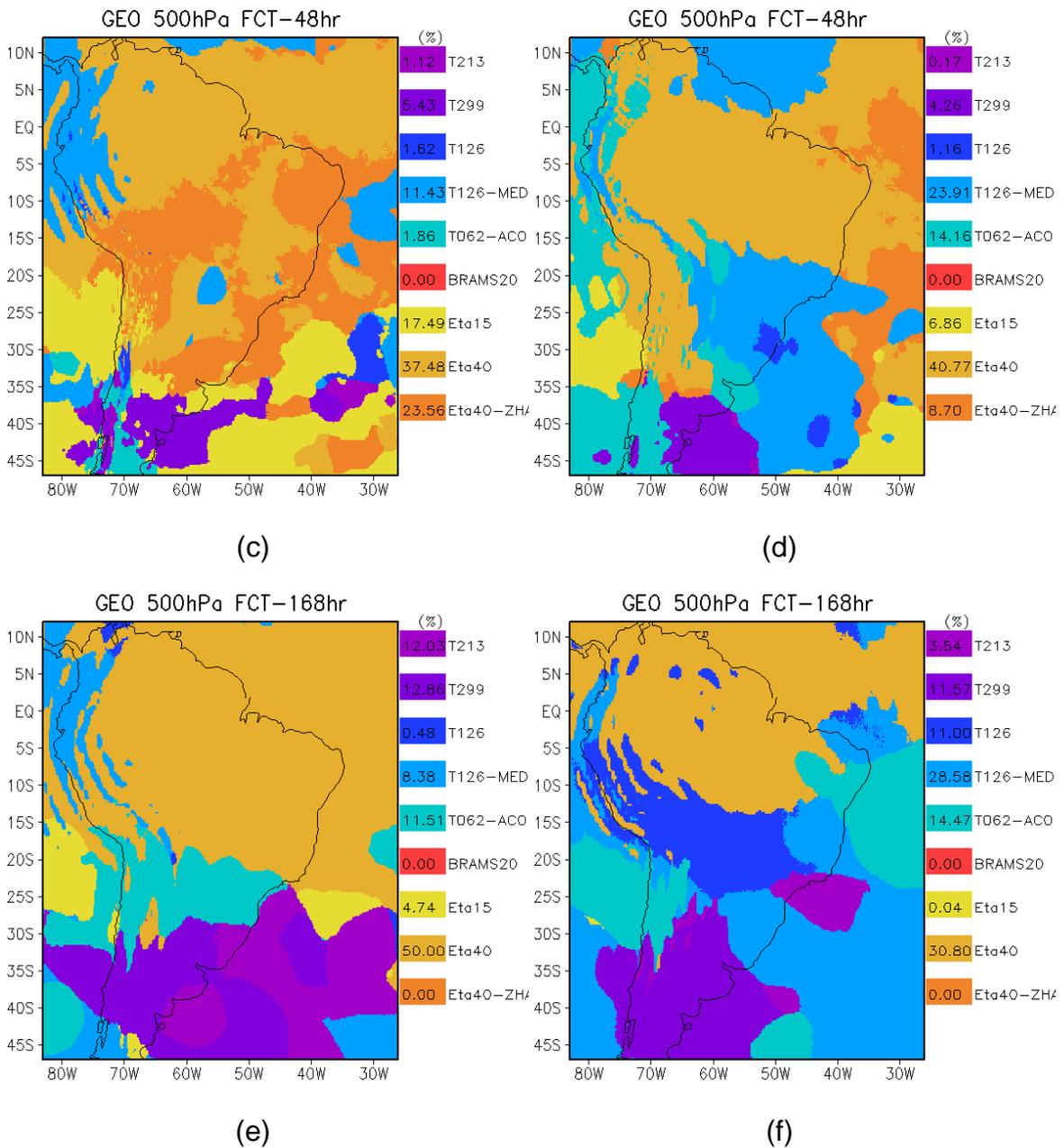


Figura 3.2: Distribuição espacial dos pontos de grades dos modelos com menores valores de RMSE da altura geopotencial em 500 hPa, para o período de inverno (esquerda) e verão (direita).

No caso da temperatura em 850 hPa para 24 horas (fig. 3.3a e 3.3b), o ensemble médio (T126-MED) foi o modelo que apresentou uma maior área de abrangência, principalmente nos meses de inverno (fig. 3.3a) onde obteve em torno de 32% dos pontos de grade com os menores valores de erros. Nos

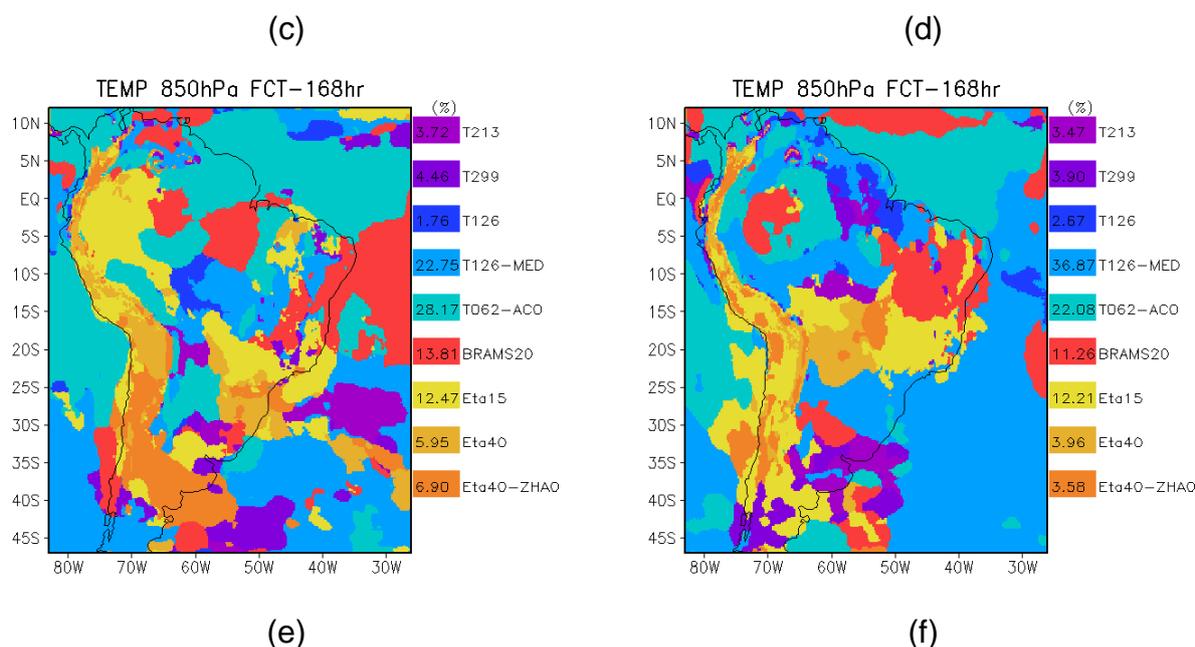
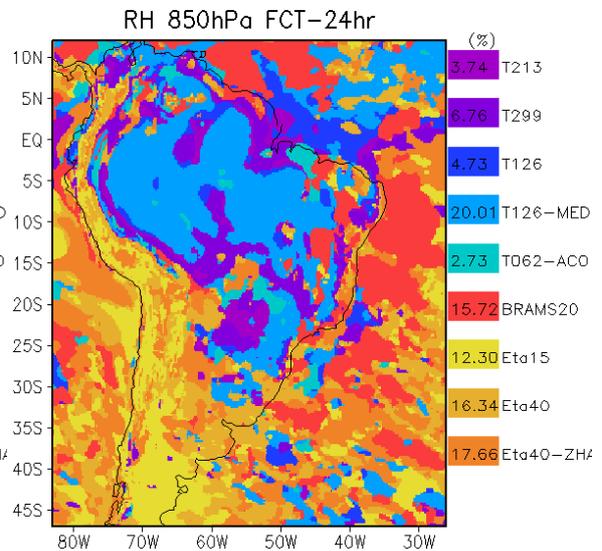
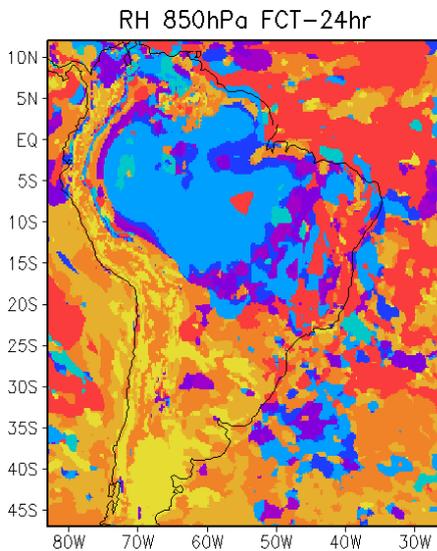


Figura 3.3: Distribuição espacial dos pontos de grades dos modelos com menores valores de RMSE da temperatura em 850 hPa, para o período de inverno (esquerda) e verão (direita).

A umidade relativa em 850 hPa apresenta padrões semelhantes entre o inverno e verão (fig. 3.4). Em 24 horas verifica-se a melhor performance ocorre por parte dos modelos regionais, sendo que nesta situação o BRAMS indica uma maior contribuição no inverno (em torno de 20%) (fig. 3.4a). Na região Amazônica, caracterizada por ser uma região bastante úmida principalmente no verão, nota-se que os modelos globais apresentam erros inferiores aos verificados nos regionais. Esse comportamento é verificado em todos os horários de integração. Na região do Pacífico, com o aumento do prazo de integração observa-se que os modelos globais tendem a diminuir os erros e conseqüentemente aumentar a área de abrangência.

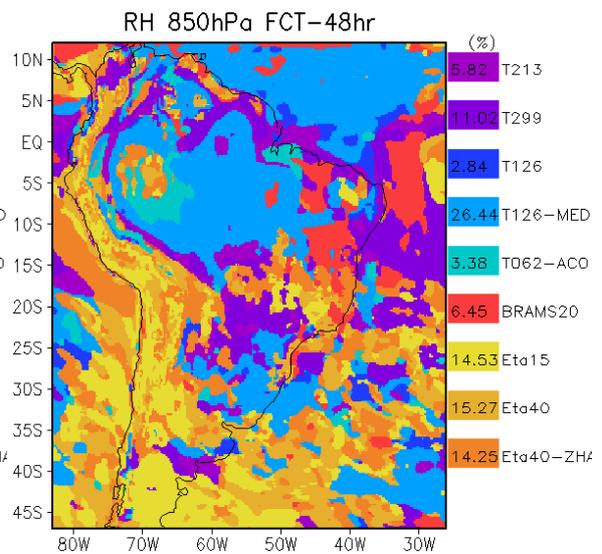
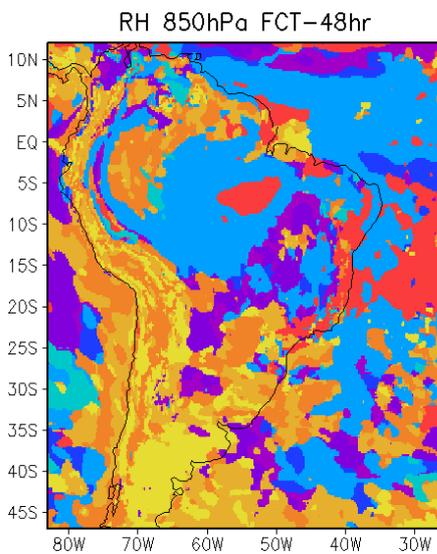
INVERNO

VERÃO



(a)

(b)



(c)

(d)

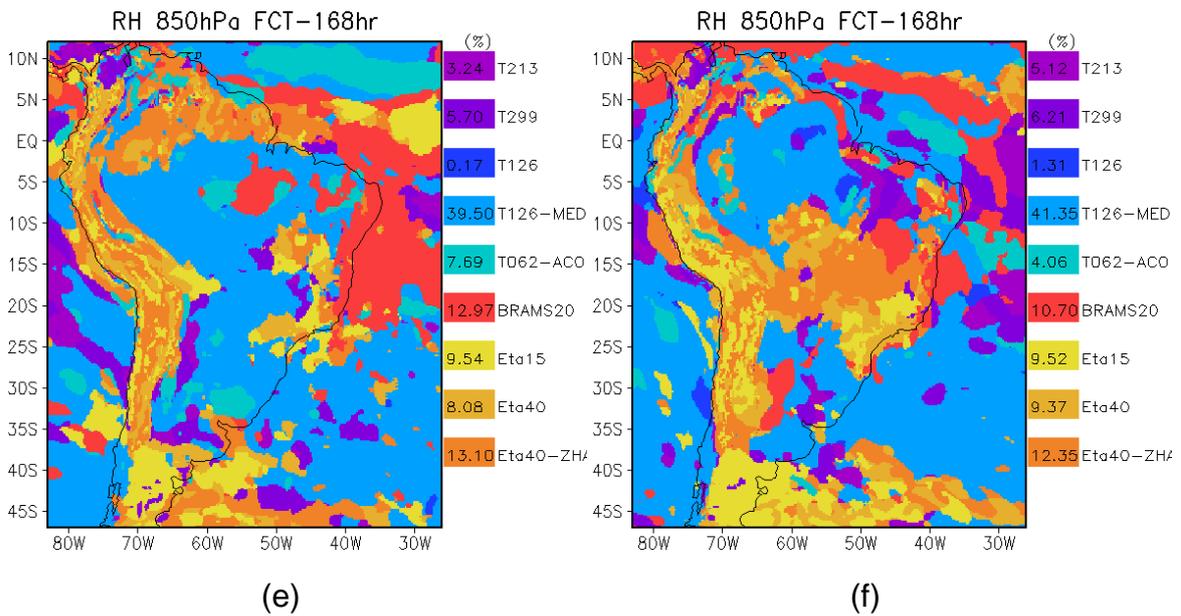


Figura 3.4: Distribuição espacial dos pontos de grades dos modelos com menores valores de RMSE da umidade relativa em 850 hPa, para o período de inverno (esquerda) e verão (direita).

A figura 3.5 Mostra a evolução temporal, para algumas variáveis, da porcentagem de pontos de grade em que os modelos apresentaram os menores valores de RMSE. Neste caso, esses pontos foram computados apenas em termos de modelos globais e regionais, e realizado uma média entre o período de inverno e verão. Através desta figura notamos um comportamento bastante semelhante entre todas as variáveis, ou seja, melhores desempenhos dos modelos regionais nas primeiras 72 horas de integração, e para integrações mais longas prevalecem os modelos globais.

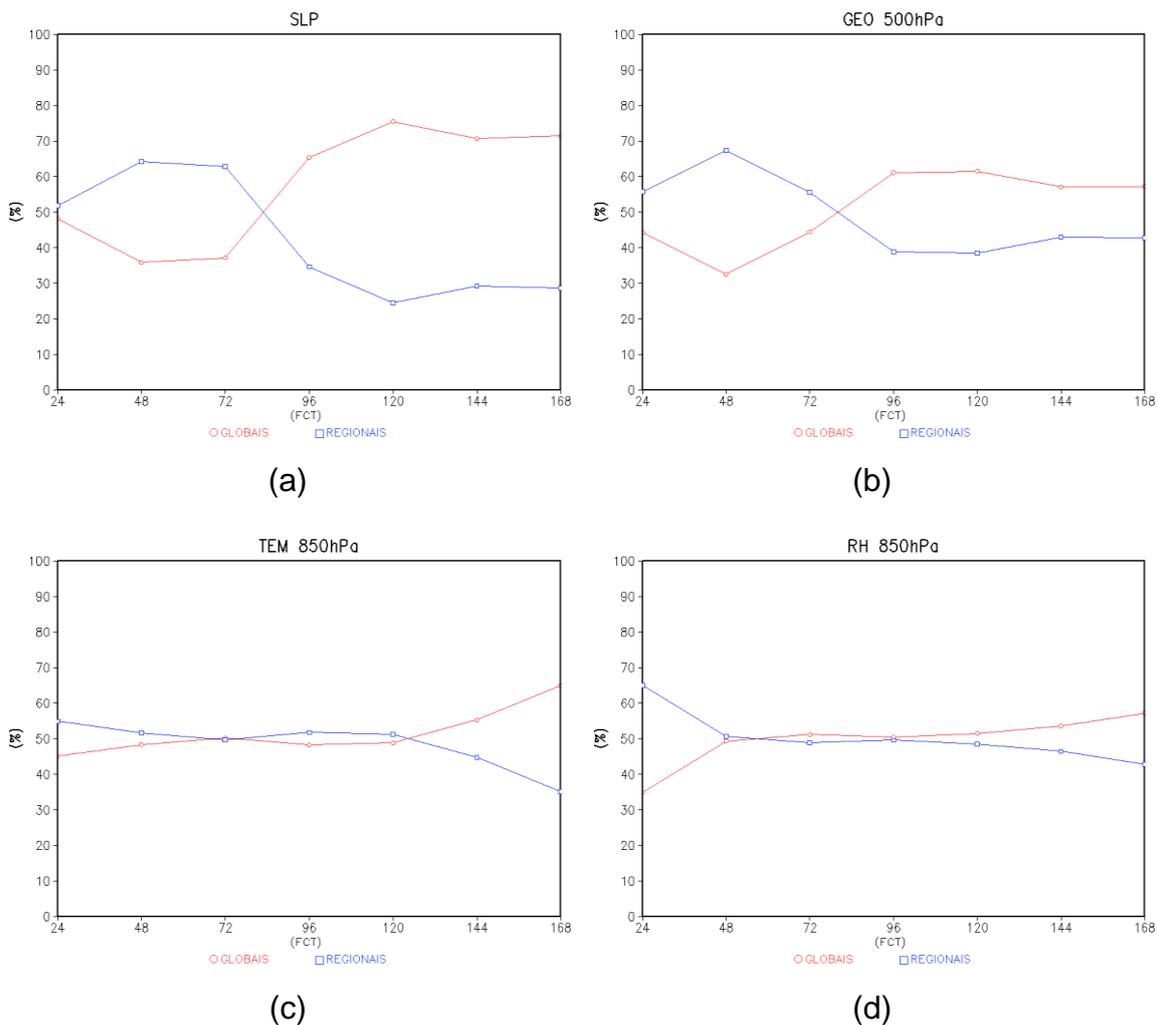


Figura 3.5: Evolução temporal da percentagem de pontos de grade em que os modelos apresentaram os menores valores de RMSE. Linha vermelha leva em conta o desempenho dos cinco modelos globais, e linha azul considera o desempenho dos quatro modelos regionais, englobando o período de inverno e verão. (a) pressão reduzida ao nível do mar; (b) geopotencial em 500 hPa (c) temperatura do ar em 850 hPa e (d) umidade relativa em 850 hPa.

3.2. Avaliação do SMEC

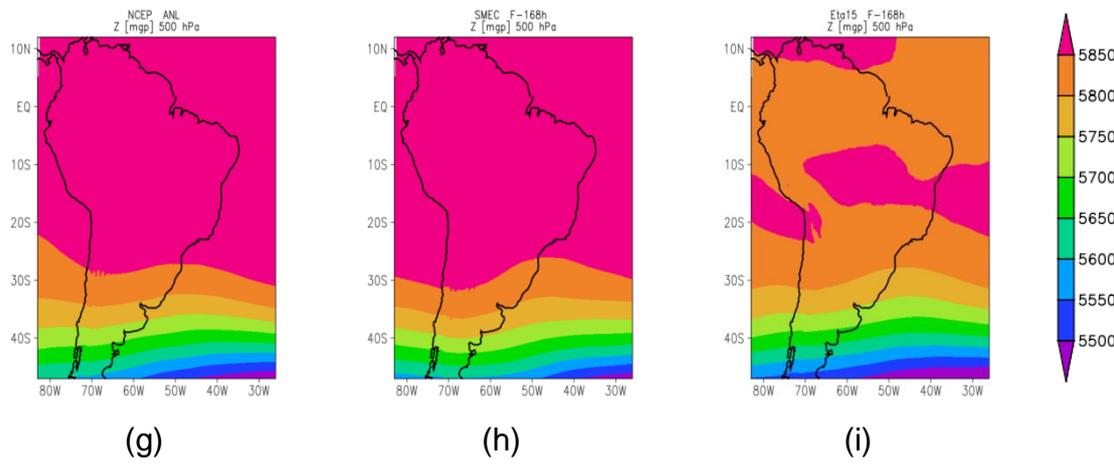
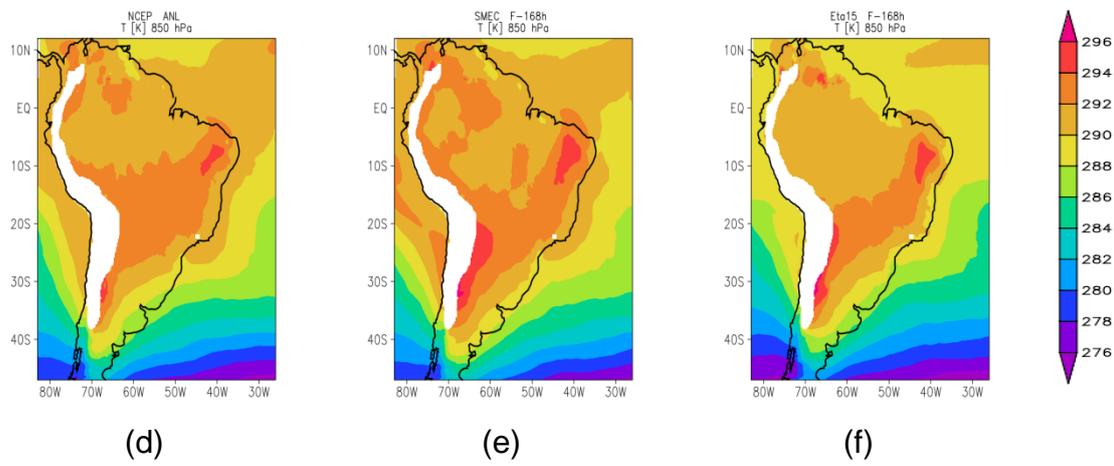
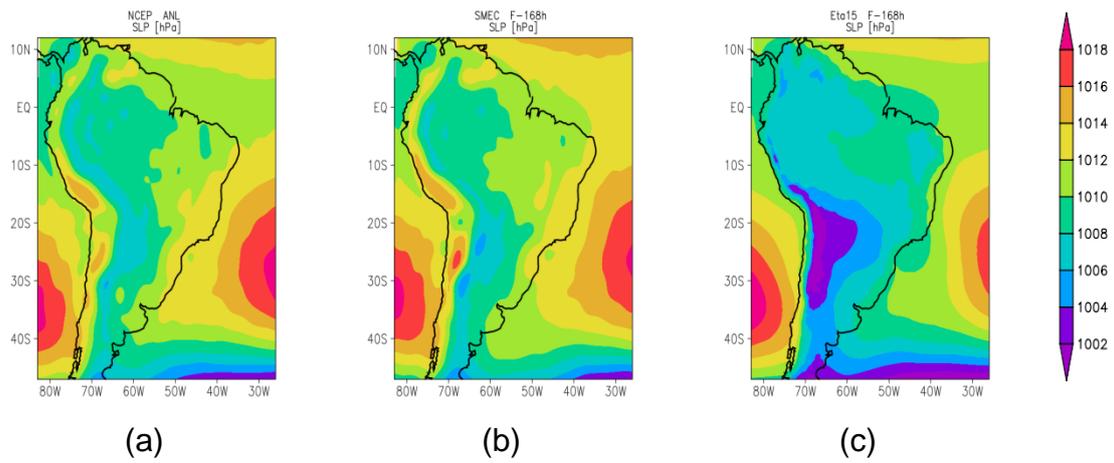
Nesta seção serão apresentadas médias de algumas variáveis obtidas a partir do sistema SMEC para o período de verão e inverno. Também será mostrada uma comparação entre as previsões do SMEC, as análises do NCEP (consideradas como “verdade”) e as previsões do Eta15. O motivo de

apresentar a comparação com apenas um dos modelos utilizados no sistema é simplesmente pelo fato de reduzir a quantidade de figuras a ser mostrada, e a escolha do modelo Eta15 deve-se ao fato deste modelo normalmente apresentar erros inferiores aos demais modelos utilizados, segundo o sistema de avaliação de modelos do CPTEC/INPE (<http://avaliacaodemodelos.cptec.inpe.br/>). Ainda nesta seção será realizada uma avaliação estatística que inclui o SMEC e todos os modelos utilizados para a sua obtenção. A raiz do erro quadrático médio (RMSE) será o principal parâmetro estatístico utilizado para quantificar a qualidade das previsões. Para as variáveis de superfície (temperatura a 2 metros, vento a 10 metros, pressão reduzida ao nível médio do mar e precipitação) serão utilizados como referência as observações em estações de superfície (METAR SYNOP e PCD's), e devido à escassez de dados observados em níveis superiores, será utilizado como referência a análise do NCEP.

A média para o trimestre de verão de algumas variáveis calculadas a partir das análises do NCEP, previsões de 168 horas do SMEC e Eta15 é mostrada na figura 3.6. A análise desta figura mostra que as previsões elaboradas a partir do SMEC apresentam padrões semelhantes às análises do NCEP, indicando que o SMEC fornece previsões consistentes. A comparação entre as análises do NCEP, previsões de 168 horas do SMEC e Eta15 indica que, em geral, as previsões do SMEC apresentam padrões mais próximos aos verificados nas análises do NCEP quando comparado com as previsões do Eta15. No caso da pressão ao nível médio do mar (fig. 3.6 a,b,c), as principais diferenças encontram-se sobre o continente, onde o Eta15 tende a subestimar os valores de pressão. Em termos de temperatura do ar em 850 hPa (fig. 3.6 d,e,f) as melhorias do SMEC em relação ao Eta15 ocorre principalmente na costa leste e oeste do continente, onde o Eta15 indica na média 2 K a menos que as análises do NCEP. O SMEC consegue prever melhor que o Eta15 a configuração e magnitude do campo médio do geopotencial em 500 hPa (fig. 3.6 g,h,i), principalmente nas latitudes ao norte de 30° S. A média da umidade

relativa em 850 hPa das análises do NCEP (fig. 3.6j) indica um padrão típico desta estação, ou seja, alta umidade na região de confluência dos ventos alísios, região Amazônica, centro oeste e faixa litorânea do sul/sudeste do Brasil. A região mais seca (menor que 20%) do domínio ficou configurada sobre o oceano Pacífico, mais precisamente na altura de 25° S. As previsões de 168 horas do SMEC (fig. 3.6l) apresenta um padrão coerente com o verificado na análise, porém a região com menores valores de umidade é prevista com maior extensão territorial, enquanto que no litoral norte do continente e região da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) o SMEC superestima os valores de umidade. Assim como o SMEC, o Eta15 (fig. 3.6m) também consegue identificar os padrões da distribuição espacial da umidade relativa, no entanto apresenta tendências em subestimar a umidade sobre o Atlântico em localizações acima da região Sudeste do Brasil e sobre a região central do continente.

No que diz respeito a componente meridional do vento em 850 hPa (fig. 3.6 n,o,p), a análise indica (fig. 3.6n) o predomínio da componente meridional do vento de sul sobre o Oceano Pacífico, exceto no extremo norte do domínio. Sobre o continente, prevalece a componente meridional do vento de norte, sendo que os mais intensos encontram-se ao longo da cordilheira dos Andes, caracterizando assim o Jato de Baixos Níveis. No Oceano Atlântico, mais precisamente entre as latitudes de 25° e 30° S também observa-se predominância de ventos de norte durante o verão. A componente meridional do vento de sul é observada na porção sul do domínio, sobre o Oceano Atlântico e no nordeste do Brasil. As previsões de 168 horas, tanto do SMEC (fig. 3.6o) quanto o Eta15 (fig. 3.6p), capturaram bem o padrão da componente meridional do vento, porém ambas tenderam a superestimar a intensidade do vento, essa característica é mais pronunciada nas previsões realizadas pelo Eta15.



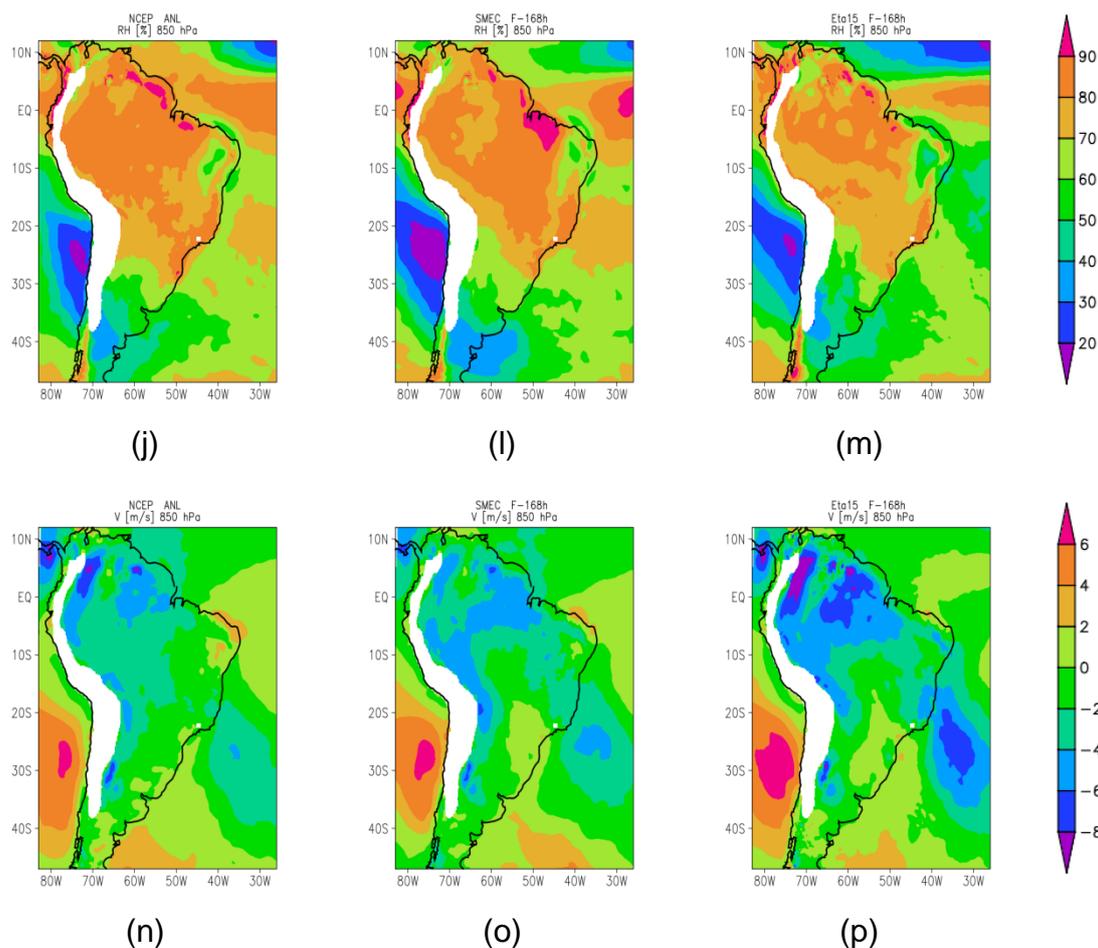


Figura 3.6: Média para o trimestre de verão das análises do NCEP (primeira coluna) e previsões de 168 horas do SMEC (segunda coluna) e Eta15 (terceira coluna) para as variáveis; pressão reduzida ao nível médio do mar (a,b,c), temperatura em 850hPa (d,e,f), altura geopotencial em 500 hPa (g,h,i), umidade relativa (j,l,m) e vento meridional em 850 hPa (n,o,p).

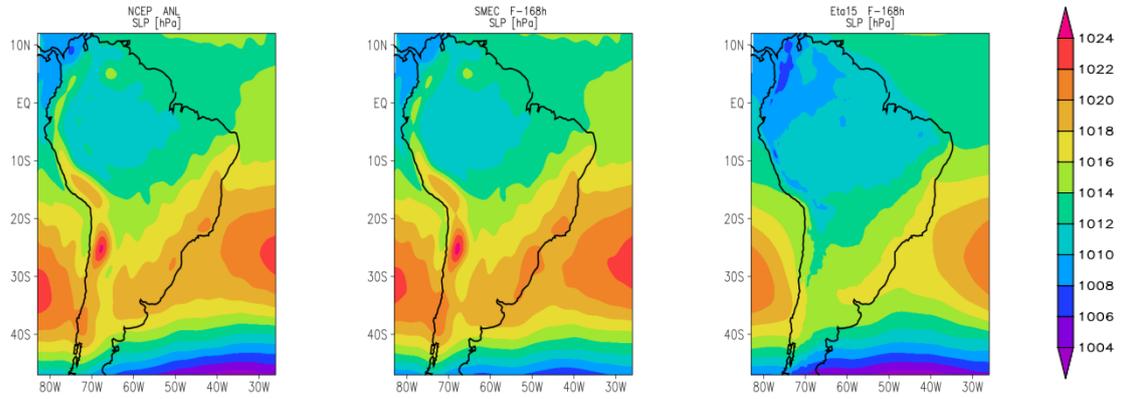
A média para o trimestre de inverno das análises do NCEP, previsões de 168 horas do SMEC e Eta15 é mostrada na figura 3.7. A média da pressão reduzida ao nível do mar para o trimestre de inverno, segundo as análises do NCEP (fig. 3.7a), indica predominância de uma região com alta pressão entre as latitudes de 40° S e 15° S, onde estão posicionadas as altas climatológicas do Atlântico e Pacífico, ambas com intensidades médias em torno de 1025 hPa. No restante do domínio verifica-se predomínio de regiões com baixas pressões, sendo que as mais intensas ocorrem no extremo sul do domínio. A média, para o mesmo período, das previsões de 168 horas obtidas a partir do

SMEC (fig. 3.7b) apresenta padrões extremamente semelhantes aos verificados nas análises do NCEP, tanto em localização quanto em magnitude, com exceção da desintensificação do centro de baixa pressão ao sul do domínio. A média para as previsões de 168 horas do Eta15 (fig. 3.7c) mostra padrões de posicionamento dos sistemas semelhantes, porém subestimando os valores de pressão, ou seja, desintensificando as altas pressões e intensificando as baixas.

A média da temperatura do ar em 850 hPa das análises do NCEP (fig. 3.7d) mostra predomínio de temperaturas mais elevadas principalmente sobre a região central da América do Sul (entre 291 a 294 K). A comparação entre este resultado e as previsões de 168 horas do SMEC (fig. 3.7e) indica padrões extremamente semelhantes em todo o domínio de integração, exceto em uma estreita faixa localizada no litoral norte do continente, onde a temperatura média foi ligeiramente subestimada. A média das previsões do Eta15 (fig. 3.7f) para as latitudes a baixo de 20° S também é consistente (posicionamento e intensidade) com o resultado das análises, no entanto, nas regiões onde ocorreram os valores mais elevados de temperatura, as previsões do Eta15 apresentaram uma tendência de subestimativas.

Assim como foi visto para o período de verão, o campo médio do geopotencial em 500 hPa previsto pelo SMEC (fig. 3.7h) assemelha-se bastante à média das análises do NCEP (fig. 3.7i), tanto em termos de intensidade quanto em termos de padrão de configuração. Já o Eta15 consegue capturas razoavelmente bem na porção sul do domínio, enquanto que a norte de 40S tende a subestimar os valores de geopotencial. No caso da umidade relativa (fig. 3.7j,l,m) observa-se que, em geral, o SMEC (fig. 3.7l) consegue captar muito bem a distribuição da umidade, no entanto superestima no nordeste do modelo, já o Eta15 (fig. 3.7j) superestima a região norte do continente. No que diz respeito ao vento meridional em 850 hPa (fig. 3.7n,o,p), tanto o SMEC (fig. 3.7o) quanto o Eta15 (fig. 3.7p) conseguem prever bem o posicionamento médio dos núcleos mais

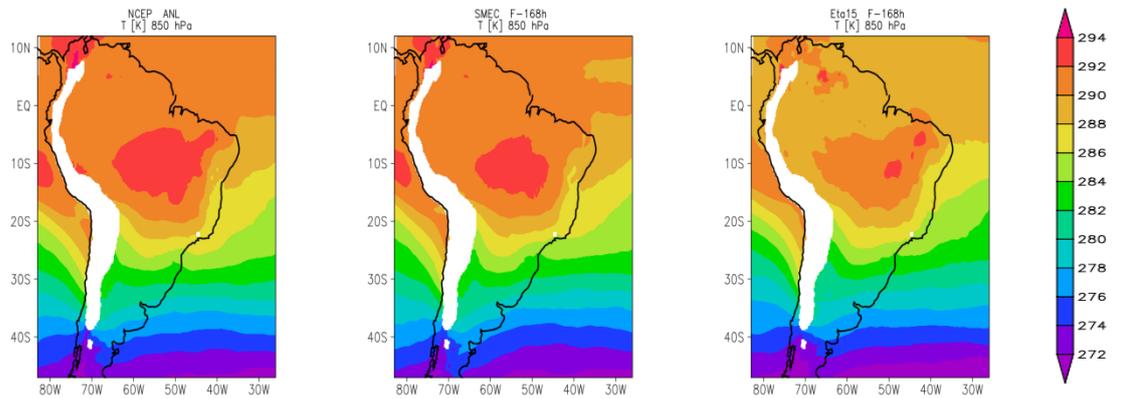
intensos, no entanto a magnitude do vento meridional é melhor prevista pelo SMEC, principalmente sobre a região Amazônica, nordeste do Brasil.



(a)

(b)

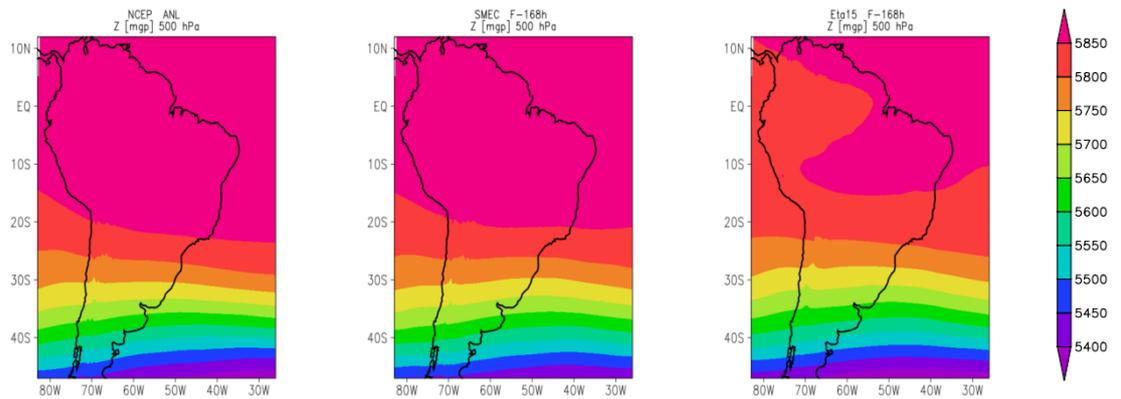
(c)



(d)

(e)

(f)



(g)

(h)

(i)

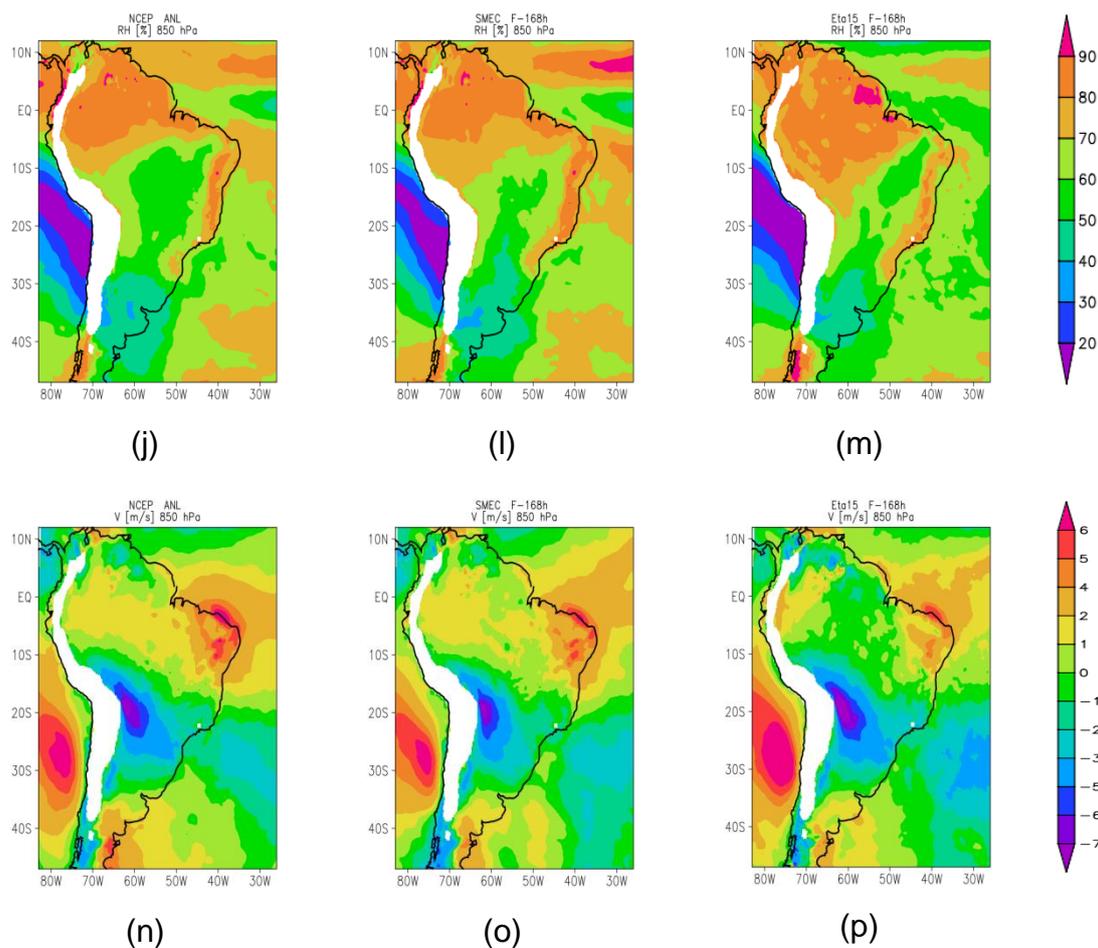


Figura 3.7: Média para o trimestre de inverno das análises do NCEP (primeira coluna) e previsões de 168 horas do SMEC (segunda coluna) e Eta15 (terceira coluna) para as variáveis; pressão reduzida ao nível médio do mar (a,b,c), temperatura em 850hPa (d,e,f), altura geopotencial em 500 hPa (g,h,i), umidade relativa (j,l,m) e vento meridional em 850 hPa (n,o,p).

A figura 3.8a mostra o total de precipitação acumulado durante o período de verão. A precipitação acumulada foi obtida a partir do produto de precipitação MERGE (Rozante et al., 2010) disponibilizado pelo CPTEC/INPE (<ftp://ftp1.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE/>). No período de verão, a precipitação concentrou-se sobre a região Amazônica, regiões sul, sudeste e centro oeste do Brasil, Peru, Bolívia e Atlântico Equatorial e Subtropical. As previsões de 168 horas do SMEC (fig. 3.8b), em geral conseguem capturar os padrões do regime de precipitação, porém apresenta tendências em subestimar a intensidade das chuvas, além de estender a área de precipitação,

principalmente na região nordeste do Brasil. Assim como o SMEC, o Eta15 (fig. 3.8c) também capturara o padrão da distribuição espacial da precipitação, no entanto com tendências de superestimativa, principalmente nas regiões próximas à cordilheira dos Andes, região centro oeste, sudeste do Brasil.

A comparação entre o RMSE da precipitação de 168 horas de integração, para o período de verão, do SMEC (fig.3.8d) e Eta15 (fig.3.8e) mostra uma redução dos erros por parte do SMEC em praticamente todo o domínio. Resultados semelhantes (não apresentados) também foram observados para outros horários de integração.

Embora os resultados referentes ao RMSE tenha mostrado uma considerável redução na magnitude dos erros, na análise quantitativa apresentada pelo índice Equitable Threat Score (ETS) (Mesinger, 2008), indica que o SMEC apresentou melhor performance apenas para limiares de precipitação até 5 milímetros (chuvas fracas), sendo que para os limiares de chuvas moderadas a intensas (acima de 10 milímetros) a performance do SMEC foi inferior a do Eta15. A figura 3.8f apresenta exemplifica este comportamento para o horário de 168 horas de integração. A queda de performance do SMEC para limiares elevados deve-se ao método de ponderação, uma vez que a precipitação é uma variável espacialmente discreta, e conseqüentemente os erros de posicionamento dos núcleos de precipitação fazem com que estes se tornem enfraquecidos e com maior área de abrangência.

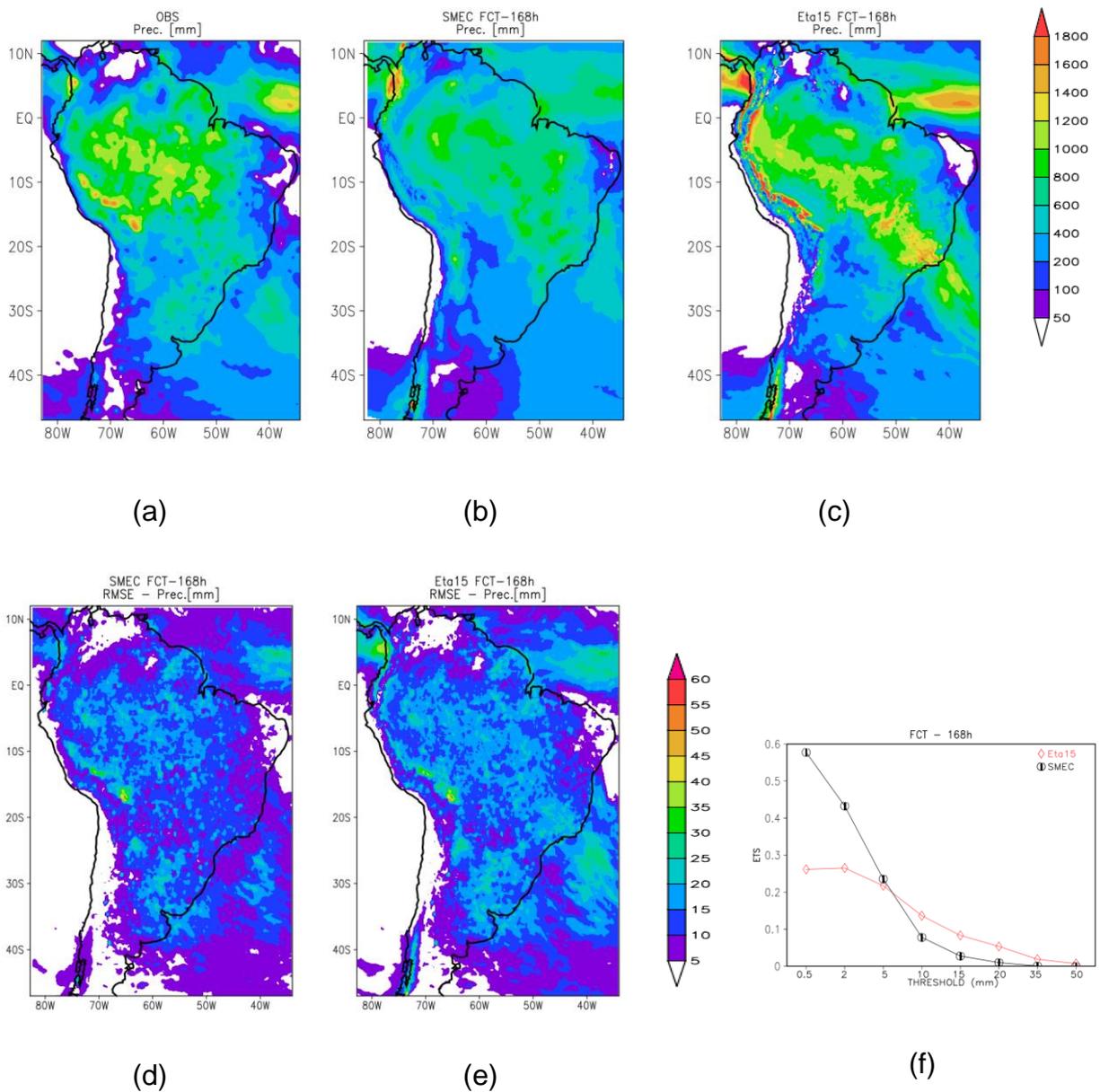
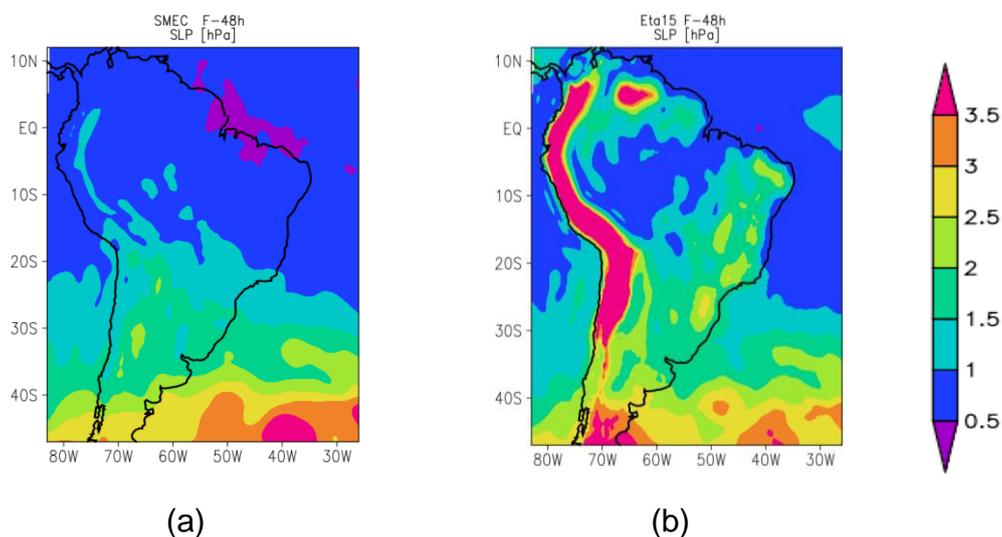
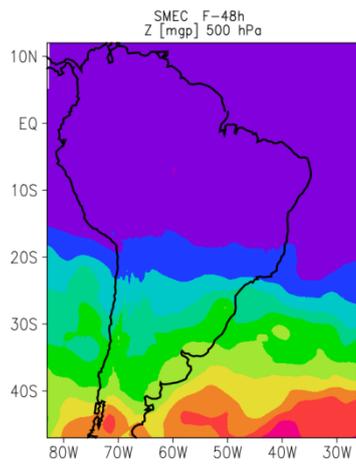


Figura 3.8: Precipitação acumulada durante o período de verão para o MERGE (a), previsões de 168 horas do SMEC (b) e Eta15 (c), e seus respectivos RMSE (d,e) e ETS (f).

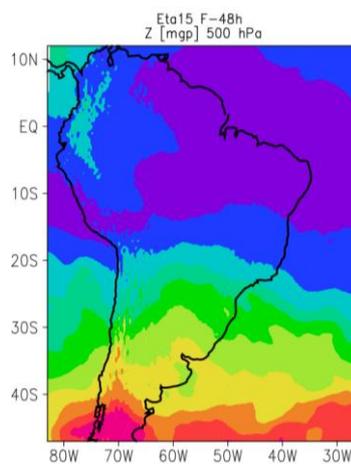
As distribuições espaciais do RMSE (calculadas em relação às análises do NCEP) das previsões de 48 horas para o período de inverno do SMEC e Eta15 são mostradas na figura 3.9. No caso da pressão reduzida ao nível médio do mar (fig. 3.9a,b), os erros do SMEC são inferiores ao do Eta15 em quase todo o domínio, exceto na porção sul sobre o oceano. A redução dos erros, por

parte do SMEC, é bastante evidenciada principalmente sobre o continente (cordilheira dos Andes, Venezuela, Sul da Argentina, nordeste do Brasil). A altura geopotencial em 500 hPa (fig. 3.9c,d) também indica valores de RMSE menores por parte do SMEC na maior parte do domínio, exceto no sul do Oceano Atlântico. As análises para as variáveis de temperatura do ar, vento meridional e umidade relativa do ar (fig. 3.9e,f,g,h,i,j), todas em 850 hPa, mostram magnitudes de erros bastante inferiores nos campos referentes ao SMEC, apenas em algumas pequenas regiões o Eta15 apresenta erros inferiores. A análise para o vento zonal em 250 hPa (fig. 3.9 l,m) indica que, na grande maioria do domínio ao norte da latitude de 30S, os erros do SMEC são inferiores aos do Eta15, no entanto nas latitudes ao sul de 30S os erros das previsões do SMEC são maiores, principalmente na região de atuação da corrente do Jato subtropical. Análises realizadas para o verão e outros horários de integração (não apresentados) também mostraram melhor qualidade nas previsões do SMEC, quando comparado com as do Eta15.

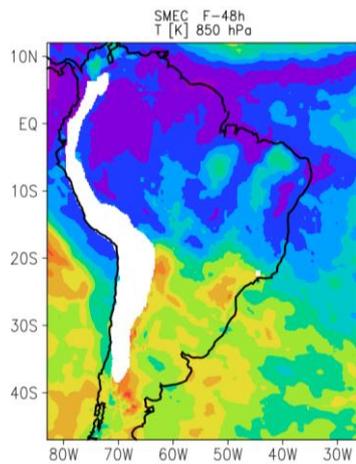
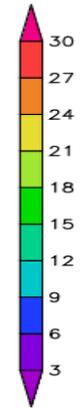




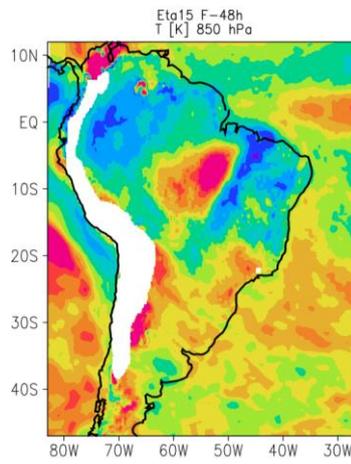
(c)



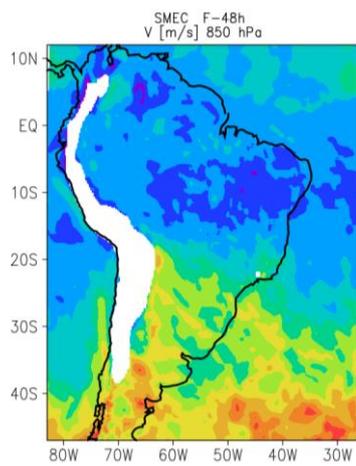
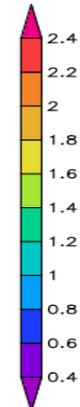
(d)



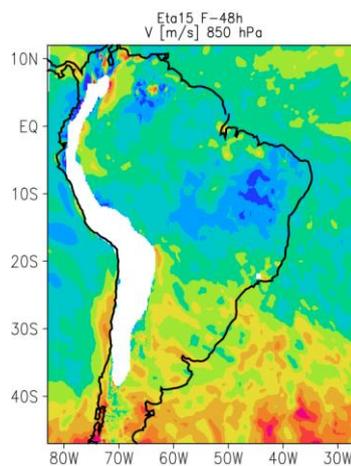
(e)



(f)



(g)



(h)



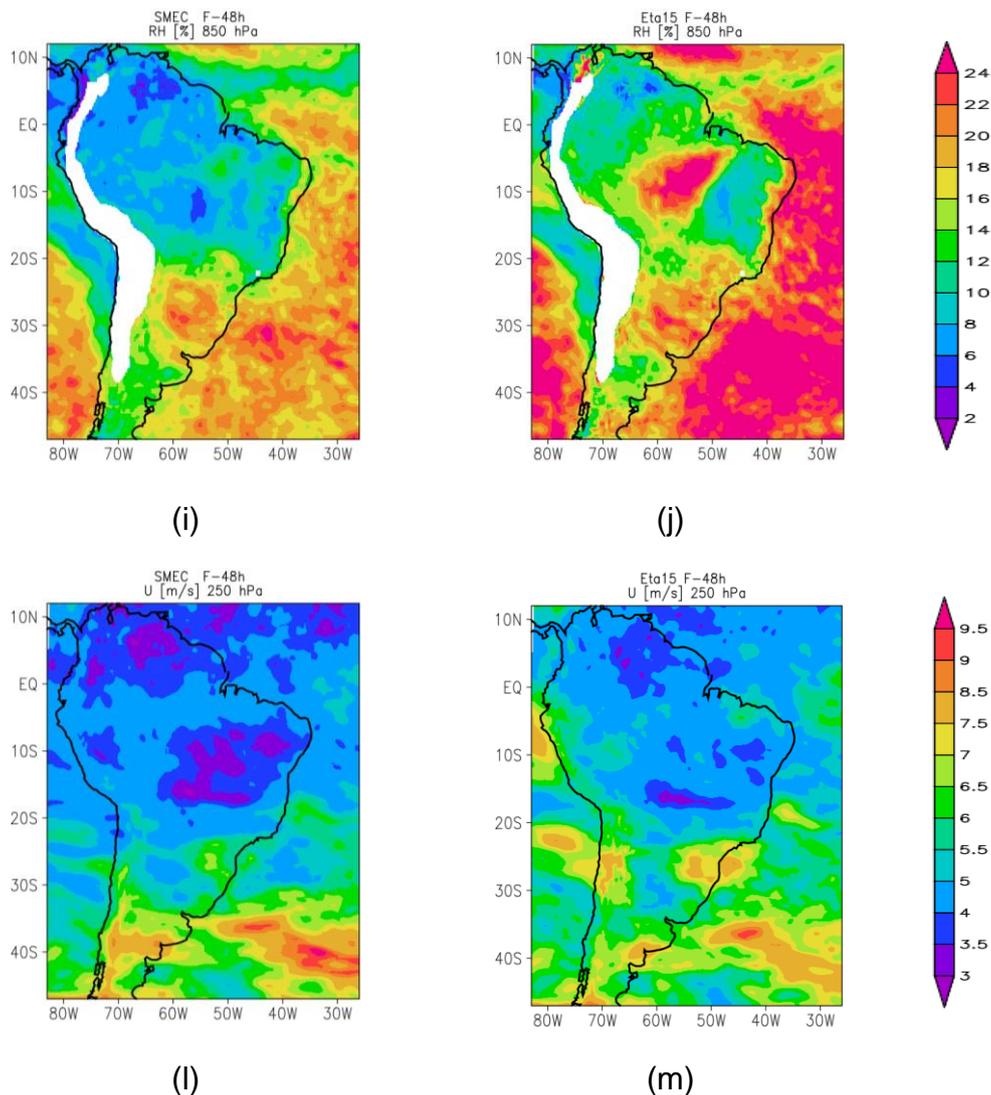


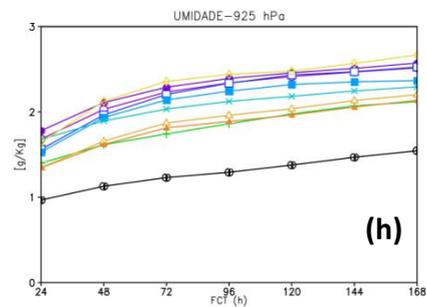
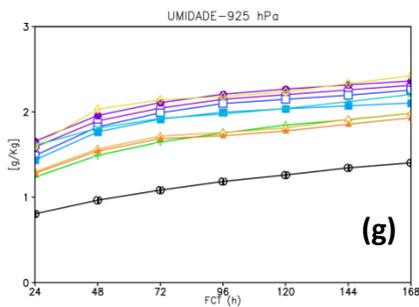
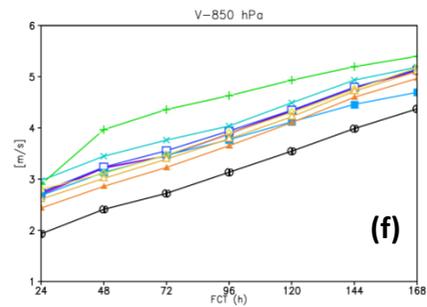
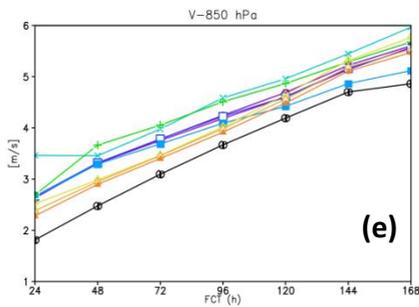
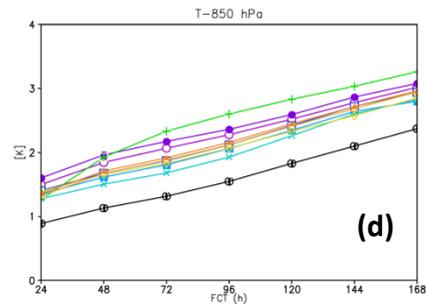
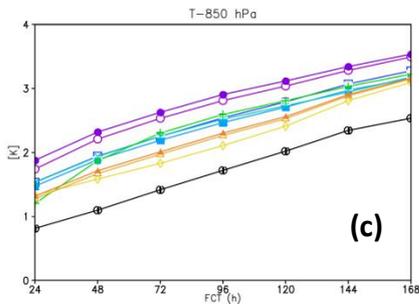
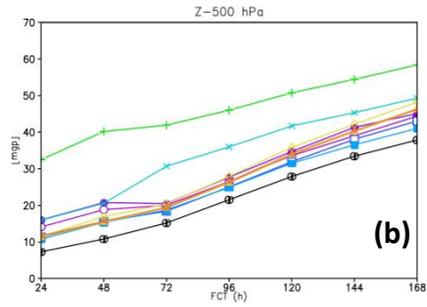
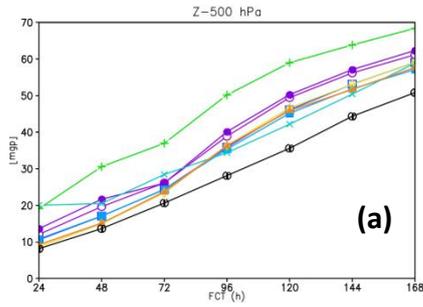
Figura 3.9: Distribuição espacial do RMSE de 48 horas de integração do período de inverno do SMEC (coluna esquerda) e Eta15 (coluna direita), para as variáveis de pressão reduzida ao nível médio do mar (a,b), altura geopotencial em 500 hPa (c,d), temperatura do ar em 850 hPa (e,f), vento meridional em 850 hPa (g,h), umidade relativa do ar em 850 (i,j) e vento zonal em 250 hPa (l,m).

A figura 3.10 mostra a evolução temporal da média espacial do RMSE para os trimestres de inverno e verão, lembrando que este índice foi obtido utilizando como “verdade” as análises do NCEP. Através das análises desta figura podemos constatar que as magnitudes dos erros para o trimestre de inverno são geralmente superiores às do verão. Este fato deve-se ao maior número de sistemas que atravessam o continente durante o período de inverno. De forma

geral, os erros relativos ao SMEC foram inferiores a todos os modelos utilizados para o seu cálculo, e em todos os horários de integração.

INVERNO

VERÃO



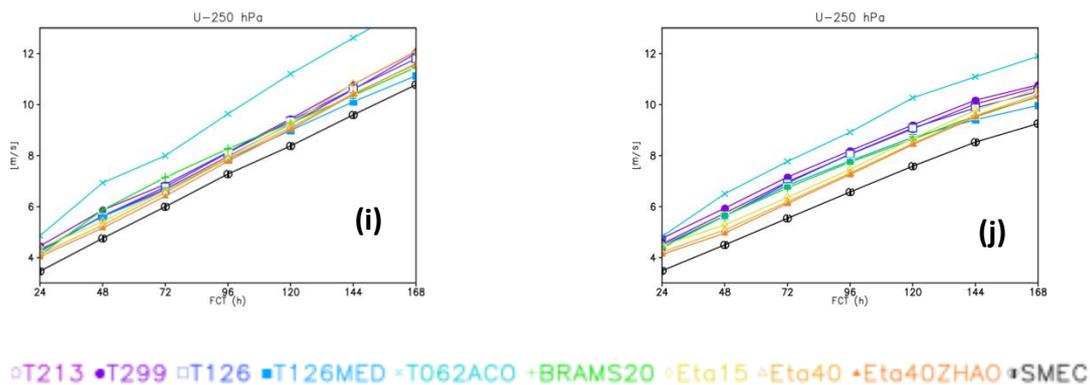
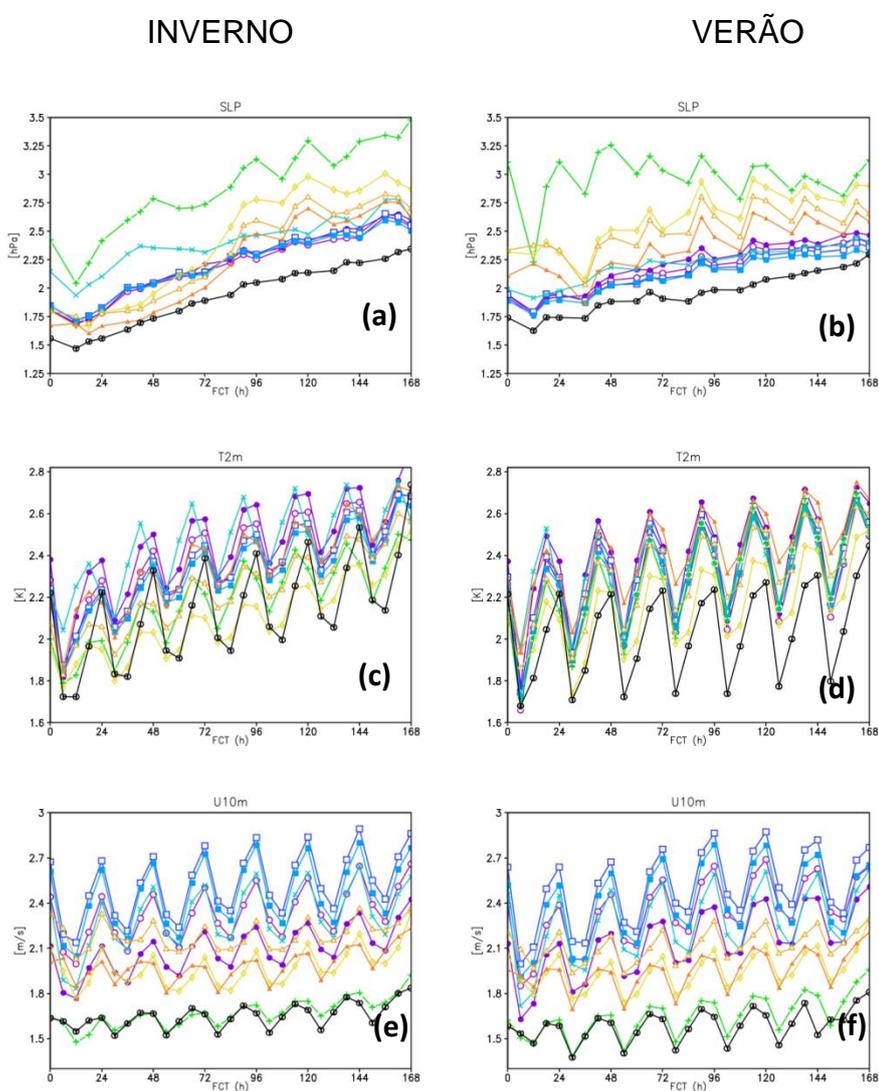


Figura 3.10: Evolução temporal da média espacial do RMSE (calculado a partir das análises do NCEP) da altura geopotencial em 500 hPa (a,b), temperatura do ar em 850 hPa (c,d), vento meridional em 850 hPa (e,f), umidade específica em 925 hPa (g,h) e vento zonal em 250 hPa (i,j) para os trimestres de inverno (coluna esquerda) e verão (coluna direita).

O cálculo do RMSE para as variáveis próximas à superfície foi realizado utilizando dados observacionais extraídos de estações meteorológicas de METAR, SYNOP e plataformas automáticas de coletas de dados (PCD's). A figura 3.11 mostra a evolução temporal do RMSE para o trimestre de inverno e verão, considerando a média em todas as observações de METAR, SYNOP e PCD's existentes no domínio, detalhes sobre esta métrica de avaliação pode ser encontrado em Moreira et al (2013). Em geral, assim como foi observado nos erros obtidos a partir das análises do NCEP, as magnitudes dos RMSE para o trimestre de inverno são superiores aos do verão. No caso da pressão ao nível médio do mar (fig. 3.11a,b) observa-se que durante todo o período de integração, o SMEC apresenta valores de erros inferiores a todos os modelos comparados. Os resultados referentes à temperatura em 2 metros (fig. 3.11c,d) indicam que para os horários de temperaturas mínimas o SMEC se comporta melhor que todos os outros modelos, no entanto, no inverno a temperatura máxima do SMEC obteve erros maiores do que os modelo regionais. Observa-se que todos os modelos globais apresentaram erros bastante significativos para as previsões da temperatura máxima. Embora o peso destes modelos fosse menor no cálculo do SMEC, a contribuição de todos os globais fez com que o SMEC também tivesse uma previsão de temperatura máxima não muito

precisa durante o inverno. Para o vento zonal em 10 metros (fig. 3.11e,f) o SMEC se mostrou muito mais preciso que os demais modelos, com exceção do BRAMS20, que apresentou erros da mesma ordem de magnitude do SMEC. No caso do vento meridional em 10 metros (fig. 3.11g,h) o SMEC e o BRAMS20 também sobressaíram, embora no verão (fig. 3.11h) os resultados referentes ao BRAMS20, a partir de 24 horas de integração, começam a divergirem consideravelmente, porém o SMEC continuou com erros inferiores aos demais modelos.



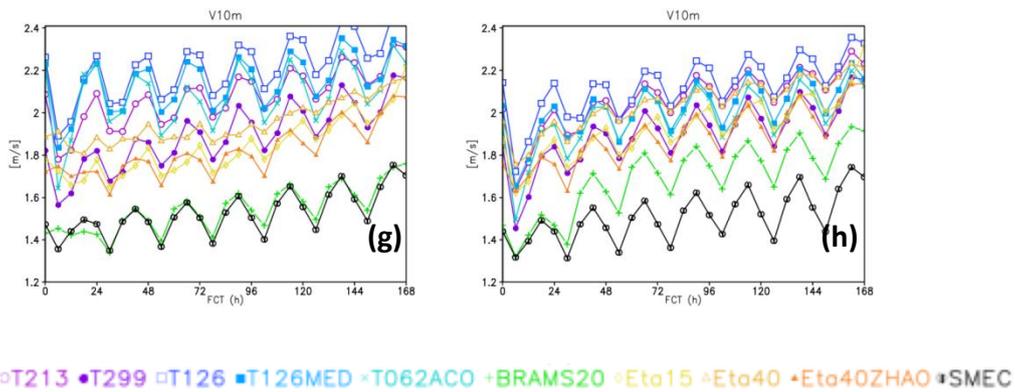


Figura 3.11: Evolução temporal da média espacial do RMSE (calculado a partir das observações) da pressão ao nível médio do mar (a,b), temperatura em 2 metros(c,d), vento zonal em 10 metros (e,f), vento meridional em 10 metros (g,h) para os trimestres de inverno (coluna esquerda) e verão (coluna direita).

3.3. Compostos de casos de precipitações intensas

Para uma análise mais detalhada da precipitação foi selecionado 10 casos de chuvas intensas ocorridas na porção sul do domínio, mais precisamente sobre o Uruguai e Rio Grande do Sul. A precipitação sobre estas regiões ocorreu devido a formação de sistemas convectivos. Estes sistemas são bastante difíceis de serem previstos por modelos numéricos com resolução baixa. A figura 3.12 mostra a média da precipitação ocorrida para todos os casos. Nota-se que os sistemas atuaram principalmente sobre o Uruguai e Rio Grande do Sul/Santa Catarina. E média, as chuvas mais fortes estão em torno de 40 milímetros.

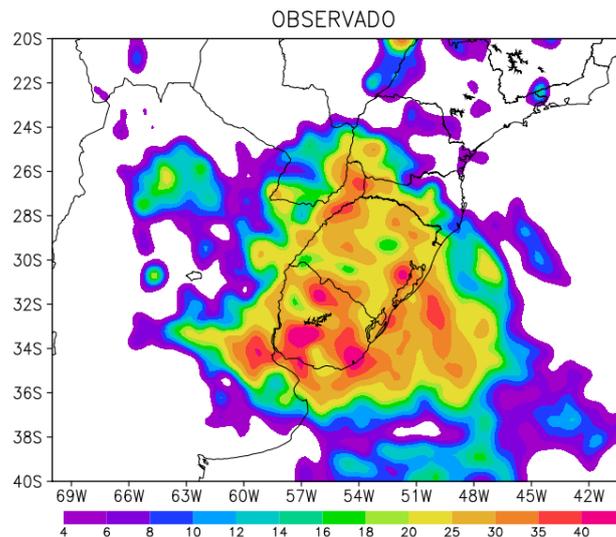


Figura 3.12: Precipitação média para os casos selecionados.

As previsões de precipitações médias do SMEC e dos modelos para o composto de casos são mostradas na figura 3.13. Para os horários de 24, 48 e 72 horas de antecedência, o SMEC e os modelos globais (T299 e T126MED) previram relativamente bem o posicionamento do núcleo de chuvas, porém os valores foram subestimados. Em termos de magnitude o Eta15 é o modelo que se aproxima mais dos valores observados, principalmente nos horários de 24 e 48 horas. O BRAMS20 desloca para noroeste o núcleo de precipitação. Para o restante da integração (96, 120, 144 e 168 horas) o SMEC já não consegue prever o núcleo de precipitação, e a tendência em subestimar as chuvas se torna ainda mais pronunciada. Note ainda que os restantes dos modelos também apresentam esta deficiência. Uma análise mais detalhada destes casos mostrou que, a partir de 72 horas de integração, nenhum dos modelos utilizados para obter o SMEC conseguiram prever os sistemas convectivos.

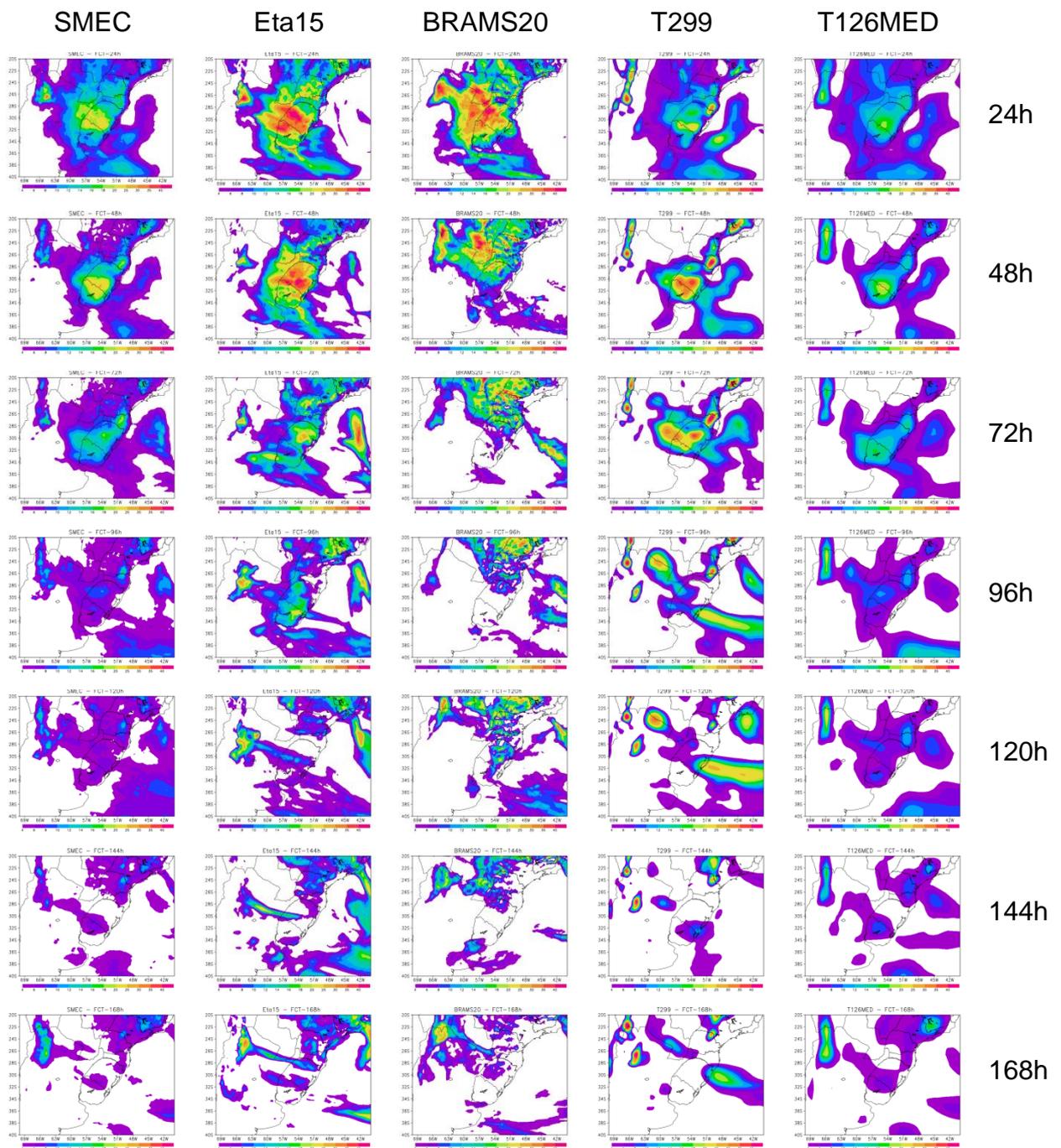


Figura 3.13: Médias das Previsões de precipitação do SMEC(1^o coluna), Eta15km (2^o coluna), Brams20(3^o coluna), T299(4^o coluna), T126MED(5^o coluna) para os horários de 24(1^o linha), 48(2^o linha), 72(3^o linha), 96(4^o linha), 120(5^o linha), 144(6^o linha) e 168(7^o linha) horas.

4 CONCLUSÕES

Neste projeto foi proposto um método (SMEC) que visa melhorar a qualidade das previsões numéricas de tempo utilizando um conjunto ampliado de previsões de vários modelos numéricos. Este método foi aplicado a nove modelos integrados operacionalmente no CPTEC/INPE com domínio sobre a América do Sul. Os resultados foram analisados para os trimestres de verão e inverno, utilizando dados observados e análises do NCEP, e comparado com as previsões do modelo que apresenta o melhor desempenho dentre todos (Eta15).

A análise no que diz respeito às contribuições de cada modelo para o cálculo do SMEC mostrou que os modelos regionais apresentam suas maiores contribuições nas primeiras 72 horas de integração, a partir deste horário as previsões elaboradas pelos modelos globais são mais precisas. Este fato deixa claro que uma combinação entre as previsões de todos os modelos em questão podem produzir um produto que agregará o que tem de melhor em cada modelo.

A avaliação subjetiva das previsões do Eta15 e SMEC, considerando como “verdade” as análises do NCEP, mostrou que as previsões geradas a partir do SMEC apresentaram um comportamento mais próximo às análises do NCEP, quando comparadas com as previsões do Eta15, em todas as situações avaliadas. Os resultados referentes ao RMSE, calculados em relação às análises do NCEP e aos dados observados, mostraram que as previsões elaboradas pelo sistema SMEC indicaram magnitudes de erros inferiores a todos os modelos utilizados para praticamente todas as variáveis, todos os níveis e para todos os horários de integração avaliados.

Em termos de precipitação, pode-se verificar que o SMEC consegue capturar os padrões de precipitação, porém indica uma tendência em subestimar as precipitações intensas e aumentar a área de ocorrência de precipitações fracas. Este comportamento está associado ao método de ponderação aplicado

para o cálculo do SMEC. Neste sentido, pretende-se em trabalhos futuros, aplicar métodos específicos para a obtenção do campo de precipitação, tais como utilizando o próprio Equitable Threat Score (ETS) como parâmetro de ponderação dos pesos.

Com base nos resultados apresentados podemos concluir que o método proposto neste projeto consegue melhorar consideravelmente os resultados fornecidos pelos modelos numéricos, podendo ser de extrema importância para estudos de fenômenos atmosféricos, bem como no auxílio à elaboração das previsões de tempo. Neste sentido, o produto SMEC apresenta potenciais promissores para aplicações operacionais em qualquer centro de previsão de tempo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste projeto possibilitou introduzir mais um método de cálculo de ensemble de previsão de tempo na literatura. A metodologia proposta e os resultados obtidos neste projeto foram divulgados na conceituada revista Geoscientific Model Development (GMD). Esta revista possui uma ampla aceitação na comunidade internacional (fator de impacto de 5.03), quando se trata de pesquisas nas áreas das ciências terrestres. O projeto também propiciou a geração de um produto operacional (SMEC) que é disponibilizado duas vezes ao dia no seguinte endereço: <ftp://ftp1.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/SMEC>. Este produto consiste em previsões tempo de até 168 horas, com saídas a cada 6 horas e resolução de 20 quilômetros. A disponibilização do SMEC oferece aos usuários a possibilidade de obter um único produto que agregue “todas as qualidades” de cada modelo integrado operacionalmente no CPTEC/INPE. Pretende-se ainda dar continuidade nesta linha de pesquisa com intuito de promover melhorias no SMEC no que diz respeito a precipitação. Acredita-se que, para o caso da precipitação, o SMEC deve ser obtido considerando vários limiares de chuva. Desta forma, a tendências em subestimar as precipitações mais intensas podem ser minimizadas, e conseqüentemente além de posicionar bem as regiões de chuvas também quantificara melhor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAKRABORTY, A.; T. N. KRISHNAMURTI; C. GNANASEELAN. Prediction of the diurnal cycle using a multimodel superensemble. Part II: Clouds. **Mon. Weather Rev.** 2007, 135, 4097–4116.

CINTINEO; REBECCA M.; DAVID J. STENSRUD. On the Predictability of Supercell Thunderstorm Evolution. **J. Atmos. Sci.**, 2013, 70, 1993–2011. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JAS-D-12-0166.1>

K. NGAN; G. E. EPERON. Middle atmosphere predictability in a numerical weather prediction model: revisiting the inverse error cascade. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 2012 138:666, 1366-1378, Online publication date: 1-Jul-2012.

KRISHNAMURTI, T. N.; C. M. KISHTAWAL; T. E. LAROW; D. R. BACHIOCHI; Z. ZHANG; C. E. WILLIFORD; S. GADGIL; S. SURENDRAN. Improved weather and seasonal climate forecasts from multimodel superensemble. **Science**, 1999, 285, 1548–1550.

KRISHNAMURTI, T. N.; C. M. KISHTAWAL; Z. ZHANG; T. E. LAROW; D. R. BACHIOCHI; C. E. WILLIFORD; S. GADGIL; S. SURENDRAN. Improving tropical precipitation forecasts from a multianalysis superensemble. **J. Climate**, 2000b, 13, 4217–4227.

KRISHNAMURTI, T. N.; C. M. KISHTAWAL; ZHAN ZHANG; TIMOTHY LAROW; DAVID BACHIOCHI; ERIC WILLIFORD; SULOCHANA GADGIL; SAJANI SURENDRAN. Multimodel Ensemble Forecasts for Weather and Seasonal Climate. **J. Climate**, 2000, 13, 4196–4216. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<4196:MEFFWA>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<4196:MEFFWA>2.0.CO;2)

KRISHNAMURTI, T. N.; J. SANJAY; A. K. MITRA; T. S. V. VIJAYA KUMAR. Determination of Forecast Errors Arising from Different Components of Model Physics and Dynamics. **Mon. Weather Rev.**, 2004, 132, 2570–2594. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/MWR2785.1>

LENARTZ, F.; B. MOURRE; A. BARTH; J.-M. BECKERS; L. VANDENBULCKE; M. RIXEN. Enhanced ocean temperature forecast skills through 3-D superensemble multi-model fusion, **Geophys. Res. Lett.**, 2010, 37, L19606, doi:10.1029/2010GL044591.

LORENZ, E. N. A study of the predictability of a 28-variable atmospheric model. **Tellus**, 1965, v. 17, p. 321-333.

LORENZ, E. N. The predictability of a flow which possesses many scales of motion. **Tellus**, 1969, v. 21, p. 289-307.

ROZANTE, J. R.; DEMERVAL SOARES MOREIRA; LUIS GUSTAVO G. de GONCALVES; DANIEL A. VILA. Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation over South America. **Wea. Forecasting**, 2010, 25, 885–894. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2010WAF2222325.1>

SAULO, A. C.; M. SELUCHI; C. CAMPETELLA; L. FERREIRA. Error evaluation of NCEP and LAHM regional model daily forecasts over southern South America. **Weather Forecasting**, 2001, 16, 697–712.

SILVA DIAS, P. L.; D. SOARES MOREIRA; G. D. NETO. The MASTER Model Ensemble System (MSMES). Preprints, Eighth Int. Conf. on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Foz do Iguaçu, Brazil, Amer. **Meteor. Soc.**, 2006., 4 pp.

THOMPSON, P. Uncertainty of initial state as a factor in predictability of large-scale atmospheric flow patterns. **Tellus**, 1957, 9, 275–295.

van LIER-WALQUI, MARCUS; TOMISLAVA VUKICEVIC; DEREK J. POSSELT. Quantification of Cloud Microphysical Parameterization Uncertainty Using Radar Reflectivity. **Mon. Weather Rev.**, 2012, 140, 3442–3466.

YUN, W-T.; L. STEFANOVA; T. N. KRISHNAMURTI. Improvement of the multimodel superensemble technique for seasonal forecasts. **J. Climate**, 2003, 16, 3834–3840.

ZHU, H.; A. THORPE. The predictability of extra-tropical cyclones: the influence of the initial condition and model uncertainties. **J. Atmos. Sci.**, 2006, 63, 1483-1497.