

UMA AVALIAÇÃO DA PREVISIBILIDADE DE TEMPO DO MODELO ETA PARA A AMÉRICA DO SUL

JOSIANE F. BUSTAMANTE, SIN CHAN CHOU, JOSÉ R. ROZANTE E JORGE LUIS GOMES

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE)
Cachoeira Paulista, São Paulo, Brasil

Recebido Outubro 2003 - Aceito Novembro 2004

RESUMO

Previsões de nove rodadas de médio prazo do modelo Eta com 40 km de resolução horizontal e 38 níveis na vertical foram avaliadas com o objetivo de determinar o prazo útil das previsões de tempo produzidas por este modelo. Foram utilizados como contornos laterais previsões do modelo global do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos e como condição inicial análise do National Centers for Environmental Prediction. Índices de desempenho, raiz quadrada do erro médio quadrático, correlações de anomalia da pressão ao nível médio do mar, da altura geopotencial de 850hPa e de 500hPa, foram calculados. As previsões do modelo Eta apresentam bom desempenho com índices de acerto maiores do que os índices de erro por superestimativa e por subestimativa. O crescimento dos erros com a integração baseado naquelas variáveis, foi obtido comparando-se as previsões com as análises do NCEP e as observações. A pressão ao nível médio do mar é prevista acuradamente em 60% dos casos durante as 240 horas de integração. A correlação de anomalia da altura do geopotencial de 500hPa é de 0.80 no sexto dia. Depois do sétimo dia, as correlações apresentam acentuada queda, seguindo o comportamento de desempenho do modelo global. A extensão das integrações do modelo Eta rodando a partir das condições de contorno do modelo global apresentam previsões de tempo úteis em aproximadamente 5 dias.

Palavras-chave: previsibilidade, previsões do modelo Eta, América do Sul, índices de acerto

ABSTRACT: EVALUATION OF THE ETA MODEL PREDICTABILITY OVER SOUTH AMERICA

Nine medium-range Eta model forecast runs with 40 km horizontal resolution and 38 levels in the vertical have been assessed in order to determine the lead time of useful weather forecasts produced by the regional model. CPTEC Global model forecast were used as lateral boundary conditions and NCEP analyses were used as initial conditions. Skill score, root mean square errors and anomaly correlations of mean sea level pressure, 850-hPa and 500-hPa geopotential heights were calculated. The Eta model forecast shows good performance as hit rates are greater than the overestimate and underestimate rates. The growth rate of the model error based on those variables is obtained by comparing the forecasts against analyses and observations. The mean sea level pressure is accurately forecast in 60% of the cases during the 240-hour forecasts. The anomaly correlation of 500-hPa geopotential height is 0.80 on day 6. After day 7, the anomaly correlations show a sharp drop. Most of the indices show that forecast skill of the regional model decay after day 7, following the global model skill behavior. The extension of the integration of the Eta model running from CPTEC global model boundary conditions shows usefulness for weather forecasts still around day 5.

Key words: predictability, Eta model forecasts, South America, hit indices

1. INTRODUÇÃO

Modelos de área limitada com alta resolução permitem representar com maiores detalhes fenômenos de escalas espaciais e temporais menores, quando comparados aos modelos globais de baixa resolução. Em alta resolução, processos de alta frequência e de subgrade, como ondas de gravidade rápidas e turbilhões se tornam importantes e podem deteriorar rapidamente a previsão. Previsões de curto prazo são previsões de alcance até 72 horas. Estas previsões são produzidas pelos modelos de área limitada e de mesoescala.

O uso de modelos de área limitada implica na

necessidade de utilizar como contornos laterais as previsões que são fornecidas pelos modelos globais de baixa resolução. Os erros provenientes destes contornos apresentam-se também como um outro fator limitante para a utilização dos modelos de área limitada além de um determinado prazo de previsão. O prazo de integração de um modelo regional capaz de produzir previsões confiáveis depende da estabilidade numérica da resolução, da qualidade das informações das condições de contorno utilizadas e da época do ano.

O modelo Eta operacional tem sido avaliado para previsões de 72 h, isto é, até três dias, sobre a América do Sul. A Figura 1 mostra o desempenho dos modelos regional

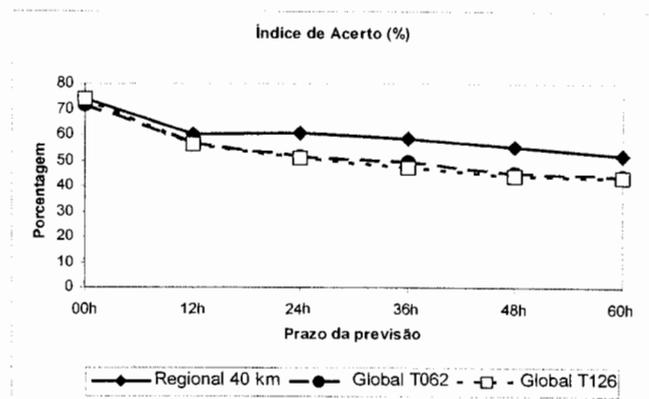


Figura 1: Desempenho da previsão da pressão ao nível médio do mar dos modelos operacionais do CPTEC em janeiro de 2002 (Fonte: METOP -Meteorologia Operacional CPTEC).

e global em termos de porcentagem de acerto da previsão da pressão ao nível médio do mar, para o mês de janeiro de 2002. Esta porcentagem de acerto é definida como o número de casos em que as diferenças entre as previsões e as observações se encontram no intervalo de $\pm 1,5$ hPa e o total de número de casos. A curva cheia em preto refere-se à eficiência do modelo regional Eta com resolução espacial de 40 km, a curva tracejada ao modelo global do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) com resolução espacial de 200 km e condição inicial proveniente do National Center for Environmental Prediction (NCEP), a curva pontilhada ao modelo global CPTEC/COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies) com resolução espacial de 100 km e condição inicial proveniente do NCEP. O melhor desempenho é notadamente o do modelo regional Eta. Em 60 horas de previsão, o modelo regional Eta apresenta um percentual de acerto superior a 50%, enquanto que os modelos globais apresentam valores em torno de 45%.

A qualidade da previsão depende de diversos fatores, por exemplo, a qualidade da condição inicial e a da condição de contorno lateral. O modelo Eta foi avaliado para uma situação de evento extremo de chuvas na Venezuela. Chou et al (2004) mostraram que o emprego de uma análise e de condições de contorno lateral em resolução maior, capturaram melhor o evento extremo. Com o pequeno domínio escolhido, os efeitos das bordas eram percebidos na região de interesse dentro do prazo de integração.

Diante destes resultados, que indicam claramente a maior previsibilidade do modelo regional, pergunta-se o quanto pode ser aumentado o prazo de integração do modelo Eta e ainda se obter previsões úteis e com alto grau de confiabilidade?

Mesinger et al. (2002) mostraram que sobre os Estados Unidos, o modelo Eta apresentou índices melhores que o modelo global do NCEP em 84 h de previsão. Apesar do modelo Eta utilizar condições de contorno lateral de uma rodada anterior do modelo global, isto é, uma rodada de 12 horas antes, o seu desempenho foi melhor que o do modelo global. Os autores apontam para a coordenada eta e o tratamento das

condições de contorno lateral como características importantes do modelo que fornecem o melhor desempenho.

Laprise et al. (2000) utilizaram o modelo climático regional canadense. Seus resultados mostraram um desempenho menor ou equivalente ao do modelo global que fornecia as condições de contorno lateral. Os autores concluíram que a contaminação pelos contornos laterais limita a previsibilidade dos modelos de área limitada.

Chou e Justi da Silva (1999) avaliaram todas as previsões de precipitação do modelo Eta sobre a América do Sul para um período de dois anos. Utilizando o índice "Equitable Threat Score", mostrou-se que, com exceção da previsão de 24 h, as previsões dos demais prazos, 36, 48 e 60 horas, apresentaram pouca diferença entre si no que se refere ao índice. Notaram, portanto, que havia pouca perda na qualidade da previsão com o prazo de integração.

Integrações de prazo estendido do modelo Eta foram avaliadas por Chou et al (1999) e Chou et al. (2002). Estas avaliações indicaram a estabilidade do modelo e a capacidade para integrações de longo prazo.

No intuito de determinar o limite máximo de integração das previsões de tempo geradas pelo modelo Eta na escala de médio prazo, foram avaliadas 9 diferentes rodadas do modelo com prazo de integração de 240 horas. Esta informação servirá de base para se determinar o limite máximo do prazo de integração no qual a previsibilidade do modelo é considerada aceitável e pode ser utilizada como ferramenta para previsões de tempo. Estas integrações cobriram meses chuvosos, secos e de transição.

O artigo está estruturado da seguinte forma: após a Introdução, uma breve descrição dos modelos, regional e global operacionais do CPTEC é apresentada na Seção 2. A Seção 3 descreve a metodologia utilizada. A seção 4 apresenta os resultados e as discussões. Na Seção 5 estão as principais conclusões.

2. DESCRIÇÃO DOS MODELOS

2.1. Modelo Regional Eta

O modelo regional operacional do CPTEC, denominado Eta, é proveniente do "National Centers for Environmental Prediction" (NCEP) (Mesinger et al., 1988; Black, 1994). Este modelo utiliza como condição inicial a análise fornecida pelo NCEP e como condições de contorno as previsões do modelo global CPTEC, estas últimas são atualizadas a cada 6 horas de integração.

A resolução horizontal utilizada é de 40 km e a vertical de 38 camadas. A grade horizontal é a grade E de Arakawa, e a coordenada vertical é a coordenada η (Mesinger, 1984). O topo do modelo está em 25 hPa. A topografia é em forma de degraus discretos na grade. 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", e os termos de advecção pelo esquema "Euler-backward". As parametrizações incluídas no modelo são: troca vertical turbulenta pelo esquema de Mellor-Yamada (1974 e

1982); radiação de onda longa segundo esquema de Lacis e Hansen (1974) e a radiação de onda curta pelo esquema de Fels e Schwarzkopf (1975); a água no solo segue o esquema de Chen et al (1997); e as chuvas convectivas são produzidas pelo esquema Betts-Miller-Janjic (Janjic, 1994). O domínio do modelo abrange a maior parte da América do Sul. A temperatura da superfície do mar é atualizada a cada dia da integração.

2.2. Modelo Global

O modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA) do CPTEC é a versão 1.7 do COLA (Center for Ocean, Land and Atmosphere Studies) com truncamento triangular. A resolução em uso é T62L28, ou seja, truncamento triangular na onda zonal de número 62 e 28 camadas na vertical. A condição inicial é fornecida pelo NCEP e a temperatura da superfície do mar é atualizada diariamente a partir da média observada da última semana.

Dentre as variáveis prognósticas do MCGA destacam-se: pressão à superfície, componente vertical da vorticidade relativa, divergência do vento horizontal, temperatura virtual e umidade específica. A topografia é tratada em forma espectral, de modo que é representada por uma série truncada, sujeita a problemas como o efeito Gibbs. Características detalhadas do modelo, inclusive suas parametrizações e esquema de integração, estão apresentadas em Bonatti (1996).

3. METODOLOGIA

A principal finalidade deste trabalho é determinar a previsibilidade do modelo Eta em relação ao avanço do prazo de previsão. Para tanto foram avaliadas 9 diferentes rodadas do modelo com prazo de integração de 240 horas.

O conjunto de dados avaliados pertence às rodadas que são executadas mensalmente com o modelo Eta no CPTEC com propósito de gerar previsão sazonal. Estas previsões sazonais são iniciadas sempre no décimo quinto dia de cada mês e integradas até 4 meses e meio de previsão. Para estas rodadas o valor da temperatura da superfície do mar é atualizado diariamente a partir da persistência da anomalia de temperatura da superfície do mar.

As integrações utilizadas foram realizadas para os meses de maio de 2001 a janeiro 2002, uma a cada mês. Deste modo as variações decorrentes de alguns efeitos sazonais foram incluídas na avaliação. As avaliações foram baseadas nas seguintes variáveis previstas pelo modelo: pressão ao nível médio do mar (PNMM) e altura geopotencial em 850 e em 500 hPa (Z850 e Z500, respectivamente).

A variável PNMM foi avaliada em comparação tanto com os dados observados quanto com as análises provenientes do NCEP, enquanto que a altura geopotencial foi comparada somente com as análises, por existirem poucos dados observacionais de altitude.

O erro da previsão é definido como a diferença entre o valor previsto e o observado, ou a diferença entre a previsão e análise do NCEP. A partir do erro da previsão, foram calculados:

os índices de acerto, subestimativa, superestimativa, o erro médio e a raiz quadrada do erro quadrático médio (REQM).

Os índices de desempenho são definidos como:

- Acerto: o erro da previsão se encontra no intervalo de valores de erros críticos pré-determinados;
- Subestimativa: o erro da previsão se encontra abaixo do negativo do erro crítico pré-determinado;
- Superestimativa: o erro da previsão se encontra acima do positivo do erro crítico pré-determinado;
- ERRO MÉDIO: média da diferença entre previsão e análise ou observação, indica o erro sistemático.

$$Erromedio = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)$$

- REQM: raiz quadrada do erro médio quadrático entre a previsão e a observação ou análise.

$$REQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}$$

Sendo: P_i são os viores previstos, O_i são os viores observados ou das análises e n o número de pontos do domínio avaliado.

A correlação de anomalia é um índice de desempenho comumente utilizado para avaliar modelos de previsão de médio prazo. A correlação de anomalia é definida como a correlação linear entre as anomalias dos valores previstos e as anomalias das análises. A anomalia, por sua vez, é calculada em relação à climatologia observada. A climatologia observada é proveniente da reanálise NCEP no período entre 1950-1998.

$$corr = \frac{\sum \{[(F - C) - \overline{(F - C)}] * [(A - C) - \overline{(A - C)}]\}}{\sqrt{\sum [(F - C) - \overline{(F - C)}]^2 * \sum [(A - C) - \overline{(A - C)}]^2}}$$

onde: F são os valores previstos, C os valores climatológicos e A os valores das análises. A barra refere-se aos valores médios.

Os valores críticos adotados para os índices de acerto, subestimativa e superestimativa estão relacionados na Tabela 1.

Os índices foram calculados também para as previsões do modelo global. Os padrões dos campos de pressão ao nível médio do mar e da precipitação acumulada em 24 horas foram comparados com os padrões observados para um dos casos avaliados.

Variável	Acerto	Subestimativa	Superestimativa
PSLM	+3 e -3 hPa	abaixo -3 hPa	acima +3 hPa
Z850 hPa	+30 e -30 m	abaixo -30 m	acima +30 m
Z500 hPa	+50 e -50 m	abaixo -50 m	acima +50 m

Tabela 1: Valores críticos para os índices acerto, subestimativa e superestimativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Será apresentada a evolução dos índices com o prazo da previsão, dessa forma pode-se identificar o instante em que há alguma queda significativa na qualidade das previsões. Os valores plotados no eixo x das figuras (2, 3, 4, 5 e 6) correspondem aos valores calculados a cada 12 horas de previsão de maneira que D+1 corresponde a 24 horas de previsão, D+2 a 48 horas de previsão, assim por diante, até D+10 correspondendo a 240 horas de previsão.

Previsões de médio prazo são produzidas pelo modelo global, portanto, é importante mostrar se as previsões do modelo regional apresentaram ganho de qualidade sobre as do modelo global e o prazo do ganho.

4.1. Índices de acerto, superestimativa e subestimativa

O uso das previsões do modelo global como condições de contorno lateral do modelo Eta implica em alguma influência da qualidade das previsões daquele modelo sobre a qualidade das previsões do modelo regional, o que pode ser observado principalmente com o avanço do prazo de integração. Os padrões de grande escala e também os erros do modelo utilizado nos contornos laterais são transferidos para o interior do domínio aninhado.

As Figuras 2.a-c mostram os índices médios entre os casos dos nove diferentes meses avaliados para os modelos global e regional. Os índices foram determinados comparando-se as previsões com análises provenientes do NCEP.

O modelo regional apresenta um bom desempenho para a previsão da altura geopotencial de 500 hPa (Z500) (Figura 2.a), entretanto a partir do oitavo dia, D+8, o acerto é menor que 60%. O limiar de 60% é geralmente adotado como o limiar de previsões úteis. A partir de D+5, as previsões de Z500 do modelo global começam a superar as do modelo regional. Ressalta-se que entre D+4 e D+8, há uma queda significativa na frequência de acertos desta variável. A causa desta queda pode ser notada pela curva da frequência de erros por superestimativa. A partir de D+4 a curva mostra que o modelo regional passa a apresentar superestimativa mais frequentemente que o modelo global. Em D+10, a superestimativa é de 40 %, enquanto que a do modelo global é inferior a 20 %. Por outro lado, a frequência de erro por subestimativa da altura geopotencial de 500 hPa é maior nas previsões do global.

Passando para a baixa troposfera, a previsão da altura geopotencial em 850 hPa (Figura 2.b) do modelo regional apresenta em geral melhor desempenho do que o modelo global. O acerto ocorre em todos os prazos de previsão até 10 dias em mais de 70 %. A melhoria se estende também para as frequências de erros por superestimativa e por subestimativa, em todos os prazos de previsão o modelo regional apresentou menor erro. O ganho no desempenho foi constante durante o prazo de 10 dias.

A avaliação da pressão ao nível médio do mar pode indicar o desempenho da previsão nos baixos níveis. A Figura 2.c mostra que o índice de acerto das previsões do modelo

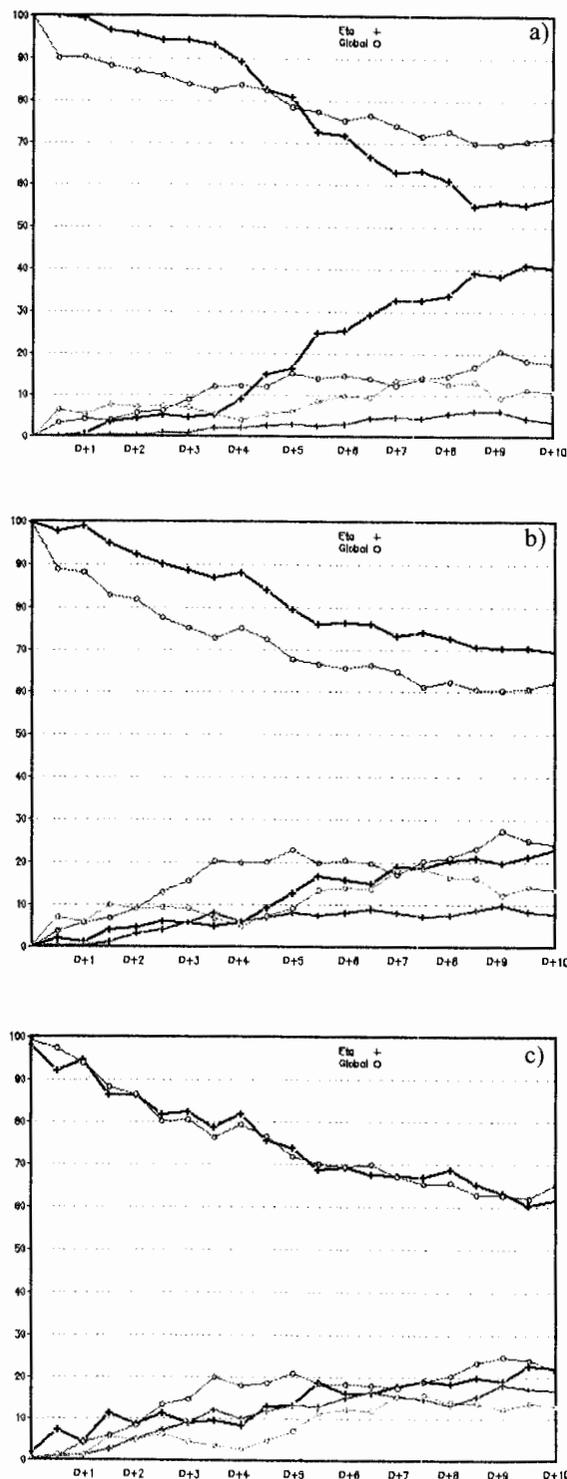


Figura 2: Comparação dos índices de acerto (preto), superestimativa (vermelho) e subestimativa (verde) entre modelo global (linhas finas) e regional (linhas grossas), em porcentagem até 240 horas de previsão; (a) altura geopotencial em 500 hPa; (b) altura geopotencial em 850 hPa; (c) pressão ao nível médio do mar.

regional neste nível é menor que em 850 hPa. As curvas de porcentagem de acerto dos dois modelos, regional e global, são bastante próximas. Em geral, para o modelo regional, os erros por superestimativa (linhas vermelhas mais grossas) são menores que os erros por superestimativa do modelo global (linhas vermelhas mais finas). Os erros por subestimativa são maiores para o modelo regional (linhas verdes mais grossas) em comparação ao modelo global (linhas verdes mais finas). Desta forma o comportamento do erro indica uma maior tendência do modelo regional em subestimar as previsões de pressão ao nível médio do mar e uma tendência do modelo global em superestimar as previsões de pressão ao nível médio do mar. Tanto a superestimativa, quanto a subestimativa, não passam geralmente de 20% dos casos.

Portanto, nota-se que em 850 hPa, as previsões apresentam os maiores índices de acerto, comparados com os outros dois níveis avaliados. Uma característica comum dos dois modelos é que são mais freqüentes os erros de previsão por superestimativa do que por subestimativa.

Estes resultados se baseiam em comparações das previsões com as análises do NCEP. Estas análises são altamente afetadas pelo modelo global do NCEP, principalmente em regiões de escassez de dados. Os campos de altura geopotencial de 500 hPa apresentam várias ondulações próxima aos Andes devido ao efeito Gibbs produzido pela transformação em ponto de grade dos coeficientes espectrais dos modelos globais. Estas ondulações podem ser um dos motivos pelos quais as previsões da altura geopotencial do modelo regional sofrem maior queda do que as do global. Os campos do modelo global e a análise do NCEP, por ambos serem espectrais, podem estar mais próximos do que os campos do modelo regional.

Para excluir o efeito do modelo, a avaliação da pressão

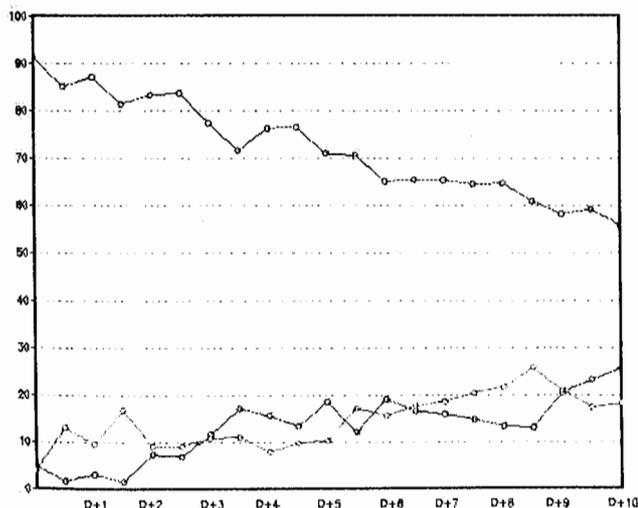


Figura 3: Comportamento, em 10 dias de previsão do modelo regional Eta, do índice (%) de desempenho da previsão de Pressão ao Nível Médio do Mar avaliado em relação às observações. A linha preta corresponde ao índice de acertos, a linha verde ao índice de superestimativa e a linha vermelha ao índice de subestimativa.

ao nível médio do mar também foi realizada comparando com as observações de superfície. Em baixos níveis a quantidade de dados é maior e permite este tipo de avaliação. A Figura 3 mostra os índices de acerto da previsão da pressão comparada com as observações. Esta figura pode ser comparada com a Figura 2.c. Nota-se que a porcentagem de acerto diminui com o prazo de previsão semelhante àquela obtida comparando-se com as análises. Entretanto, desde o início das integrações (D+0), já existiam discrepâncias, em aproximadamente 5% superestimando ou subestimando, entre as observações e as análises. Enquanto que na Figura 2.c as previsões produzem mais superestimativas, no caso da Figura 3, ocorrem mais subestimativas em relação às observações.

4.2. Erro Médio e REQM do Modelo Regional

As Figuras 4.a-c mostram o REQM das previsões dos modelos global e regional comparadas com as análises do NCEP.

Os REQM da altura geopotencial de 500 hPa crescem mais rapidamente com o prazo de integração do modelo Eta do que do global. Neste caso, os REQM do modelo Eta são maiores do que do global em todos os prazos.

Semelhante ao índice de acerto, as previsões da altura geopotencial em 850 hPa têm melhor desempenho que o modelo global. A taxa de crescimento do REQM é menor do que do global, bem como a magnitude dos REQM são também menores, não ultrapassando 50 m neste nível.

A pressão ao nível médio do mar apresenta grandes REQM, sendo que os do Eta são maiores do que do global. A taxa de crescimento dos erros da previsão de pressão do Eta é também maior que os do global. Estas discrepâncias entre os modelos e as análises podem ser explicadas pelos diferentes métodos empregados para reduzir a pressão ao nível médio do mar. Enquanto o modelo global e a análise do NCEP utilizam o mesmo método de redução da pressão, o método de Shuell por extrapolação vertical do perfil de temperatura, o Eta utiliza o método proposto por Mesinger e Treadon (1995) onde a temperatura é estimada no interior da topografia através de esquema de relaxação horizontal, por este motivo a pressão ao nível do mar do modelo global tende a se aproximar mais da análise do NCEP.

Notam-se três intervalos de taxas de crescimento de REQM, de D+0 a D+4 ou D+5, de D+4 a D+7 ou D+8, e de D+7 a D+10. As taxas de crescimento do erro nos intervalos mencionados são distintas, mas a identificação destas taxas pode auxiliar na definição do prazo de extensão da previsão. No primeiro intervalo as taxas são maiores devido ao maior ajuste do modelo às condições iniciais, enquanto que no último intervalo as taxas são menores pois o modelo entra em regime de escala temporal de longo prazo e os erros atingem uma saturação. Não pode haver um crescimento indefinido do erro com o tempo, pois isto levaria a uma interrupção da integração do modelo. É razoável que os REQM do modelo Eta sejam maiores que os do modelo global. A maior resolução do modelo regional Eta permite que represente fenômenos de

rápido desenvolvimento e de menor escala espacial, portanto, as variações são mais rápidas e de maior amplitude e quando comparada com as análises geram diferenças maiores.

As Figuras 5 (a,c,e) mostram o ERRO MÉDIO da altura geopotencial em 500 e 850 hPa e da pressão ao nível médio do mar do modelo regional. O ERRO MÉDIO revela o erro sistemático do modelo. A Figura 5.a mostra que o ERRO MÉDIO é sempre positivo, isto é, a previsão do modelo regional sistematicamente superestima a altura geopotencial de 500 hPa. Este resultado concorda com a Figura 2.a onde a maior frequência dos erros é por superestimativa. O erro não

ultrapassa 25 m em D+5. Em 850 hPa, surgem alguns valores negativos no ERRO MÉDIO, mas até o D+7 os valores se encontram entre +/- 8 m, a partir deste prazo, os ERROS MÉDIOS apresentam tendência positiva.

A pressão ao nível médio do mar apresenta ERRO MÉDIO negativos em mais prazos de previsão do que em 850 hPa, entretanto o valor médio do ERRO MÉDIO não ultrapassa de 3 hPa nos 10 dias de previsão. O REQM da pressão ao nível médio do mar (Fig. 5f) é aproximadamente 4 hPa em 72 horas de previsão. Esta magnitude é comparável aos valores obtidos nos doze casos estudados por Anthes et al (1989).

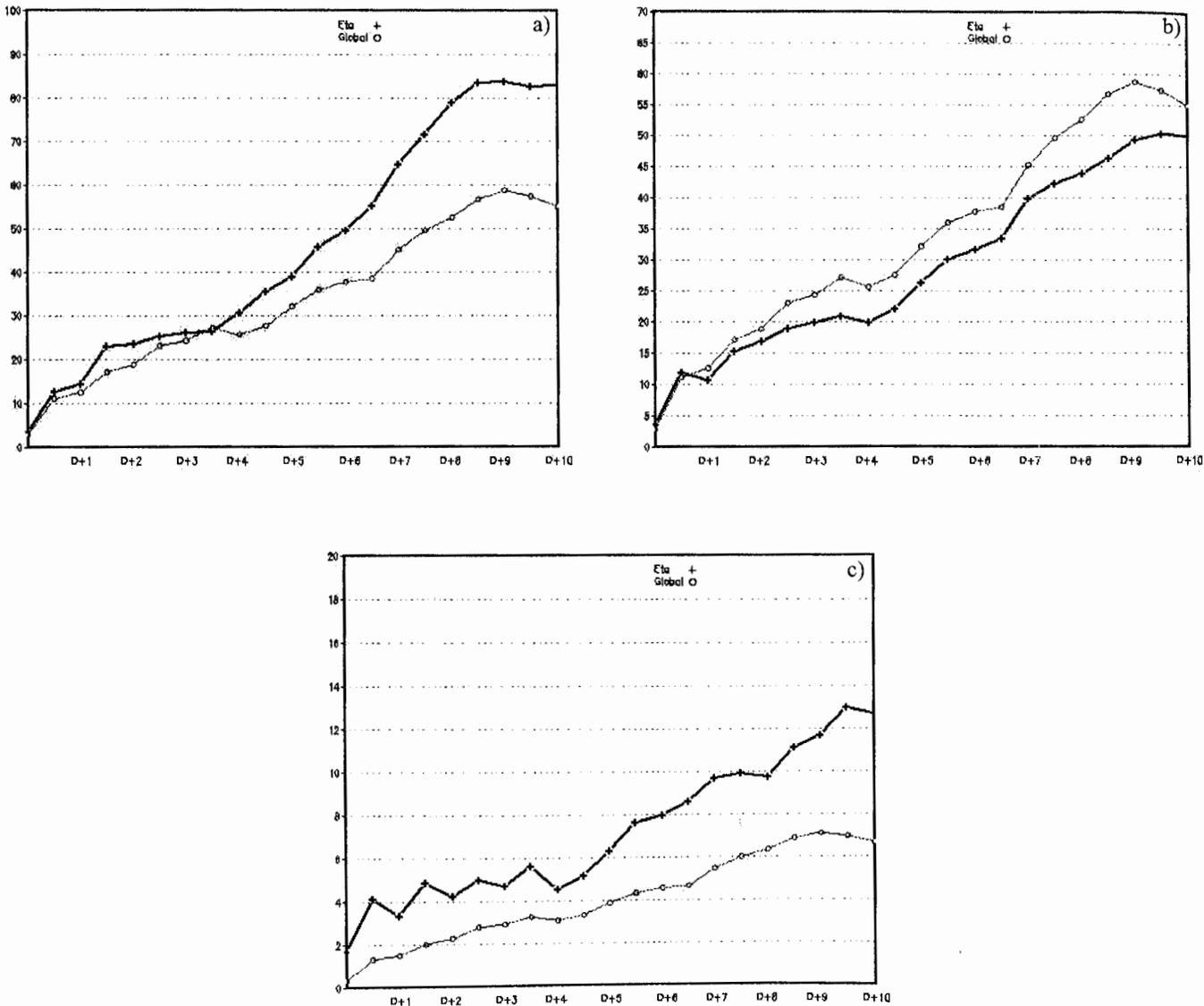


Figura 4: Erro quadrático médio até 240 horas de previsão; linhas em preto são do modelo regional Eta; linhas em vermelho são do modelo global: (a) altura geopotencial em 500 hPa (m); (b) altura geopotencial em 850 hPa (m); (c) pressão ao nível médio do mar (hPa).

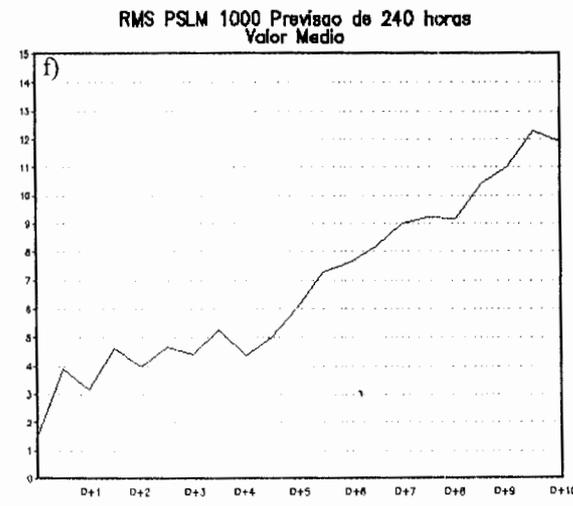
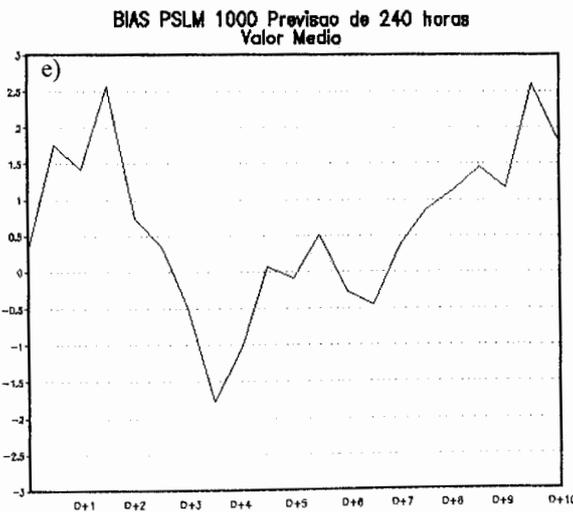
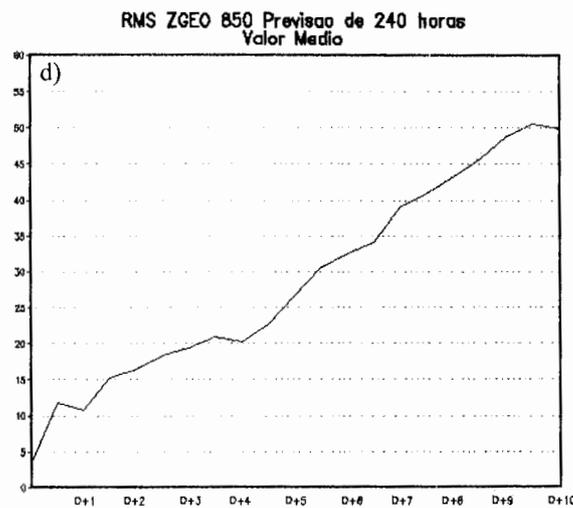
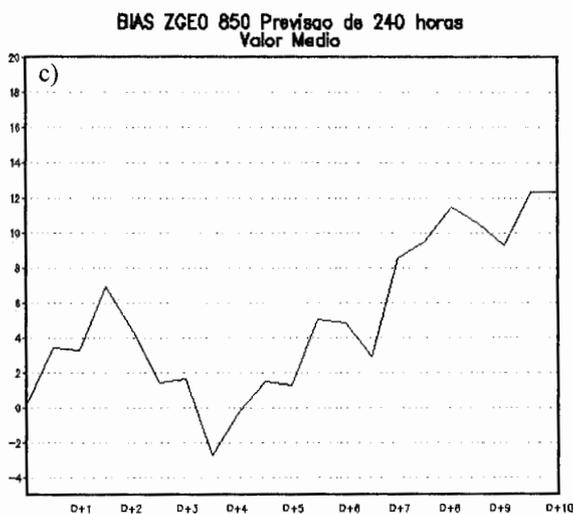
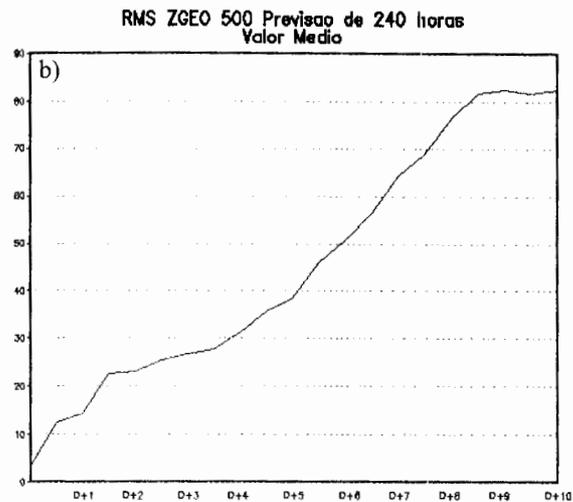
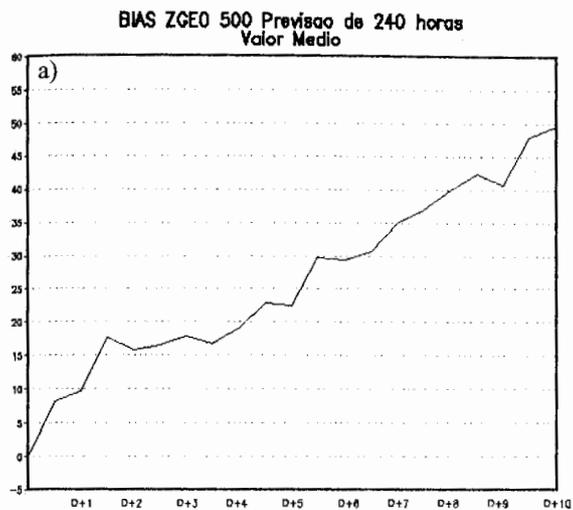


Figura 5: a) ERRO MÉDIO médio da altura geopotencial em 500 hPa (m); b) REQM médio da altura geopotencial em 500 hPa (m); c) ERRO MÉDIO médio da altura geopotencial em 850 hPa (m); d) REQM médio da altura geopotencial em 850 hPa (m); e) ERRO MÉDIO médio da pressão ao nível médio do mar (hPa); f) REQM médio da pressão ao nível médio do mar (hPa).

4.3. Correlação de anomalias

As Figuras 6.a-c mostram as correlações de anomalia da altura geopotencial de 500 e 850 hPa e da pressão ao nível médio do mar. Estas correlações são obtidas a partir de uma grade de baixa resolução, $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ graus de latitude e longitude.

Tomando o limiar acima de 0.6 como previsões úteis, as integrações do modelo regional poderiam se estender até 6,5 dias baseando-se nas previsões da altura geopotencial de 500

hPa (Figura 6.a). Em 850 hPa, as correlações atingem 0.6 em 6 dias de previsão. A correlação de anomalia de pressão ao nível médio do mar não é comumente utilizada em avaliações de médio prazo, entretanto, adotando-se o mesmo limiar de 0.6, as previsões se mantêm úteis até 6,5 dias de integração.

Vale ressaltar que em 48 horas de previsão, até D+2, a previsão do modelo regional se mantém com correlações acima de 0.9. Baseando-se nas correlações destas três variáveis, estas avaliações indicam um ganho de 1,5 dias sobre as previsões do modelo global.

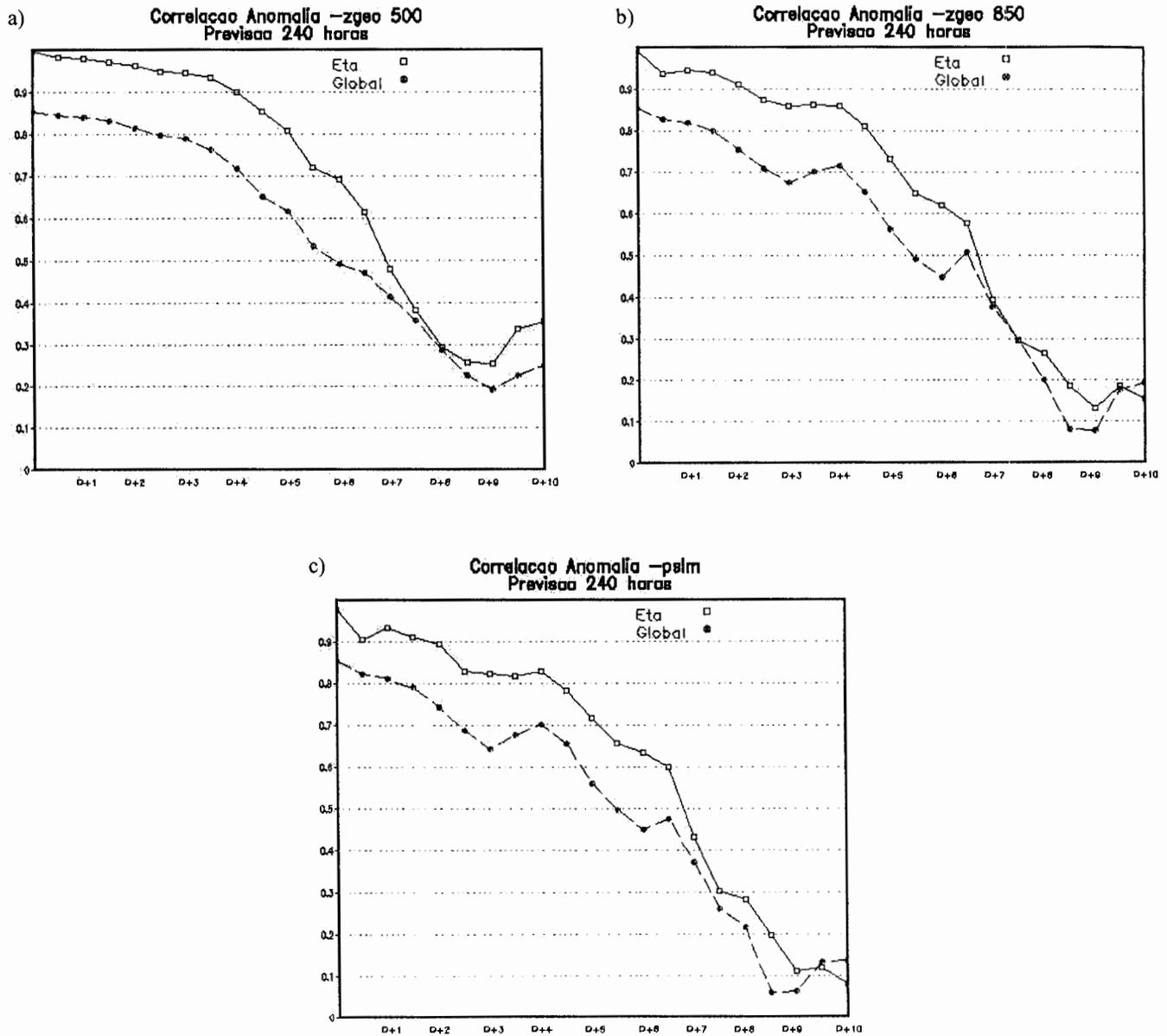


Figura 6: Correlação de anomalia (sem unidades) para o modelo global (linha em vermelho) e para o modelo regional (linha em preto): a) altura geopotencial em 500 hPa; b) altura geopotencial em 850 hPa; c) pressão ao nível médio do mar.

4.4. Análise de um caso

Para uma avaliação das previsões diárias das rodadas, principalmente no que se refere à previsão dos principais sistemas sinóticos atuantes sobre a América do Sul, foi escolhido um dos 9 experimentos avaliados.

O experimento escolhido teve como condição inicial o dia 24 de outubro de 2001 às 1200 UTC. Durante o período de 10 dias, observou-se a passagem de um sistema frontal deslocando-se sobre as regiões Sul e Sudeste do Brasil e atingindo o Estado do Rio de Janeiro. No dia 30 de outubro de 2001, ocorre a formação de uma ciclogênese próxima ao litoral do Rio Grande do Sul. Um novo sistema frontal se organiza, a partir desta ciclogênese, e se desloca sobre as regiões Sul e Sudeste do Brasil alcançando o Estado do Espírito Santo.

As previsões de pressão ao nível médio do mar dos modelos regional e global foram comparadas com as análises do NCEP (figura 7 a-b). Na coluna da esquerda, estão ilustrados

os campos previstos pelo modelo Eta, enquanto que na coluna central estão as análises equivalentes ao dia previsto e na coluna da direita as previsões do modelo global. O modelo mostra-se capaz em capturar os principais sistemas transientes atuantes. No dia D+4, o padrão das previsões dos modelos está próxima ao padrão verificado na análise, os dois modelos indicam o sistema frontal na Região Sul do Brasil. No entanto, a posição e intensidade dos centros de pressão são mais próximas das análises nas previsões do modelo global do que do modelo regional. No dia D+10 (Figura 7.b), o padrão é melhor previsto pelo modelo regional. A previsão do modelo global indica, erroneamente, um centro de alta pressão sobre o Atlântico Sul, onde na análise verifica-se um centro de baixa pressão e não indica a presença do sistema frontal na Região Sudeste. O modelo regional capturou corretamente o centro de baixa e indica a presença do sistema frontal próximo ao Estado do Rio de Janeiro, porém não foi capaz de configurar a alta da retaguarda do sistema.

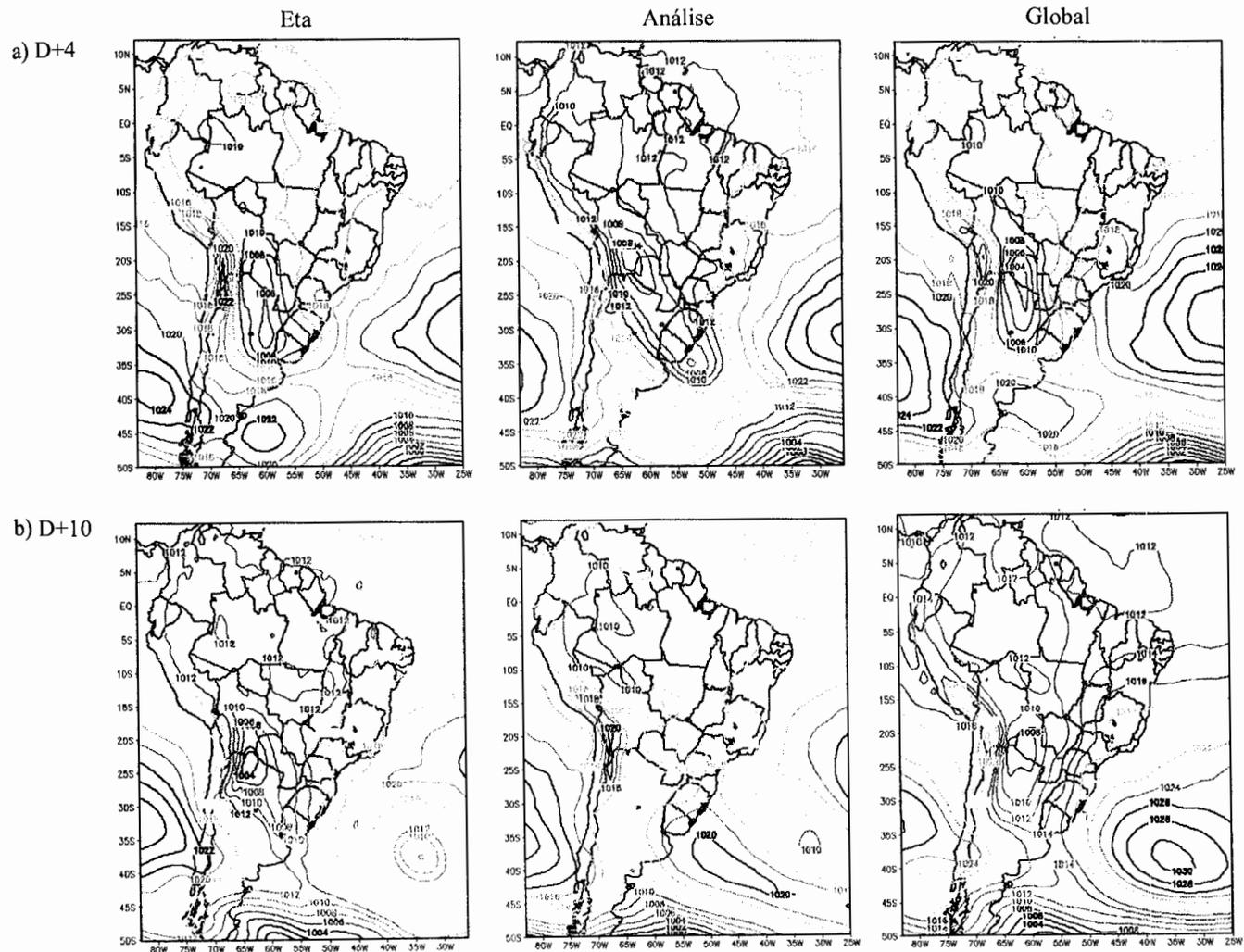


Figura 7: Pressão ao nível médio do mar (hPa) previsões dos modelos global (coluna da direita) e regional (coluna da esquerda) versus análise (coluna central): a) previsão válida para 96 horas de previsão (D+4); b) previsão válida para 240 horas de previsão (D+10).

A Figura 8 a-c mostra a precipitação acumulada em 24 horas para o período de 240 horas. Como na figura anterior as previsões do modelo global estão na coluna da esquerda, as observações na coluna central e as previsões do modelo regional na coluna da direita. A banda de chuva associada à frente se deslocando sobre a Região Sul foi acompanhada pelo modelo Eta desde o dia D+4 da previsão, essa banda frontal organizou a

convecção na parte central do país. Essa banda é prevista pelo modelo até o D+10. Alguns núcleos de precipitação foram bem capturados pelo modelo Eta, por exemplo, as chuvas sobre o Maranhão, sobre o litoral entre Suriname e Venezuela, entre Colômbia e Peru, próxima a Baía Blanca na Argentina. Este exemplo de integração de 10 dias, mostra que as previsões acompanham os padrões sinóticos observados da chuva.

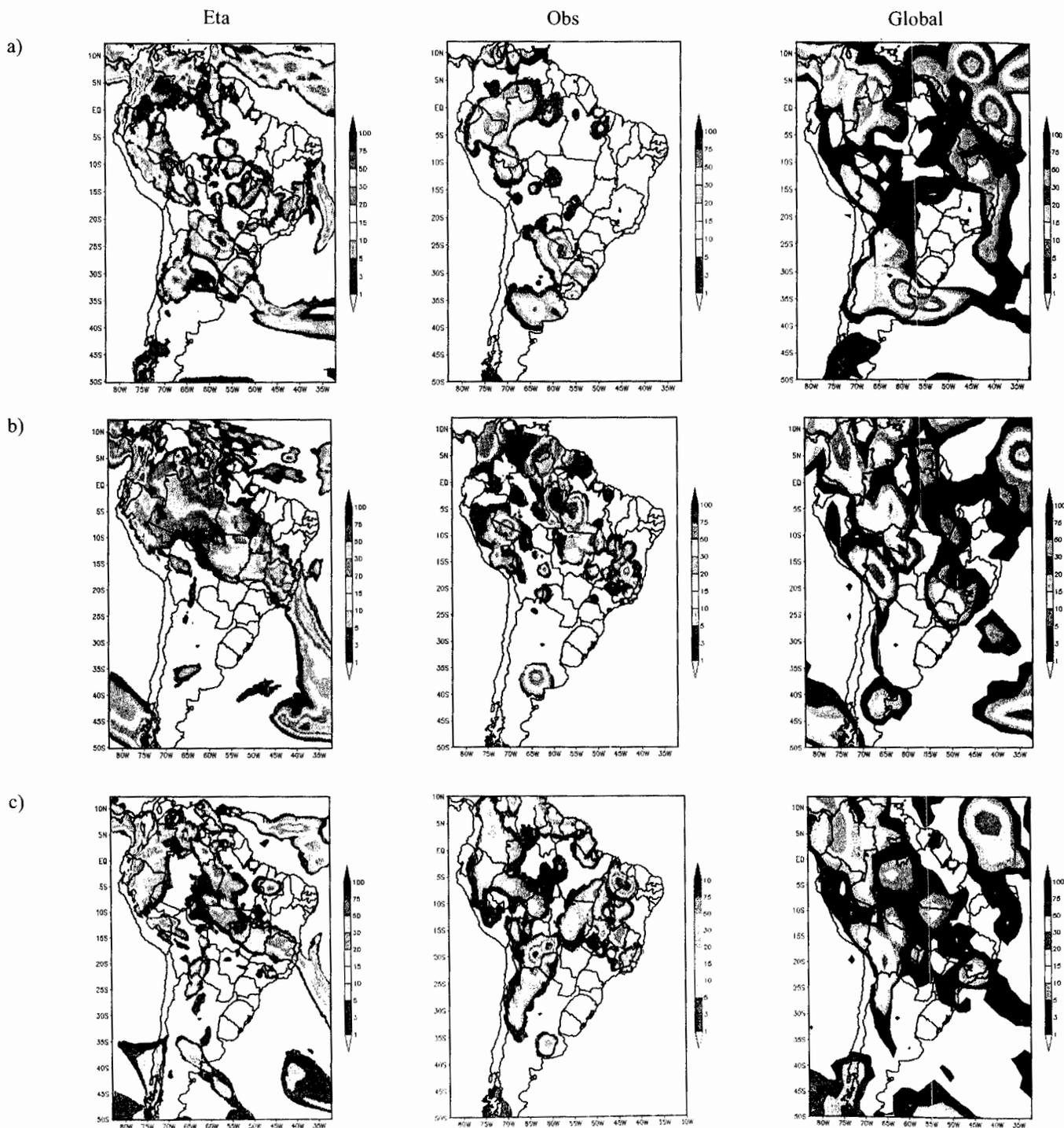


Figura 8: Comparação entre precipitação prevista pelos modelos Eta (coluna da esquerda) e global (coluna da direita) versus as observações (coluna central). Previsão de: (a) 96 horas (D+4), (b) 216 horas (D+9), e (c) 240 horas (D+10) em milímetros por dia.

5. CONCLUSÃO

Previsões com prazo de 10 dias do modelo Eta foram avaliados em relação às análises do NCEP e observações de superfície para nove casos utilizando condições iniciais de diferentes meses do ano. Esta avaliação se baseou em índices de acerto, superestimativa e subestimativa, erro médio, raiz quadrada do erro médio quadrático, correlação de anomalia além de uma avaliação subjetiva comparando os padrões de chuva em grande escala. Foram selecionadas algumas variáveis representando níveis médios, baixa troposfera, e próxima da superfície, portanto, foram avaliadas as alturas geopotencial de 500 hPa, de 850 hPa e da pressão ao nível médio do mar.

O desempenho do modelo regional Eta apresenta alguma modulação pelas condições de contornos laterais provenientes do modelo global do CPTEC. Os resultados indicam que houve melhoria de desempenho do modelo regional em relação ao modelo global, principalmente abaixo da baixa troposfera, enquanto que o modelo global apresenta bom desempenho em 500 hPa.

No prazo de 10 dias, pelo menos dois sistemas frontais entrando pela borda lateral oeste do modelo alcançaram a parte central do domínio e influenciaram a previsão sobre a região de maior interesse. Os resultados neste caso mostraram que, em geral, os padrões de grande escala tendem a apresentar maior divergência a partir do terceiro dia.

O índice de acerto da pressão ao nível médio do mar e altura geopotencial em 850 hPa é superior a 70% até o dia D+10. O índice de acerto da altura geopotencial em 500 hPa é menor, um pouco acima de 60% até o dia D+6. O modelo regional Eta apresenta um erro sistemático positivo na altura geopotencial em 500 hPa que excede o erro sistemático do modelo global. As correlações de anomalia das previsões do modelo regional Eta, apresentam para todas as variáveis valores acima de 0.6 até o dia D+6, indicando previsões úteis no sexto dia da integração. O modelo regional Eta consegue capturar a passagem dos sistemas transientes e padrão de precipitação previsto até o prazo de 240 horas.

É natural que a qualidade das previsões do modelo global, tenha efeito sobre a qualidade das previsões do modelo de área limitada, por favorecimento ou contaminação transmitidos pelas bordas laterais, como Laprise et al (2000) concluíram. Entretanto, a dinâmica e física do modelo aninhado podem superar os erros e estender o prazo da previsão em relação ao prazo do modelo global. Apesar do modelo Eta e o modelo global apresentaram algumas semelhanças em relação a alguns índices, os padrões de precipitação tendem a apresentar mais diferenças. Estas diferenças se devem principalmente à arquitetura bastante distinta nos aspectos de dinâmica e física dos modelos.

Considerando os resultados obtidos, o aumento do prazo de previsão do modelo regional Eta, atualmente rodando até 72 horas no CPTEC, para 120 horas (D+5) deve ser recomendado. Outras variáveis ou índices poderão ser incluídos em futuras avaliações, tais como temperatura e umidade específica, vento em altos níveis e o índice *Equitable Threat Score*.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTHES, R. A.; KUO, Y. H.; HSIE, E. Y.; LOW-NAM, S.; BETTGE, T. W. Estimation of skill and uncertainty in regional Numerical models. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**, v. 115, p. 763-806, 1989.
- BLACK, T. L.. The new NMC mesoscale Eta model: Description ad forecast examples. **Wea. Forecasting**, v. 9, p. 265-278, 1994.
- BONATTI, J. P. MODELO DE CIRCULAÇÃO GERAL ATMOSFÉRICO DO CPTEC. **Climanálise**. Edição Especial, 1996.
- CHEN, F.; JANJIC, Z. I.; MITCHELL, 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.
- CHOU, S. C.; JUSTI DA SILVA, M. G. An Objective evaluation of Eta model precipitation forecasts over South America. **Climanálise**, v.14, n.1, 1999.
- CHOU, S.C; TANAJURA, C. A. S.; XUE, Y.; NOBRE, C. A. Validation of the Coupled Eta/SSiB Model over South America. **J. Geophys. Res.**, v.107, n.D20, 8088, Oct 2002.
- CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J. F.; ROZANTE, J. R. Eta Model forecast for the Venezuela flood event of December 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, 2004.
- FELS, S. B.; SCHWARZTKOPF, M. D. The simplified exchange approximation. A new method for radiative transfer calculations. **J. Atmos. Sci.**, v. 32, p. 1475-1488, 1975.
- JANJIC, Z. I. The step-mountain eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes. **Monthly Weather Review**, v. 122, p. 927-945, 1994.
- 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.
- LAPRISE, R.; VARMA, M. R.; DENNIS, B.; CAYA, D.; ZAWADZKI, E. I. Predictability of a Nested Limited-Area Model. **Monthly Weather Review**, v. 128, p. 4149-4154, 2000.
- MELLOR, G. L.; YAMADA, T. A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. **J. Atmos. Sci.**, v. 31, p. 1791-1806, 1974.
- 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.

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 description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of Appalachian redevelopment. **Monthly Weather Review**, v. 116, p. 1493-1518, 1988.

MESINGER, F.; TREADON, R. E. "Horizontal" reduction of pressure to sea level: Comparison against the NMC'S Schuell Method. **Monthly Weather Review**, v.123, p. 59-68, 1995.

MESINGER, F.; BRILL, K.; CHUANG, H.; DIMEGO, G.; ROGERS, E. E. Limited area predictability: Can "Upscaling" also take place? **Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling**, 2002.