

# Alguns Experimentos de Previsão Regional com o Modelo FSU sobre o Nordeste e o Sul do Brasil

Ana Maria Bueno Nunes  
Josiane Ferreira Bustamante Fonseca  
Prakki Satyamurty

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) Rodovia Presidente Dutra, km 40, Cachoeira Paulista, SP

## Abstract

Experiments with the FSU (Florida State University) hydrostatic regional model, of primitive equations, semi-Lagrangian and semi-implicit, with 16 sigma levels in the vertical are conducted. Two episodes are selected: one of heavy rainfall in the NE-Brazil and another of favorable conditions for the occurrence of frost in southern Brazil, both during the fall season. The horizontal resolution was of about 65 km, and the domain was defined as to enclose the regions of interest. Analyses of the CPTEC global model were used as initial conditions. Values at the lateral boundaries were updated at 6 hours intervals from forecasts of the global model. The skill of the model was evaluated in an objective fashion through statistical parameters like: correlation coefficient, RMSE,  $S_1$ , and the "Equitable Threat Skill Score". The precipitation, the pressure reduced to mean sea level, the virtual temperature, and the wind obtained from the FSU model are compared with the global model analyses, observations, and from the forecast through those statistical parameters. The same methods were used to compare with the forecasts of the global model. The precipitation in the NE region was underestimated by the CPTEC global model, and superestimated by the FSU regional model

## 1 Introdução

Nos centros de previsão do tempo em todo mundo, o uso de parâmetros estatísticos auxilia na interpretação da *performance* dos modelos numéricos. Um dos objetivos de tal procedimento é reduzir ou mesmo eliminar os erros sistemáticos das suas previsões. Um outro, seria avaliar o impacto de uma nova parametrização sobre o campo previsto. O presente estudo trata de uma análise preliminar de desempenho do modelo regional da "Florida State University" - FSU instalado no Centro de Estudos Climáticos e Previsão do Tempo - CPTEC, para duas situações distintas: (a) chuva na região Nordeste e (b) formação de geada na região Sul do Brasil. Também é feita uma comparação com desempenho do modelo global do CPTEC para as mesmas situações.

## 2 Descrição

O modelo regional FSU apresenta, neste estudo, uma resolução em torno de 65 km na região tropical e possui 16 níveis verticais na coordenada "sigma". As condições iniciais são obtidas das análises do modelo global do CPTEC (resolução ~ 200 km nos trópicos) para o caso (a) 07/04/96 às 12 UTC e (b) 17/04/96 às 12 UTC. As previsões são feitas até 48h. As condições nas fronteiras do modelo regional são extraídas das previsões do modelo global e atualizadas a cada 6 horas.

### (a) chuva no NE

O domínio do modelo FSU, para o caso NE, compreende as latitudes entre 20° S e 17° N e as longitudes entre 60° W e 22° W. A situação sinótica indica que o avanço de uma frente fria da região SE ajudou a organizar a convecção sobre a região NE entre 07 e 09/04/96 provocando chuvas intensas entre os dias 08 e 09 sobre o norte da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco e sudeste do Piauí.

### (b) geada no sul

O modelo regional tem seu domínio se estendendo de 47° S a 11° S e 75° W e 28° W. A passagem de uma frente fria pela região sul permitiu que uma massa de ar fria e seca se instalasse sobre a região causando queda acentuada de temperatura na madrugada de 18/04/96 (núcleo de alta pressão de 1025 hPa sobre o NW do Uruguai e SW do Rio Grande do Sul, de acordo com a análise do modelo global das 06 UTC). A temperatura da superfície apresenta valores ~ 0 °C em Santa Catarina, com provável formação de geada na região.

### 3 Metodologia

As Tabelas I e II mostram uma coleção das estatísticas mais usadas e, por meio delas, pretende-se estabelecer uma comparação objetiva entre os modelos global do CPTEC e regional FSU durante estes dois episódios. Como guia desta discussão propõe-se os seguintes critérios para um bom desempenho de um modelo:

1.  $S_1 \sim 45\%$ , para a pressão no nível do mar e  $RMSE \sim 3$  hPa, para a superfície;
2.  $S_1 \sim 40\%$  e  $RMSE \sim 30$ , para a altura geopotencial em 850 hPa; e
3.  $S_1 \sim 25\%$  e  $RMSE \sim 40$ , para a altura geopotencial em 500 hPa.

Os valores acima foram adaptados de Anthes (1983) para avaliação de modelos de área limitada em latitudes médias em previsões de 24h, e servem apenas como uma referência preliminar. Sendo  $RMSE$ , o erro quadrático médio da previsão;  $S_1$ , "skill score", o qual mede a habilidade do modelo em prever o gradiente horizontal de um campo escalar. De um modo geral,  $RMSE$  e  $\sigma$  (desvio padrão do erro de previsão) devem ter valores relativamente pequenos e próximos. Para  $S_1$ , os valores mais baixos são os que indicam melhor desempenho.

Os coeficientes de correlação também são mostrados nas Tabelas I e II. São apresentados três tipos de coeficientes de correlação: da anomalia da previsão (a parte climatológica do campo é subtraída), da anomalia de persistência da previsão e de tendência da previsão (o campo inicial é subtraído da previsão e da análise). Os resultados são considerados bons acima da faixa de 75 %.

No caso do modelo FSU, foi realizada uma "degradação" dos resultados do modelo para a mesma resolução horizontal da análise a qual é a mesma do modelo global.

### 4 Discussão

Os resultados expostos na Tabela I referem-se ao modelo FSU. Para o caso NE, os parâmetros  $RMSE$  e  $\sigma$  se encontram dentro da faixa de bons resultados; no entanto,  $S_1$  apresenta valores relativamente altos o que indica baixa destreza na previsão dos gradientes horizontais; os coeficientes de correlação de anomalia de previsão têm resultados considerados bons, exceto para a altura geopotencial na previsão de 48h e a correlação de tendência de previsão melhora para uma previsão de 48h, em relação a de 24h.

Ainda na Tabela I, os resultados para o caso de geada no sul do país são bons para a correlação de anomalia e de tendência e, razoáveis para  $S_1$ , e dentro dos limites para  $RMSE$  e  $\sigma$ . Observa-se uma grande variabilidade dos campos nesta região demonstrada pela brusca queda dos valores de correlação de anomalia de persistência e pelos valores elevados de  $RMSEP$  (erro quadrático médio da persistência). Pode-se concluir da Tabela I que a baixa variabilidade dos campos na faixa equatorial contribui para bons índices ligados a uma previsão baseada na persistência. O oposto pode ser concluído para região sul onde a variabilidade dos campos inviabiliza uma previsão feita a partir da persistência. Os coeficientes de correlação, exceto o de anomalia de persistência para 48h de previsão, apresentam valores maiores do que os do caso NE devido a baixa destreza que os modelos geralmente apresentam em previsões dentro da faixa tropical.

Da Tabela II, observa-se o mesmo comportamento encontrado na I. Ressalta-se que, de maneira geral, os resultados obtidos a partir das previsões do modelo global do CPTEC foram melhores.

Parâmetros para avaliar a previsão de ocorrência  $x$  a não ocorrência de precipitação são apresentados na Tabela III, para o modelo regional no caso de chuvas intensas no NE.

Tabela I

Parâmetros estatísticos para a análise do desempenho do modelo regional FSU para a previsão das variáveis: pressão ao nível do mar (SLP), altura geopotencial em 500 e 850 hPa ( $Z_{500}$  e  $Z_{850}$ ), velocidade do vento em 250 e 850 hPa ( $V_{250}$  e  $V_{850}$ ) e temperatura virtual em 850 hPa ( $T_{v850}$ ).

Casos	Região Nordeste (20 S - 60 W / 17 N - 22 W) Condição Inicial: 07/04/96 (12 UTC)												Região Sul (47 S - 75 W / 11 S - 28 W) Condição Inicial: 17/04/96 (12 UTC)											
	24 h						48 h						24 h						48 h					
	Variável Prevista	SLP (hPa)	$Z_{500}$ (m)	$Z_{850}$ (m)	$V_{250}$ (m/s)	$V_{850}$ (m/s)	$T_{v850}$ (°C)	SLP (hPa)	$Z_{500}$ (m)	$Z_{850}$ (m)	$V_{250}$ (m/s)	$V_{850}$ (m/s)	$T_{v850}$ (°C)	SLP (hPa)	$Z_{500}$ (m)	$Z_{850}$ (m)	$V_{250}$ (m/s)	$V_{850}$ (m/s)	$T_{v850}$ (°C)	SLP (hPa)	$Z_{500}$ (m)	$Z_{850}$ (m)	$V_{250}$ (m/s)	$V_{850}$ (m/s)
RMSE	1,4	17,7	8,9	5,5	3,5	2,1	1,0	25,8	12,7	8,2	3,8	2,1	2,3	28,6	9,3	6,8	4,1	3,2	2,1	40,8	24,9	11,0	4,2	3,3
RMSEP	1,1	11,8	11,2	10,5	3,6	0,8	1,3	12,6	12,2	14,4	4,3	0,9	8,1	62,8	55,9	21,6	10,0	4,7	11,7	114,7	86,1	35,0	13,5	4,8
$\sigma$	1,1	7,7	8,3	5,5	3,5	0,7	1,0	7,7	7,8	8,1	3,8	1,0	1,6	16,0	9,2	6,5	4,0	2,2	1,8	22,1	10,4	10,5	4,2	2,7
Variável Prevista	SLP	$Z_{500}$	$Z_{850}$	$V_{250}$	$V_{850}$	$T_{v850}$	SLP	$Z_{500}$	$Z_{850}$	$V_{250}$	$V_{850}$	$T_{v850}$	SLP	$Z_{500}$	$Z_{850}$	$V_{250}$	$V_{850}$	$T_{v850}$	SLP	$Z_{500}$	$Z_{850}$	$V_{250}$	$V_{850}$	$T_{v850}$
$S_1$ (%)	64,0	77,9	73,7	-	-	67,3	62,3	87,7	72,4	-	-	72,0	42,6	22,8	31,5	-	-	52,0	50,1	30,8	41,3	-	-	64,0
CAF (%)	-	84,6	80,0	-	-	96,4	-	83,8	72,8	-	-	93,2	-	98,8	99,0	-	-	88,6	-	94,4	94,6	-	-	77,6
CAP (%)	-	78,8	70,9	-	-	96,4	-	56,9	65,7	-	-	91,8	-	78,2	83,5	-	-	57,3	-	26,2	32,1	-	-	0,0
CTF (%)	56,3	59,1	58,9	87,2	65,2	51,8	70,4	79,0	62,9	83,9	65,6	60,2	97,1	97,4	98,2	95,7	92,8	87,9	98,4	97,8	99,0	95,4	92,7	88,7

Tabela II

Parâmetros estatísticos para a análise do desempenho do modelo global do CPTEC para a previsão das variáveis: pressão ao nível do mar (SLP), altura geopotencial em 500 e 850 hPa ( $Z_{500}$  e  $Z_{850}$ ), velocidade do vento em 250 e 850 hPa ( $V_{250}$  e  $V_{850}$ ) e temperatura virtual em 850 hPa ( $T_{v850}$ ).

Caso	Região Nordeste (20 S - 60 W / 17 N - 22 W) Condição Inicial: 07/04/96 (12 UTC)												Região Sul (47 S - 75 W / 11 S - 28 W) Condição Inicial: 17/04/96/ (12 UTC)											
	24 h						48 h						24 h						48 h					
	Variável Prevista	SLP (hPa)	$Z_{500}$ (m)	$Z_{850}$ (m)	$V_{250}$ (m/s)	$V_{850}$ (m/s)	$T_{v850}$ (°C)	SLP (hPa)	$Z_{500}$ (m)	$Z_{850}$ (m)	$V_{250}$ (m/s)	$V_{850}$ (m/s)	$T_{v850}$ (°C)	SLP (hPa)	$Z_{500}$ (m)	$Z_{850}$ (m)	$V_{250}$ (m/s)	$V_{850}$ (m/s)	$T_{v850}$ (°C)	SLP (hPa)	$Z_{500}$ (m)	$Z_{850}$ (m)	$V_{250}$ (m/s)	$V_{850}$ (m/s)
RMSE	1,1	9,9	8,6	6,0	3,8	0,9	0,9	8,3	7,8	7,7	4,6	1,0	2,1	12,2	11,6	4,6	4,0	2,1	2,9	26,4	27,3	7,6	4,9	1,9
RMSEP	1,2	12,7	11,6	11,2	3,9	0,8	1,4	14,1	12,6	15,2	4,7	1,0	8,0	64,6	54,8	22,1	10,2	4,9	11,6	114,1	85,2	35,1	13,6	4,9
$\sigma$	0,8	7,2	6,0	5,7	3,7	0,9	0,9	8,0	7,1	7,7	4,5	1,0	1,9	12,2	11,6	4,3	3,8	2,0	1,9	18,8	14,1	7,4	4,9	1,9
Variável Prevista	SLP	$Z_{500}$	$Z_{850}$	$V_{250}$	$V_{850}$	$T_{v850}$	SLP	$Z_{500}$	$Z_{850}$	$V_{250}$	$V_{850}$	$T_{v850}$	SLP	$Z_{500}$	$Z_{850}$	$V_{250}$	$V_{850}$	$T_{v850}$	SLP	$Z_{500}$	$Z_{850}$	$V_{250}$	$V_{850}$	$T_{v850}$
$S_1$ (%)	45,6	57,3	54,8	-	-	61,6	52,1	75,3	61,8	-	-	64,4	37,9	18,4	32,2	-	-	42,8	44,7	24,6	42,0	-	-	52,4
CAF (%)	-	88,8	91,3	-	-	95,4	-	85,1	82,0	-	-	93,4	-	99,4	98,3	-	-	90,7	-	96,7	92,0	-	-	83,8
CAP (%)	-	83,4	81,6	-	-	95,2	-	61,8	72,8	-	-	91,2	-	81,5	86,9	-	-	61,5	-	29,1	37,8	-	-	6,3
CTF (%)	73,0	68,0	72,9	86,1	70,9	57,0	74,7	79,4	68,8	86,2	65,0	63,8	96,8	98,1	97,7	97,9	93,8	92,8	98,1	98,4	98,1	97,8	90,8	93,3

<sup>1</sup> RMSE - Erro Quadrático Médio da Previsão; RMSEP - Erro Quadrático Médio da Persistência;

$\sigma$  - Desvio Padrão do Erro da Previsão;

$S_1$  - Skill Score (100 IERRO/IGRADI, onde IERRO é a soma das magnitudes do erro da previsão das componentes dos gradientes em cada direção e IGRADI é a soma das magnitudes dos gradientes observados ou previstos, o que for maior);

CAF - Correlação da Anomalia de Previsão; CAP - Correlação da Anomalia de Persistência; CTF - Correlação da Tendência de Previsão.

Um simples "Threat Score" (TS) é calculado da seguinte forma:  $TS = C / (P + O - C)$ , onde P é o número de pontos previstos acima de um determinado limite, O é o número de pontos observados acima do mesmo limite e C é o número de pontos previstos corretamente acima do limite considerado. P é obtido a partir da interpolação dos valores de precipitação acumulada em 24h dos pontos de grade do modelo para as coordenadas das estações meteorológicas de superfície. O parâmetro "Equitable Threat Score" (ETS) é obtido ao subtrair de C a parte aleatória (Rogers et al., 1995).

Tabela III

Modelo regional FSU - Região Nordeste

TS e ETS para o período 07-09/04/96.

Precipitação total acumulada em 24h (mm)

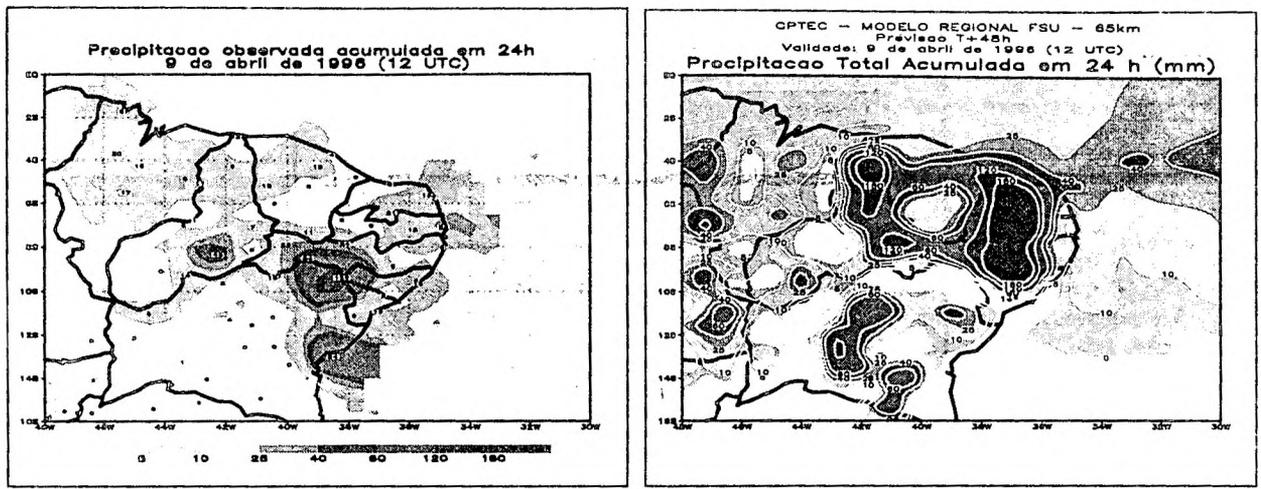
Região Nordeste - Validade: 07- 09/04/96 (12 UTC)					
Número de Observações: 223					
Precipitação Acumulada em 24h (mm)	P	O	C	TS	ETS
acima de 1	135	106	106	0,8	0,2
acima de 5	106	75	75	0,7	0,3
acima de 10	78	54	54	0,7	0,4
acima de 20	52	20	20	0,4	0,3
acima de 25	43	12	12	0,3	0,2
acima de 40	30	9	9	0,3	0,2
acima de 60	21	3	3	0,1	0,1
acima de 120	10	1	1	0,1	0,1

Segundo a Tabela III, dentro do período analisado, para o limite acima de 1 mm, TS apresenta o melhor valor (0,8). ETS tem seu máximo para o limite acima de 10 mm (0,4). Os menores valores estão associados à previsão de chuva intensa. O modelo regional apresenta sistematicamente maior número de pontos com precipitação em relação ao observado.

A Figura 1 apresenta os campos de precipitação total acumulada em 24h entre 08 e 09/04/96: (a) observada (dados das estações), (b) prevista pelo modelo regional FSU e (c) prevista pelo modelo global do CPTEC. Observa-se uma superestimação da precipitação no modelo regional em relação à observada, com valores acima de 180mm ao norte do máximo observado (129 mm). O modelo global apresenta valores menores de precipitação e apenas um núcleo com valores acima de 25mm sobre o Piauí. A Figura 2 mostra os campos de temperatura da superfície para: (a) a análise do modelo global, (b) o modelo regional e (c) o modelo global, na madrugada de 18/04/96. O modelo regional foi hábil em localizar o núcleo de menores valores de temperatura sobre Santa Catarina, porém os valores previstos estão 8°C acima dos valores encontrados na análise (núcleo de 1°C), por outro lado o modelo global apresenta valores abaixo de 0°C. Um campo de OLR está superposto ao campo de temperaturas de superfície no modelo regional e no global e indica, apenas no modelo regional, um valor relativamente baixo de OLR (entre 260 e 250 W/m<sup>2</sup>) exatamente sobre a região de provável ocorrência de geada.

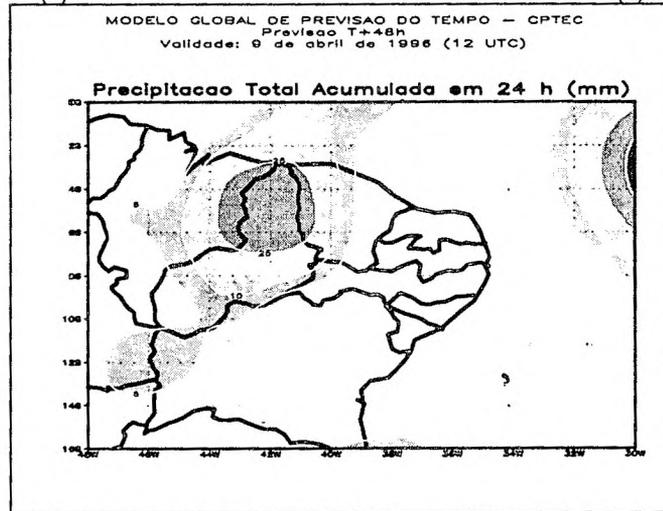
## Referências Bibliográficas

- Anthes, R.A., 1983: Regional models of the atmosphere in the middle latitudes. *Monthly Weather Review*, **111**, 1306-1335.
- Rogers, E., D. G. Deaven and G. J. DiMego, 1995: The regional analysis system for the operational "early" Eta model: Original 80-km configuration and recent changes, *Weather and Forecasting*, **10**, 810-825.



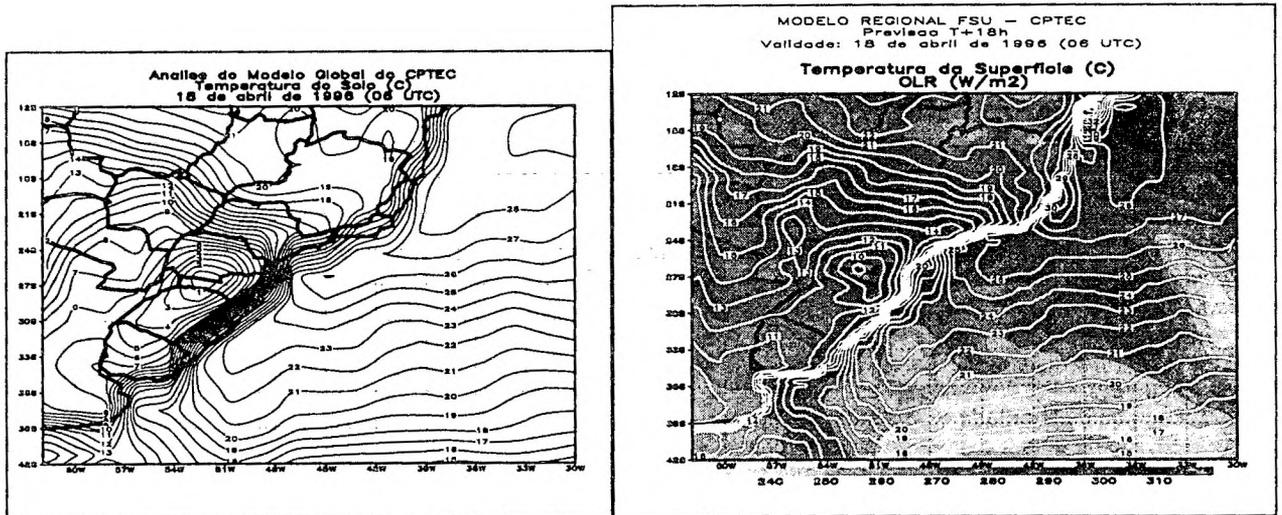
(a)

(b)



(c)

Figura 1 - Precipitação total acumulada em 24h (mm) para o caso de chuvas intensas no NE do Brasil entre 08 e 09/04/96: (a) observada, (b) previsão de 48 h do modelo regional FSU e (c) previsão de 48 h do modelo global do CPTec.



(a)

(b)