Avaliação das previsões sazonais de anomalias de precipitação para o Brasil entre dezembro de 1995 e maio de 1999 realizadas com o MCGA CPTEC/COLA

Gilvan Sampaio de Oliveira e Prakki Satyamurty
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - Brasil

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the CPTEC model ensemble seasonal forecasts for the period 1996-99 during which ENSO showed large variability. The atmospheric general circulation model (AGCM) CPTEC/COLA was used with persisted and predicted sea surface temperatures and 25 initial conditions. The seasonal forecasts of the rainfall anomalies were evaluated to determine the skill of the forecasts in relation to the observed data in Brazil obtained from the National Institute of Meteorology (INMET). The model captured the well-known signatures of rainfall anomalies of El Niño 1997-98 in the north of Northeast Brazil and South Brazil, though the magnitude of the anomaly, in general, was not well predicted. The members of the ensemble with correct sign of the rainfall anomaly for the whole period were 69% for the north of Northeast Brazil, 47% for Southeast Brazil and 61% for South Brazil. As is expected, the model showed some predictability in Northeast Brazil and South Brazil, mainly for the periods El Niño or La Niña conditions. The results supply the meteorological community with additional information on the nature and limitations of the ensemble long-range forecasts with the CPTEC global model.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar as previsões sazonais de anomalias de precipitação do modelo do CPTEC para o Brasil para o período 1996-99 durante o qual o ENOS mostrou grande variabilidade. O modelo de circulação geral da atmosfera CPTEC/COLA foi usado com anomalias de temperaturas da superfície do mar (TSM) persistidas e previstas e com 25 condições iniciais. As anomalias de precipitação foram avaliadas para determinar o grau de acerto das previsões em relação aos dados observados sobre o Brasil, provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Durante o El Niño de 1997/98 o sinal da anomalia de precipitação foi bem previsto nas Regiões Nordeste e Sul do Brasil. Todavia a magnitude das anomalias, em geral, não foi bem prevista. As porcentagens médias de membros do "ensemble" com o sinal da anomalia de precipitação prevista corretamente de todo o período são de 69% para o norte da Região Nordeste, 47% para a Região Sudeste e 61% para a Região Sul. Como era de se esperar, nas Regiões Nordeste e Sul o modelo possui alguma previsibilidade, principalmente para os períodos de El Niño e de La Niña. A avaliação dos resultados poderá auxiliar a comunidade meteorológica com informações adicionais sobre a natureza e limitações das previsões de longo prazo por conjuntos.

1 - INTRODUÇÃO

Previsões climáticas ou previsões sazonais se baseiam na premissa de que variações lentas nas condições de contorno podem ter impactos significativos no desenvolvimento atmosférico (Brankovic et al., 1994). Charney e Shukla (1981) acharam que nos trópicos, como as condições de contorno dominam a variabilidade interanual, a previsibilidade climática seja mais alta que nos extratrópicos. Segundo Shukla (1998), a circulação de grande escala e a precipitação na região tropical são completamente determinadas pelas condições de contorno da temperatura da superfície do mar (TSM). Entretanto, mesmo que as anomalias de TSM fossem previstas sem nenhum erro, a evolução atmosférica associada não seria determinada exatamente, por causa da natureza caótica da dinâmica da atmosfera (Brankovic e Palmer, 1997). Sabe-se que cada simulação feita com TSM observada e condições iniciais diferentes exibem resultados diferentes. Todavia, Brankovic e Palmer (1997) evidenciam que em anos de ENOS de intensidade forte, a previsibilidade climática nos trópicos aumenta. Já para os extratrópicos, os efeitos das condições de contorno precisam competir com a variabilidade caótica interna associada com as instabilidades e não-linearidades do escoamento atmosférico, o que faz com que a previsibilidade climática diminua (Brankovic et al., 1994).

Uma forma de maximizar o desempenho da previsão sazonal é utilizar a técnica de previsão por conjuntos. Esta técnica consiste em construir um conjunto de possíveis estados iniciais, ligeiramente diferentes entre si, e integrar o modelo numérico a partir de cada estado inicial, produzindo um conjunto de previsões. Para previsão climática sazonal, o método mais utilizado para gerar o conjunto de estados iniciais é escolher condições iniciais separadas de 24 horas. A simplicidade na escolha das condições iniciais pode ser justificada pela escala temporal do problema, pois assume-se que a previsibilidade sazonal não é função do estado inicial, mas sim uma resposta da atmosfera às condições de contorno (Stern e Miyakoda, 1995).

Desde janeiro de 1995 o CPTEC/INPE gera mensalmente previsões sazonais usando o modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA) CPTEC/COLA. São utilizadas 25 condições iniciais que são análises do NCEP das 12 TMG, com intervalo de 24 horas entre elas. Cada condição inicial representa um membro da previsão por conjunto. As inicializações dos 25 membros são feitas cerca de dois meses e meio antes do início do período a ser previsto. A seguir é calculada a média dos 25 membros do conjunto e é feita a diferença entre esta média e o controle, assim fornecendo previsões de anomalias para as variáveis pós-processadas pelo modelo. Para o desenvolvimento do presente trabalho foram feitas previsões do MCGA do CPTEC/COLA, entre dezembro de 1995 e maio de 1999, com TSM de duas formas: anomalia de TSM persistida e TSM prevista.

O presente trabalho apresenta as avaliações das previsões trimestrais de anomalias de precipitação do modelo CPTEC/COLA em relação aos dados observados sobre o Brasil (médias sazonais de anomalias de precipitação provenientes do INMET). A análise foi feita para cada fase do ENOS. Este período foi escolhido para o presente estudo por ter sido caracterizado por uma grande variabilidade no ENOS. O episódio El Niño de 1997/98 foi um dos mais intensos do século, e o episódio de La Niña 1998/99 foi moderado. O período de 1996/1997 foi neutro, ou seja, não apresentou a presença de nenhum dos dois fenômenos. Para classificar os trimestres dos quatro anos estudados em trimestres de El Niño, La Niña e normais foi usado o critério de Trenberth (1997).

2 - DADOS UTILIZADOS E METODOLOGIA

Para a verificação das previsões foram utilizados dados de precipitação observados, entre dezembro de 1995 e maio de 1999, das estações meteorológicas sobre o Brasil provenientes do INMET e dos Centros Estaduais de Meteorologia do Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos do Ministério da Ciência e Tecnologia, interpolados para pontos de grade, com resolução de $0{,}25^0$ de latitude e de longitude. A climatologia utilizada para estes dados refere-se ao período de janeiro de 1961 a dezembro de 1990. A partir de então, este conjunto de dados será chamado de dados do INMET para facilitar a descrição.

As condições iniciais são análises do NCEP das 12 UTC, com intervalo de 24 horas entre elas. Como rodada de controle, foram utilizados os resultados de uma simulação feita em 1999 pelo CPTEC/INPE, com a média de 9 condições iniciais, aplicando como condição de contorno a TSM mensal observada por 10 anos – janeiro de 1982 a

dezembro de 1991 (Cavalcanti et al., 2001). Esta média foi utilizada para o cálculo de anomalias dos campos de previsões.

As diversas previsões de anomalias de precipitação do modelo foram obtidas com anomalias de TSM persistidas do último mês de simulação do modelo em todos os Oceanos e TSMs previstas nos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais pelos modelos acoplado do NCEP e SIMOC/CPTEC, respectivamente, e persistidas nos demais Oceanos.

As avaliações das previsões trimestrais de anomalias de precipitação foram feitas para determinar o grau de acerto das previsões em relação aos dados observados sobre o Brasil (médias sazonais) de anomalias de precipitação provenientes do INMET. A análise foi feita para cada fase do ENOS (El Niño 97/98, La Niña 98/99) e para o ano de neutralidade no Pacífico Tropical.

O objetivo era para verificar se o modelo reproduz os padrões de precipitação associados ao ENOS sobre o Brasil, sobretudo nas Regiões Sul e norte do Nordeste durante o El Niño 1997/98 e La Niña 1998/99. Relembramos que Brankovic e Palmer (1997) evidenciam que o esquema de múltiplas previsões ("ensemble forecasting") aumenta a previsibilidade sazonal em anos de episódios de ENOS com intensidade forte.

O sinal da previsão de anomalias de precipitação foi obtido para três regiões escolhidas sobre o Brasil (norte do Nordeste: $35{,}5^0$-$45{,}0^0$W / $2{,}5^0$-$11{,}0^0$S, Sudeste: $39{,}0^0$-$52{,}5^0$W / $14{,}0^0$-$23{,}5^0$S e Sul: $46{,}0^0$-$58{,}0^0$W / $23{,}5^0$-$34{,}0^0$S) para cada estação do ano durante o período de estudo, e tabelas de contingência foram construídas (vide Tabela 1) utilizando cada membro do conjunto como uma previsão distinta.

TABELA 1 – Exemplo de tabela de contingência 2X2.

		OBSERVAÇÃO		
		ACIMA DA MÉDIA	ABAIXO DA MÉDIA	
PREV.	ACIMA DA MÉDIA	A	B	j=A+B
	ABAIXO DA MÉDIA	C	D	k=C+D
		m = A+C	n = B+D	T=A+B+C+D

Calculou-se a porcentagem de acerto (PC) das previsões, ou seja, a quantidade de vezes que as anomalias das previsões tiveram o mesmo sinal das anomalias observadas.

$$\text{Porcentagem de acerto} = PC = \frac{A+D}{T} * 100$$

3 - RESULTADOS

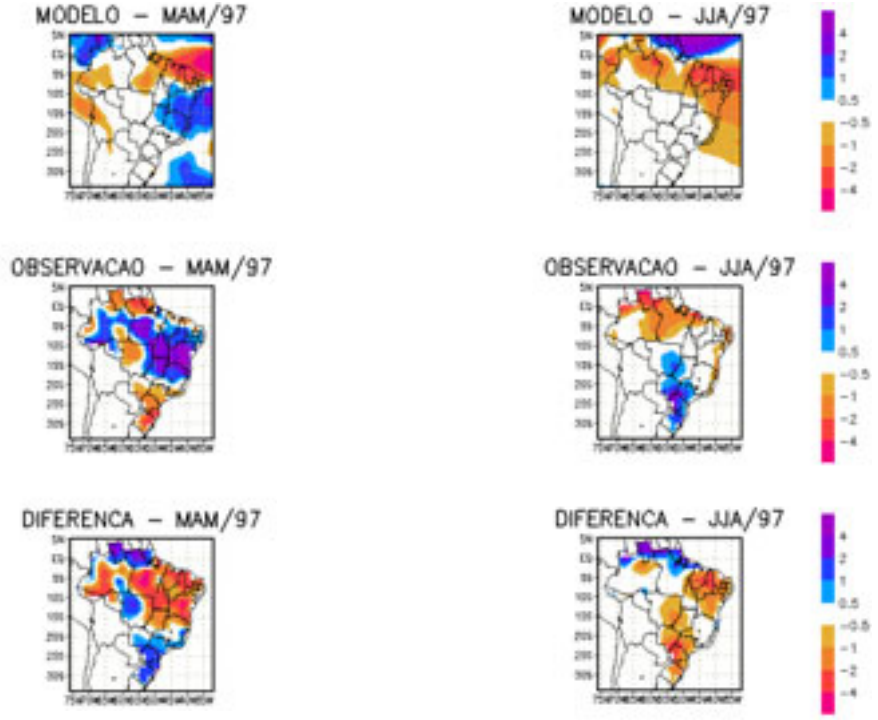
3.1 - Avaliação das médias dos conjuntos

As médias dos conjuntos de previsões para cada trimestre entre dezembro de 1995 e maio de 1999 foram calculadas. Os principais impactos do ENOS em sua fase quente (El Niño) sobre o Brasil são aumento de chuvas na Região Sul, diminuição no norte e leste da Amazônia e no norte do Nordeste e aumento de temperatura nas Regiões Sudeste (INPE/CPTEC, 1998a).

A anomalia de precipitação prevista pelo modelo forçado com anomalias de TSM persistidas (Figura 1) indicou que durante o início do El Niño de 1997/98 (MAM de 1997) o modelo subestimou a precipitação em praticamente todo o Centro-Norte do Brasil, principalmente sobre as Regiões Sudeste e Nordeste. Durante o inverno de 1997 o maior erro do modelo ocorreu sobre a Região Sul do Brasil, pois foi observado excesso de precipitação, enquanto que o modelo previa precipitações em torno da normal climatológica. Na primavera daquele ano o modelo conseguiu simular muito

bem o déficit de chuvas em praticamente todo o norte do país e o excesso no Centro-Sul que já são os típicos efeitos do El Niño sobre o país. Durante o verão de 1997/98 o modelo continuou captando o sinal do El Niño sobre o país. Nesta fase foram observadas anomalias positivas de TSM no Pacífico Equatorial Central e Leste da ordem de $5{,}0^0$C, o que caracterizava um El Niño extremamente forte. Por fim, no outono de 1998 o modelo não conseguiu captar bem o déficit de precipitação sobre o norte do Nordeste. Isto foi devido à configuração de TSM no Atlântico Tropical que apresentou anomalias positivas no Atlântico Sul e anomalias positivas, porém bem menores, no Atlântico Norte, o que favoreceu, juntamente com a atuação de sistemas sinóticos que o modelo não foi capaz de captar, as precipitação acima da média em algumas partes do Nordeste, como discutido por Cavalcanti e Pezzi (1998). Isso explica o porque o modelo não conseguiu captar corretamente a diminuição significativa das chuvas devida ao El Niño, pois o Atlântico era favorável. Uma comparação com o modelo forçado com anomalia de TSM prevista para o outono de 1998 indicou que as previsões captaram as anomalias negativas de precipitação da Região Nordeste melhor do que a simulação. O modelo conseguiu captar razoavelmente bem o excesso de chuvas na Região Sul. Em geral, o padrão foi bem simulado, mas os desvios (diferenças) foram muito grandes.

Já a fase fria (La Niña) apresenta tendência de diminuição da precipitação nos meses de setembro a fevereiro, principalmente no Rio Grande do Sul, além do centro-nordeste da Argentina e Uruguai, temperaturas próximas da média climatológica ou ligeiramente abaixo da média sobre a Região Sudeste, durante o inverno, chegada das frentes frias até a Região Nordeste, principalmente no litoral da Bahia, Sergipe e Alagoas, tendência às chuvas abundantes no norte e leste da Amazônia e possibilidade de chuvas acima da média sobre a região semi-árida do Nordeste do Brasil (INPE/CPTEC, 1998b). No último trimestre do La Niña 1995/96 (figura não mostrada aqui) o modelo não conseguiu prever bem as anomalias de precipitação sobre o país, principalmente o excesso de chuvas na Região Sul e no norte da Amazônia.



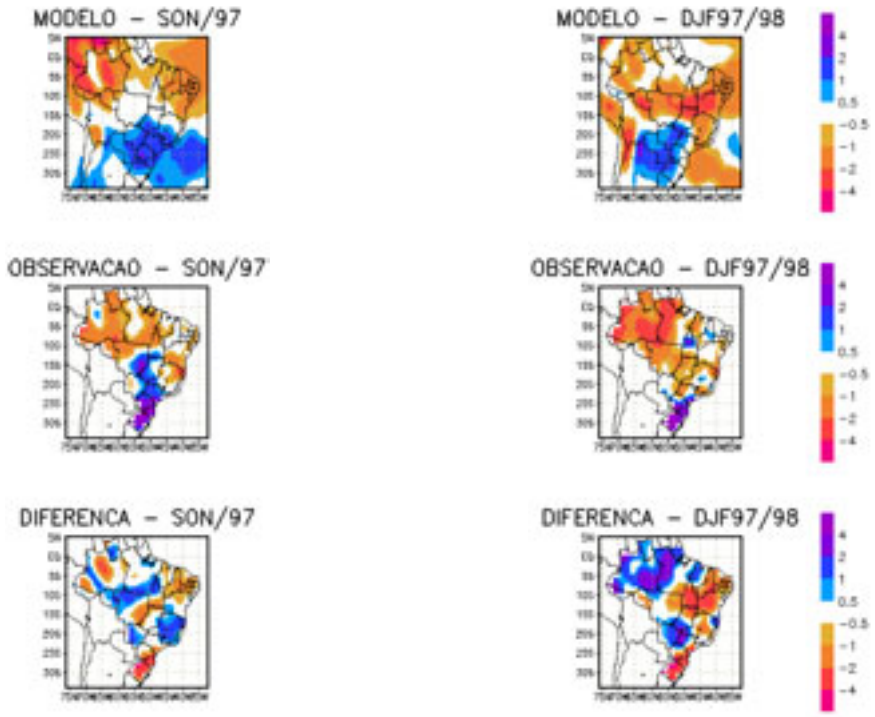


Fig. 1 – Previsões de anomalias de precipitação (mm/dia), precipitação observada (INMET) e diferença entre as anomalias de precipitação observadas e previstas durante o El Niño de 1997/98, para cada trimestre: 1997 – MAM, JJA, SON, DJF; 1998: MAM – média de 25 condições iniciais - TSM persistida.

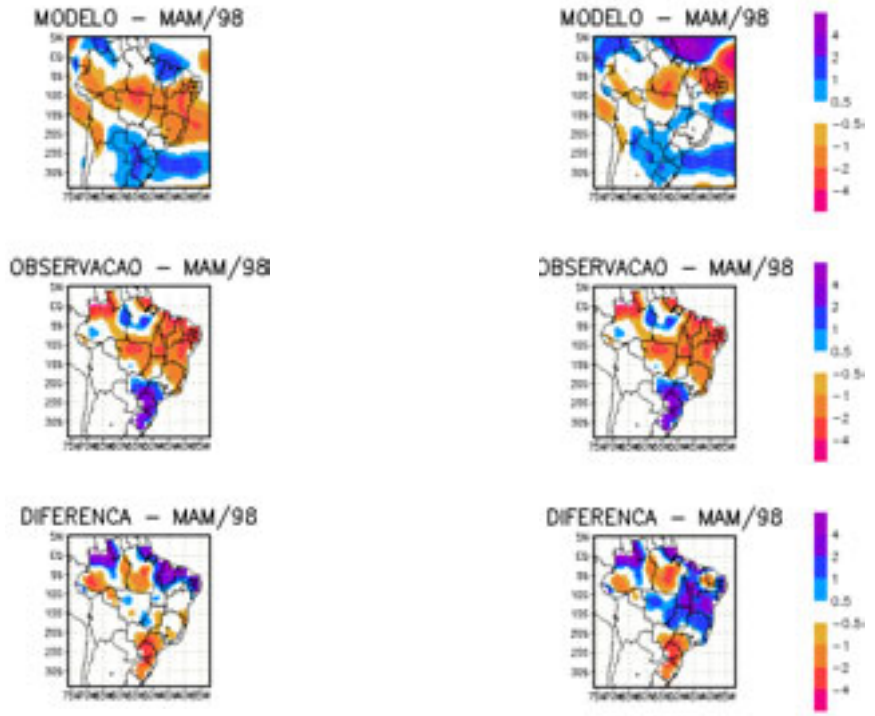
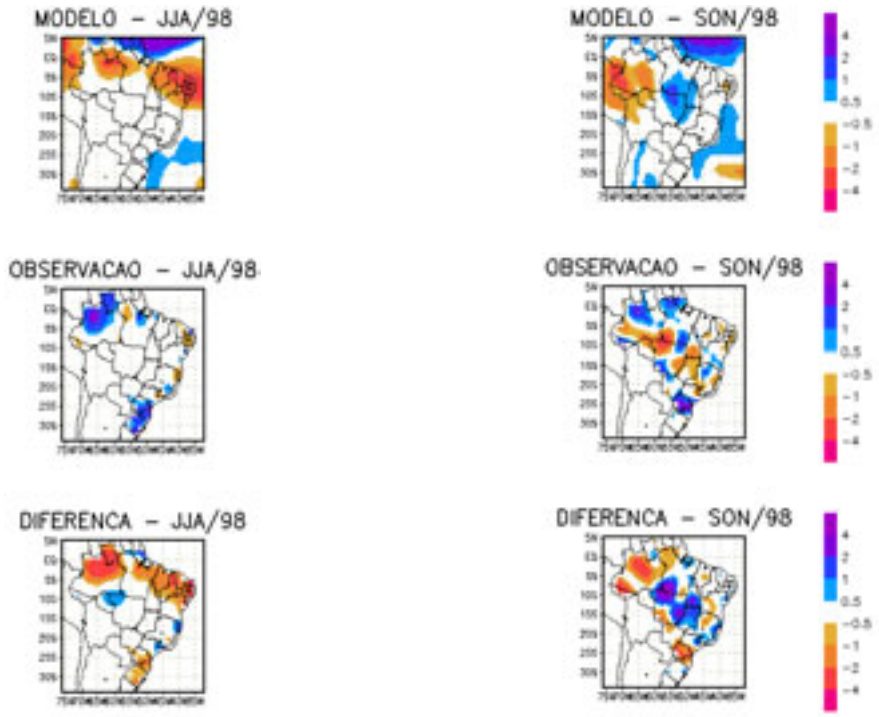
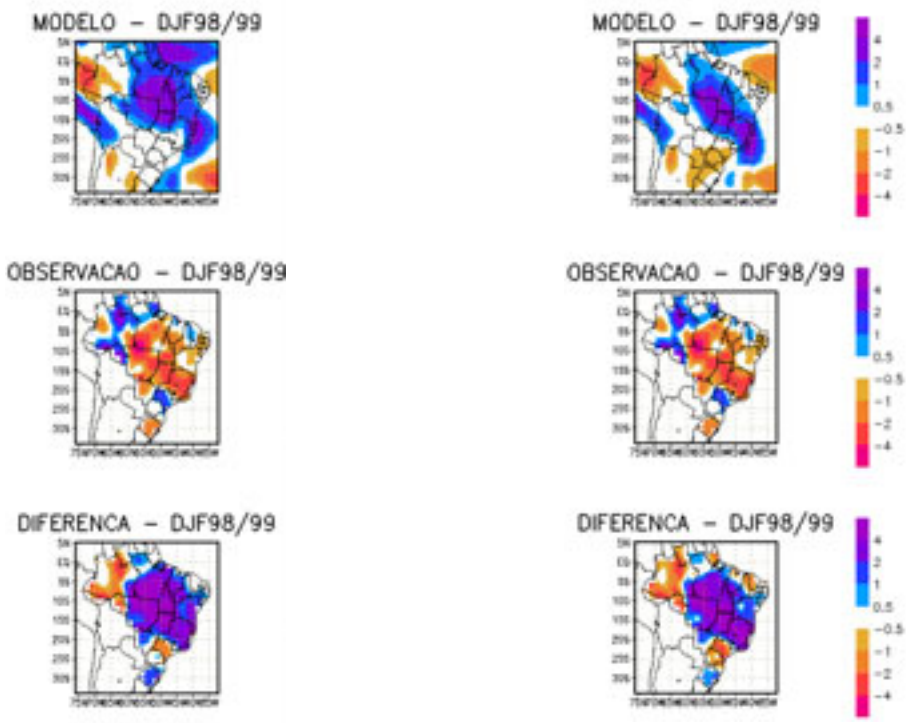


Fig. 1 – Conclusão. O painel à direita é referente à previsão com TSM prevista.

Durante o La Niña de 1998/99 o modelo também não conseguiu reproduzir bem o déficit de precipitação sobre o Sul do Brasil (Figura 2). Sobre a Região Sudeste superestimou a precipitação, sobretudo entre DJF/98/99 e MAM/99. No norte e leste da Amazônia a previsão com anomalias de TSM prevista para MAM/99 foi bem melhor do que a previsão com anomalias de TSM persistidas. O leste da Região Nordeste foi bem previsto pelo modelo, que indicava anomalias negativas de precipitação, que de fato ocorreram.

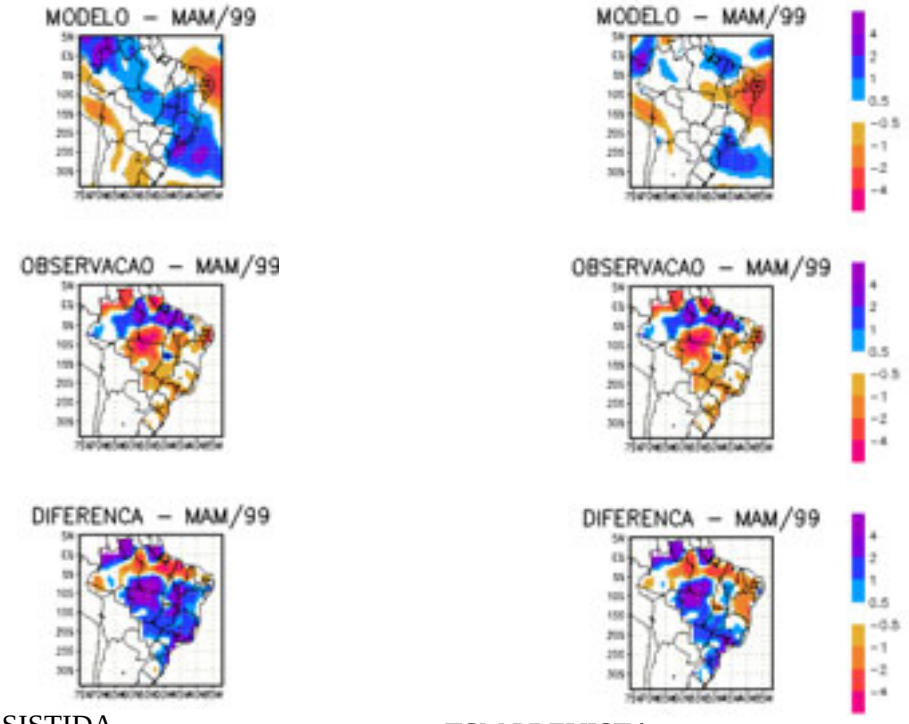
As figuras da evolução das anomalias de precipitação previstas e observadas durante o período de neutralidade no Oceano Pacífico, ou seja, sem a ocorrência de El Niño ou La Niña, não são apresentadas aqui. No outono de 1996 o modelo superestima a precipitação na região da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e no extremo norte do país e subestima no norte do Nordeste e na Região Sul. Em JJA/96 o modelo continuou indicando uma banda com precipitação excessiva, orientada no sentido noroeste-sudeste, todavia sobre o Norte e Nordeste do país. A precipitação é bem prevista no extremo norte do Brasil. Na primavera de 1996 o modelo superestimou a precipitação na região central do país e subestimou em parte da Região Sul e Sudeste e no oeste da Região Norte. No último trimestre de neutralidade no Pacífico Tropical o modelo não previu bem as anomalias de precipitação sobre o país, principalmente na região central, onde superestimou a chuva, e na Região Sul onde subestimou.





TSM PERSISTIDA TSM PREVISTA

Fig. 2 – Paineis superiores: previsões de anomalias de precipitação (mm/dia). Paineis centrais: anomalias de precipitação observadas (INMET). Paineis inferiores: diferença entre as anomalias de precipitação observadas e previstas durante o La Niña de 1998/99, para cada trimestre: 1998: JJA, SON; 1999: DJF, MAM – média de 25 membros do "ensemble".



TSM PERSISTIDA TSM PREVISTA

Fig. 2 – Conclusão. Painel da esquerda refere-se à previsão feita com anomalias de TSM persistidas. Painel da direita: previsão feita com anomalias de TSM previstas, para o trimestre MAM 99.

3.2 – Análise do sinal da previsão de anomalias de precipitação

A Tabela 2 apresenta a porcentagem de membros do conjunto com o sinal da anomalia de precipitação prevista corretamente, para as três regiões de estudo e com o modelo forçado com TSM persistida e prevista. As porcentagens médias de acerto do sinal, considerando as previsões forçadas com TSM prevista e persistida, são de 69% para o norte da Região Nordeste, 47% para a Região Sudeste e 61% para a Região Sul. Como era de se esperar, nas Regiões Nordeste e Sul o modelo possui alguma previsibilidade, principalmente quando há a manifestação do El Niño ou do La Niña. Durante o período de El Niño, as previsões para o norte da Região Nordeste apresentaram o sinal correto da anomalia de precipitação em 100% dos membros do conjunto em quatro trimestres. Observa-se que quando são utilizadas as previsões com TSM previstas, há um maior número de membros com o sinal da anomalia de precipitação prevista corretos. O mesmo não é possível afirmar para as demais regiões.

TABELA 2 - Porcentagem de membros do "ensemble" com o sinal da anomalia de precipitação prevista corretamente para cada trimestre do ano entre dezembro de 1995 e maio de 1999, para as três regiões de estudo e com o modelo forçado com TSM persistida e prevista (prev). As cores indicam a fase do ENOS: vermelha = El Niño; azul = La Niña e branco = Neutro.

	NORDESTE	**SUDESTE**	**SUL**
PREVISÃO	Porcentagem	Porcentagem	Porcentagem
DJF 95/96	100	40	48
MAM 96	36	92	68
JJA 96	4	64	64
SON 96	72	36	24
DJF 96/97	52	72	32
MAM97	0	76	60
JJA 97	100	4	40
SON97	100	68	92
DJF 97/98	100	56	64
MAM 98	88	84	96
MAM 98 prev	100	52	84
JJA 98	100	32	84
SON 98	64	40	72
DJF 98/99	4	20	52
DJF 98/99 prev	68	12	68
MAM99	84	12	56
MAM 99 prev	96	36	36

4 -DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Rodadas de "ensemble" com anomalias de TSM persistidas e previstas com 25 membros foram utilizadas para a avaliação das previsões do modelo do CPTEC. Durante o El Niño de 1997/98, no Nordeste, como era de se esperar, os maiores erros ocorrem durante o período chuvoso (MAM). Com exceção de MAM de 1997, o sinal da anomalia de precipitação foi previsto corretamente em todos os trimestres. Na Região Sudeste o maior erro também ocorre no período com maior pluviosidade (DJF 97/98). Nota-se que, ao contrário do que ocorre no Nordeste, a previsão com TSM prevista tem maior erro do que a feita com TSM persistida, e pode ser uma manifestação da baixa previsibilidade no Sudeste. O sinal das anomalias de precipitação em relação às anomalias observadas não é bem previsto. Sobre a

Região Sul, com exceção de MAM e JJA de 1997, o sinal da anomalia de precipitação foi previsto corretamente.

Durante o La Niña de 1998/99 o modelo também não conseguiu reproduzir bem o déficit de precipitação sobre o Sul do Brasil. Sobre a Região Sudeste superestimou a precipitação, sobretudo entre DJF/98/99 e MAM/99. No norte e leste da Amazônia a previsão com anomalias de TSM prevista para MAM/99 foi bem melhor do que a previsão com anomalias de TSM persistidas. O leste da Região Nordeste foi bem previsto pelo modelo, que indicava anomalias negativas de precipitação, que de fato ocorreram.

O modelo apresenta melhor destreza no acerto do sinal da anomalia de chuva em SON para o Nordeste e MAM para o Sudeste e Sul. Uma das falhas do modelo é a organização de ZCAS sobre a América do Sul durante os trimestres de MAM e até JJA.

A verificação do sinal da previsão de anomalias de precipitação no norte da Região Nordeste apresentou os maiores índices de acertos. Sobre a Região Sul, os índices de destreza das previsões foram bons quando há a manifestação do ENOS. Já para a Região Sudeste, onde foram notados os menores índices, a previsibilidade do sinal de anomalias de precipitação ocorre durante o outono, quando há uma gradual redução da precipitação.

Esta avaliação deve servir a comunidade meteorológica do Brasil para entender um pouco mais a natureza e as limitações das previsões numéricas de longo prazo.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brankovic, C., et al., 1994: Predictability of seasonal atmospheric variations. **Journal of Climate**, **7**, 217-237.

Brankovic, C., et al., 1997: Atmospheric seasonal predictability and estimates of ensemble size. **Monthly Weather Review**, **125,** 859-874.

Cavalcanti, I. F. A., et al., 2001: **Climate Characteristics in an Ensemble Simulation Using the CPTEC/COLA Atmospheric Global Circulation Model**, São José dos Campos, INPE, 2001, 71 p. (INPE-8150-RPQ/717).

Cavalcanti, I. F. A., et al., 1998: Previsões sazonais para o verão e outono de 1998 sobre o Brasil, com o MCG do CPTEC/COLA. **Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Brasília – disponível em CD ROM.

Charney, J. G., et al., 1981: Predictability of monsoons. In **Monsoon dynamics**. Ed. J. Lighthill and R. Pearce - Cambridge University Press, 735 p.

INPE/CPTEC, 1998 a: **O El Niño - Conseqüências do Fenômeno El Niño sobre o Território Brasileiro e Perspectivas para 1998**. Relatório elaborado pelo CPTEC - INPE em 15 de Janeiro de 1998 - http://www1.cptec.inpe.br/products/elninho/elninho3p.html.

INPE/CPTEC, 1998 b: **La Niña**. Relatório elaborado pelo CPTEC/INPE em 05 de Agosto de 1998 - http://www.cptec.inpe.br/products/laninha/laninha3p.html.

Shukla, J., 1998: Predictability in the Midst of Chaos: A Scientific Basis for Climate Forecasting. **Science**, **282**, 728-731.

Stern, W., et al., 1995: Feasibility of seasonal forecasts inferred from multiple GCM simulations. **Journal of Climate**, **8**, 1071-1085.

Trenberth, K. E., 1997: The definition of El Niño. **Bulletin of American Meteorological Society**, **78**, 2771-2777.