



SISTEMA DE PREVISÃO SAZONAL POR *ENSEMBLE* UTILIZANDO O MODELO ECHAM4.6 NA FUNCEME

Eduardo Sávio P. R. Martins^{1*}, José Marcelo R. Pereira¹, Caio Augusto dos S. Coelho², Francisco das C. Vasconcelos Júnior¹, Dirceu S. Reis Jr³, Arthur Costa. T. Souza¹, Aurélio W. T. Noronha¹

Resumo - O objetivo deste trabalho é apresentar o sistema de previsão sazonal por *ensemble* utilizando modelo global ECHAM4.6 na FUNCEME. O sistema de modelagem apresenta 20 membros com diferentes inicializações forçada com anomalia de temperatura da superfície do mar (TSM). O período avaliado é o trimestre Fevereiro a Maio (FMA), o qual representa 65% da precipitação anual no norte do Nordeste. O modelo apresenta significância estatística na correlação sobre a costa nordeste da América do Sul. Verificações das previsões para o período de *hindcasts* 1989-2008 para o norte da América do Sul mostram destreza do modelo para a previsão de eventos abaixo e acima da normal para o trimestre avaliado. A verificação da previsão realizada em Janeiro/2015 para o trimestre FMA/2015 mostrou que o tercil mais provável indicado na previsão foi observado para toda a costa do Nordeste. A variabilidade interanual do acumulado de precipitação no Ceará é capturada dentro do envelope dos membros da previsão com viés corrigido. O sistema de previsão mostra consistência e performance considerável em relação previsão sazonal para o nordeste brasileiro.

Palavras-chave: Verificação; Previsão Climática; Ensemble.

SEASONAL FORECAST SYSTEM USING ECHAM4.6 MODEL AT FUNCEME

Abstract - This work aims to present the seasonal forecast system at Funceme using the global model ECHAM4.6. The modeling system has 20 members with different initial conditions forced by sea surface temperature anomaly. The evaluation period is the season Feb-Mar-Apr (FMA) which represents 65% of the annual precipitation over northern northeastern Brazil. The model present statistically significant correlation on the northeastern coast of South America. The forecast verification during hindcast period 1989-2008 over northern South America shows high accuracy for forecasting below and above normal categories events. Forecast verification issued January/2015 valid for the FMA/2015 season showed that the most likely tercile indicated from forecast was observed for the whole of the coast of the Northeast. The interannual variability of rainfall accumulated in Ceará is captured within the envelope of the forecast members bias-removed. The forecast system shows considerable consistency and performance in seasonal forecasting relation to the Brazilian northeast.

Keywords: Verification; Climate forecast; Ensemble.

¹ Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME): esprmartins@gmail.com; marcelorodriguesss@gmail.com;

² Centro de Pesquisa de Energia e Clima (CPEIC): caio@ufesma.br

³ Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília (PTARH/UnB): dirceu.reis@gmail.com



1. INTRODUÇÃO

Os modelos dinâmicos de previsão de clima tem ajudado na tomada de decisão e no gerenciamento de várias áreas, entre estas, recursos hídricos e agricultura. Nos últimos anos, vimos que essas áreas tem sido impactadas pela variabilidade do clima, o que implica que a informação climática tem que ser incorporada no processo decisório como forma de mitigação e não apenas contar com a esperança de um melhor cenário para o ano seguinte.

Desde 2002, a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme) utiliza modelos dinâmicos regionais para a previsão climática em seus prognósticos para previsão sazonal. Em 2013, o Modelo de Circulação Geral da atmosfera (MCGA) ECHAM4.6 (Roeckner et al. 1996), desenvolvido pelo *Max Planck Institute for Meteorology* da Alemanha, foi incorporado ao sistema de previsão climática. As previsões são feitas mensalmente para horizontes de até oito meses, sendo o produto de divulgação da previsão o correspondente à previsão trimestral.

Este trabalho tem como objetivo apresentar o sistema de previsão usando o modelo ECHAM4.6 implementado na Funceme com uma análise mais detalhada sobre o estado do Ceará.

2. METODOLOGIA

A previsões do MCGA ECHAM4.6 foram realizadas usando 20 membros, onde cada membro possui diferentes perturbações iniciais na atmosfera. Os membros utilizam como forçante a anomalia da temperatura do mar persistida para o horizonte 8 meses de previsão. Os *hindcasts* compreendem os anos de 1989 a 2008, correspondendo o período da climatologia adotada e simulada em modo de previsão. O modelo possui uma grade do tipo T42L19 com espaçamento entre os pontos da grade de aproximadamente 2.8125°, 128 pontos na longitude e 64 pontos na latitude.

O pós-processamento dos resultados das previsões é baseado em uma metodologia de regressão linear e consiste no estabelecimento da previsão probabilística em três categorias para o acumulado de precipitação do trimestre alvo da previsão, usando-se para isto a média dos membros das previsões.

Para este trabalho foram apresentados os tercis observados durante o trimestre de FMA de 2015 para toda a América do Sul, assim como a previsão correspondente para este período realizada em Janeiro de 2015.

Utilizou-se os dados observados de precipitação do *CPC Merged Analysis of Precipitation* (CMAP) (Xie and Arkin, 1997), combinados com dados das estações pluviométricas da Funceme, para avaliar a qualidade das previsões do modelo ECHAM4.6. Foram usadas como critérios de performance o coeficiente de correlação, o diagrama de atributos (*reliability*) (Murphy, 1973) e o *boxplot* combinando os dados observados com a previsões dos *hindcasts*. A correlação foi usada para avaliar temporalmente a destreza do modelo ECHAM4.6. O gráfico de confiabilidade, por sua vez, foi aplicado às três categorias de previsão para mostrar a correspondência de toda a faixa de probabilidades de previsão emitidas e sua frequência relativa observada, revelando assim as características da previsão, como por exemplo, o viés associado. Para analisarmos a dispersão o *boxplot* foi aplicado a todos os membros da previsão para o estado do Ceará, usando as estações pluviométricas da Funceme localizadas no Ceará.

Para os resultados e análises aplicadas neste trabalho, as grades do modelo e da base de dados observada foram interpoladas para 1 grau.



3. RESULTADOS

Os modelos climáticos tendem a subestimar ou superestimar a intensidade dos eventos, podendo causar erros sistemáticos nas previsões, estando estes erros associados à representação dos processos físicos e à verificação da destreza dos modelos climáticos. Faz-se necessário, assim, a correção destes erros sistemáticos (viés).

A Figura 1 mostra a correlação da precipitação do modelo ECHAM4.6 com os dados observados do CMAP entre anos de 1989-2008. Observa-se uma correlação entre 0,5 e 0,7 sobre o litoral e boa parte dos estados do Nordeste do Brasil, indicando que o modelo climático possui destreza sobre essa região. O diagrama de atributos apresentado na Figura 2 mostra as ocorrências das frequências relativas observadas para cada intervalo de probabilidade (0, 10, 20, ..., 100) e as três categorias de tercils para o período dos *hindcasts*. A região do gráfico compreende as longitudes entre 74W e 30W e as latitudes entre 16S e 6N. O diagrama mostra inclinação positiva para os tercils, indicando que as previsões tiveram um certo nível de confiança associado a cada faixa (*range*) de probabilidades.

Devido às incertezas do futuro, adotamos o método probabilístico no sistema de previsão, ao invés do método determinístico. Dessa maneira é possível quantificar a incerteza, a partir da definição das probabilidades de um determinado evento acontecer.

A Figura 3 mostra a previsão do tercil mais provável feita em janeiro de 2015 para o acumulado do trimestre FMA do mesmo ano. Observa-se que para esse período, o tercil abaixo foi previsto como o mais provável para quase todos os estados do Nordeste do Brasil, incluindo o Ceará. Para o restante do Brasil, a previsão indicou a climatologia com exceção do sul do país. As funções densidades de probabilidade correspondentes à previsão e climatologia são disponibilizadas na Figura 4. As probabilidades das categorias abaixo, em torno e acima da média são calculadas pelas áreas sob a função de densidade de probabilidade da previsão, correspondentes, respectivamente, aos intervalos menor do que o 1º tercil, entre o 1º e o 2º tercil e acima do 2º tercil. Para a previsão emitida em Janeiro de 2015, o tercil mais provável para o Ceará para o trimestre FMA apresenta 75% de chance para a categoria abaixo da normal. Os tercils em torno da normal e acima da normal apresentam 21% e 4%, respectivamente.

A verificação da previsão feita em Janeiro/2015 é apresentada na Figura 5. Ela mostra as categorias observadas precipitação para o trimestre FMA de 2015 usando os dados do CMAP para a América do Sul e combinados com os dados observados da Funceme para o Ceará baseado no período de referência 1989-2008. Observa-se que a categoria abaixo da média foi observada para toda a faixa norte e nordeste do Brasil, conforme o prognóstico apresentado na Figura 3. O estado do Ceará teve precipitação acumulada abaixo da normal em FMA, com total de 386,3 mm e desvio de 25,4 % em relação a média climatológica.

A Figura 6 mostra o gráfico de *boxplot* entre os anos de 2008 à 2015 de precipitação acumulada observada para FMA, combinado com as previsões dos 20 membros do modelo ECHAM4.6 para o estado do Ceará. O viés dos membros foram corrigidos utilizando a média e o desvio padrão dos dados observados para o período de referência. Nota-se que o modelo capturou a variabilidade interanual e a categoria observada da precipitação. Outra característica a se ressaltada é a baixa dispersão dos membros em determinados anos, como, por exemplo, nas previsões de 2008 e 2015 todos os membros indicaram a categoria abaixo da normal, as quais foram as observadas. É verdade que o que se espera do sistema de previsão é que, em um longo período, as probabilidades identificadas pelo conjunto de modelos reflitam as probabilidades observadas no mesmo período.



4. CONCLUSÕES

Um sistema de previsão implementado na FUNCEME, baseado no *Ensemble* de membros do modelo ECHAM4.6 e forçado com anomalia de TSM persistida, foi apresentado. Foram realizadas verificações das previsões para o norte da América do Sul e especificamente para o Ceará.

Para investigar a destreza do modelo ECHAM4.6 nas previsões de precipitação acumulada feitas em Janeiro para o trimestre FMA, calculou-se a correlação e diagrama de atributos (*reliability*) para o período do *hindcasts* de 1989 à 2008. O modelo ECHAM4.6 mostra ter melhor correlação sobre grande parte do norte e nordeste do Brasil com índice entre 0,3 e 0,7, dependendo da região. Essa informação aponta uma boa destreza do modelo para as previsões sobre essas regiões, o que é de suma importância na apresentação do prognóstico das mesmas. O diagrama de atributos mostra uma destreza nas previsões para os tercils acima e abaixo, onde a curva se mantém positiva e próxima a linha diagonal de 45°. As previsões para o tercil normal não apresentam bons resultados para as faixas probabilidades acima de 50%, o que está provavelmente associado à tendência dos modelos em subestimar ou superestimar os valores. O mesmo comportamento foi observado nas verificações feitas por Barnston et al. (2009).

A categoria observada de precipitação acumulada para o trimestre FMA/2015 mostra que o tercil mais provável da previsão feita em Janeiro de 2015 foi observado para boa parte do Norte e Nordeste, isso reforça pontualmente a destreza do modelo nessa região.



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

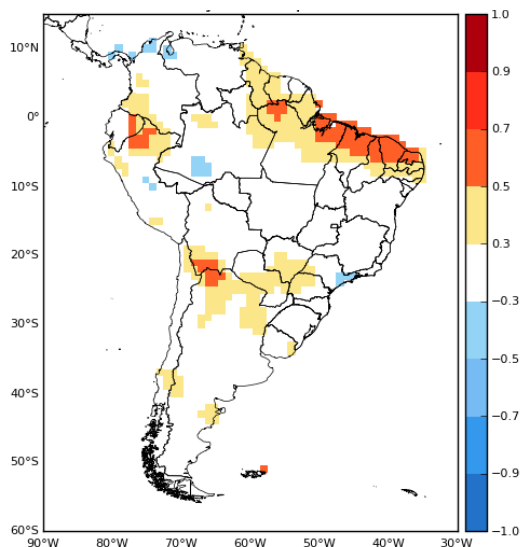


Figura 1 - Mapa de Correlação da precipitação acumulada para FMA a partir de previsões iniciadas em janeiro do ECHAM46 versus observações do CMAP (base de observação) para o período de *hindcast* 1989-2008.

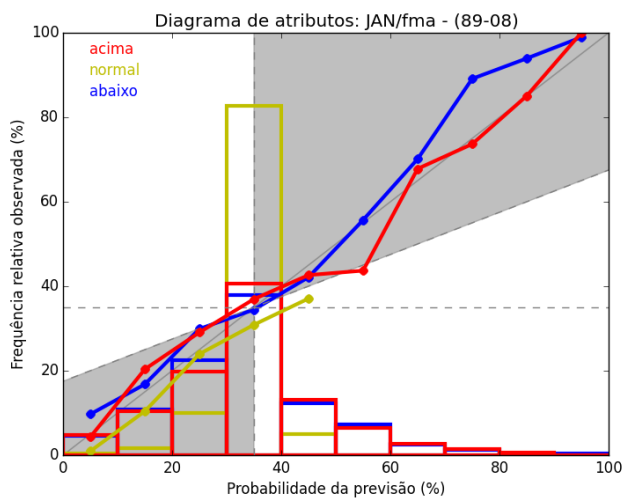


Figura 2 - Diagrama de atributos da precipitação acumulada para FMA a partir de previsões iniciadas em janeiro do ECHAM4.6 versus observações do CMAP (base de observação) para o período de *hindcast* 1989-2008.



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

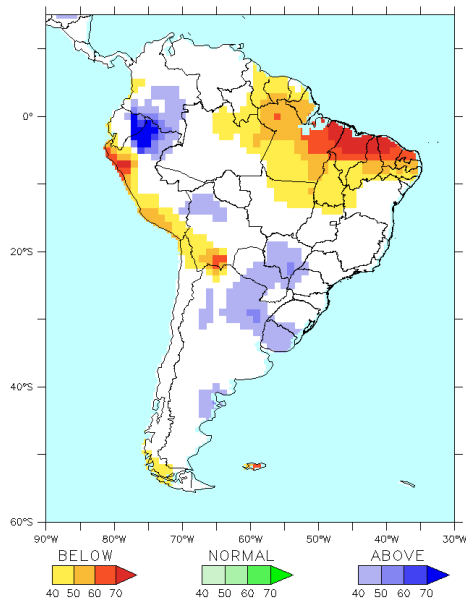


Figura 3 - Previsão probabilística para os tercís abaixo, em torno e acima da normal feita pelo ECHAM4.6 em janeiro/2015 válida para o trimestre FMA/2015.

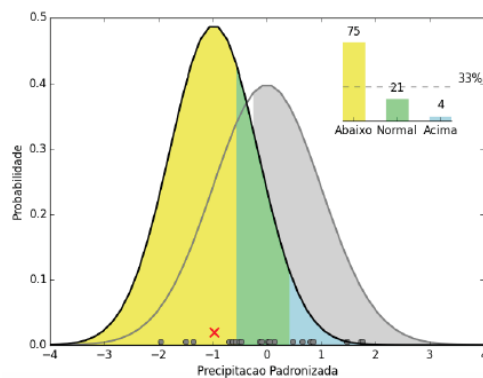


Figura 4 - Distribuição de probabilidade prevista (preto) e climatológica (cinza) normalizadas para precipitação acumulada no estado do Ceará para o trimestre FMA/2015. Círculos cinzas representam a observação normalizada da climatologia (1989-2008).



XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável:
desafios do conhecimento e da gestão

De 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília – DF

CMAP/FUNCEME - FMA 2015 - CAT OBS

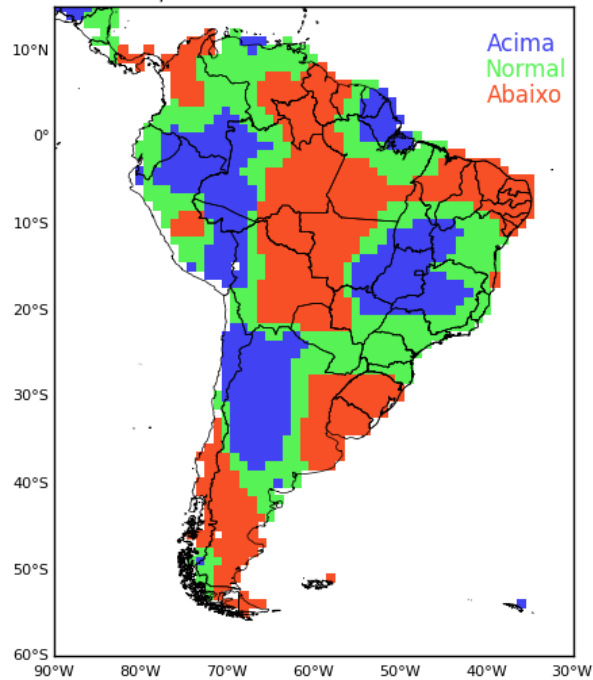


Figura 5 – Categoria observada de precipitação acumulada para o trimestre FMA de 2015 baseado no período de referencia 1989-2008.

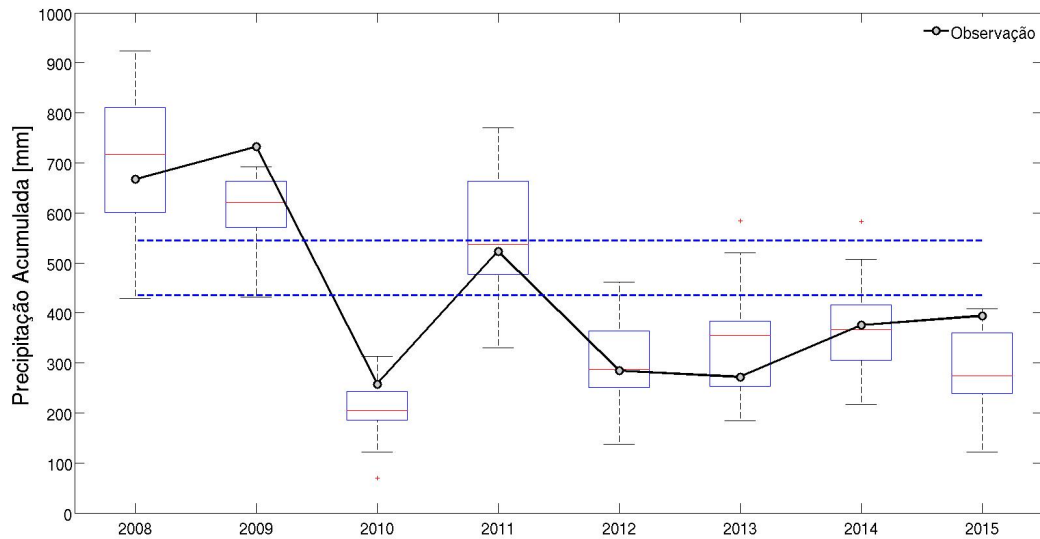


Figura 6 - Boxplot dos 20 membros da previsão do ECHAM4.6 da precipitação acumulada para o estado do Ceará. Valores observação são apresentada na linha com círculos. Linhas horizontais azuis indicam os percentis de 33,33% e 66,66% da climatologia observada 1989-2008.



5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao CNPq por ter possibilitado e financiado esta pesquisa através do projeto LAMPIÃO (400079/2014-3).

6. REFERÊNCIAS

Roeckner, et al. (1996): The atmospheric general circulation model ECHAM-4: Model description and simulation of present-day climate . Report 218, Max-Planck-Institut fur Meteorologie, Hamburg.

BARNSTON, A. G.; LI, S.; MASON, S. J.; et al. Verification of the First 11 Years of IRI's Seasonal Climate Forecasts. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 49, n. 3, p. 493–520, 2009. Acesso em: 11/6/2015.

MURPHY, A. H. A New Vector Partition of the Probability Score. **Journal of Applied Meteorology**, v. 12, n. 4, p. 595–600, 1973. Acesso em: 29/5/2015.

XIE, P.; ARKIN, P. A. Global Precipitation: A 17-Year Monthly Analysis Based on Gauge Observations, Satellite Estimates, and Numerical Model Outputs. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 11, p. 2539–2558, 1997. Acesso em: 29/5/2015.