



## **MODELAGEM GLOBAL X DOWNSCALING DINÂMICO: UMA ANÁLISE PRECIPITAÇÃO SAZONAL E SUBSAZONAL NO NORDESTE DO BRASIL**

Francisco das C. Vasconcelos Júnior<sup>1\*</sup>, Eduardo Sávio P. R. Martins<sup>1</sup>, José Marcelo R. Pereira<sup>1</sup>,  
Domingo C. Sales<sup>1</sup>, Caio Augusto dos S. Coelho<sup>2</sup>, Dirceu S. Reis Jr<sup>3</sup>

**Resumo** - Este trabalho tem por objetivo avaliar o uso da regionalização da informação sazonal e sub-sazonal via *downscaling* dinâmico com modelo regional em comparação com interpolação linear do modelo global. Esta investigação busca analisar o desempenho na adição ou redução de valor por parte modelos regionais na previsão sazonal para o período de Fevereiro a Maio (FMA) e para a distribuição de precipitação sub-sazonal. O modelo de circulação geral ECHAM4.6 foi forçado com Temperatura da Superfície do Mar (TSM) para 20 membros com diferentes inicializações para gerar um previsão por ensemble sobre o Nordeste brasileiro. *Downscaling* dinâmico foi realizado forçando os modelos regionais RSM97 e RSM2008 com as saídas dos ECHAM4.6 para o período de 1989-2008. Na análise sub-sazonal foram utilizados dois índices climáticos baseado na distribuição da chuva diária dentro da quadra chuvosa do Ceará (FMAM) para o período de 1989-2012 para o ECHAM4.6 e RSM97. Na análise da previsão sazonal, os modelos regionais não adicionaram valor aos resultados do modelo global interpolado, sendo que para o centro-sul do Piauí e Ceará a correlação piora. A variabilidade interanual dos índices é capturada por ambos os modelos, contudo o ECHAM4.6 (interpolado) apresentou melhor correlação para estes índices.

**Palavras-Chave:** Índice de seca; Valor adicionado; Modelagem regional.

## **GLOBAL MODELING X DYNAMICAL DOWNSCALING: SEASONAL PRECIPITATION ANALYSIS FOR NORTHEAST BRAZIL**

**Abstract** - This study aims to evaluate the regionalization ways of seasonal and sub-seasonal rainfall: via dynamical downscaling with regional model compared to linear interpolation of the global model. This investigation seeks to analyze the performance of downscaling using regional models in adding or retaining value for seasonal forecasting and the distribution of sub-seasonal precipitation over Northeastern Brazil. The general circulation model ECHAM4.6 was forced with sea surface temperature (SST) to 20 members with different startups to generate a forecast for ensemble of the Brazilian Northeast. Dynamical downscaling was performed forcing regional models RSM 97 and 2008 using atmospheric forcing from the ECHAM4.6 for FMA season from 1989 to 2008. On sub-seasonal timescale analysis we used two climate indexes based on daily rainfall distribution within rainy season in Ceará (FMAM) from 1989 to 2012 for ECHAM4.6 and RSM97 forecasts. Regarding analysis of seasonal forecasting the regional models did not add value to global model interpolated on south-central Piauí and Ceará, showing low correlation coefficients. Interannual variability of the indexes is captured by both models, but the (interpolated) ECHAM4.6 showed better correlation with observed indexes.

<sup>1</sup> Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. juniorphy@gmail.com, espr.martins@gmail.com, marcelorodrigues@gmail.com, domingosales@gmail.com

<sup>2</sup> Centro Previsão de Tempo e Clima, Instituto de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). caio.coelho@cptec.inpe.br

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



**Keywords:** Drought index; Added value; Regional Modeling.

## 1. INTRODUÇÃO

A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) é pioneira na previsão sazonal operacional para o Nordeste brasileiro. Desde 2001 a instituição utiliza a técnica do *downscaling* dinâmico com os modelos regionais Regional Atmospheric Model System (RAMS, versão 4.4) e NCEP Regional Spectral Model (RSM, versão 97) (Juang et al. 1997) forçados pelo ECHAM4.5 (Roeckner et al., 1996) com duas diferentes forçantes de temperatura da superfície do mar (TSM): persistência e previsão da anomalia de TSM. Diversos trabalhos mostraram as aplicações deste sistema no Nordeste e especificamente para o Ceará (Alves et al. 2003; Sun et al. 2007). Em 2010 a FUNCEME implementou em seu sistema de regionalização a versão 2008 do RSM, também acoplado uni-direcionalmente ao ECHAM4.5, onde o modelo global fornece condições de iniciais e de contorno para o modelos regionais.

Em 2012, iniciou-se um sistema de previsão climática operacional na FUNCEME utilizando a versão 4.6 do modelo ECHAM, este com espaçamento de grade de 2,815 x 2,815 tem mostrado desempenho satisfatório para a região. Na parte do *downscaling* operacional, o ECHAM4.6 (Roeckner et al., 1996) tem forçado os modelos RSM97 e RSM2008 também para previsão sazonal, ambos modelos regionais apresentam ~54 km de resolução de grade horizontal.

O processo de regionalização com a utilização de *downscaling* dinâmico requer um grande poder de processamento computacional em função da inerente diminuição de escala e, no caso da previsão climática, a quantidade de número de membros do modelo global. Conforme, sugerido por Giorgi e Mearns (1999), o acoplamento de um modelo regional a um global busca sempre um adicionar valor na simulação ou previsão feita pelo global, muito embora a adição de novos graus de liberdade e de ruído devido aos esquemas de assimilação podem não apresentar os resultados esperados. Paralelamente a isso, constante melhorias dos modelos globais, juntamente com desenvolvimento de novas parametrizações, tem motivado novas versões com menores espaçamento de grade e com na representação dos processos físicos e dinâmicos. Com base nisto, uma questão surge relacionada à diminuição de escala para previsão sazonal e também relacionada à distribuição de precipitação na escala sub-sazonal: Será que é possível obter padrões espaciais e temporais com uma regionalização diretamente da interpolação linear do modelo global para a grade do modelo regional?

O objetivo deste trabalho é avaliar qual o desempenho do modelo global ECHAM4.6, interpolado linearmente para a grade dos modelos regionais, relativo aos modelos regionais RSM97 e RSM2008 forçados pelo ECHAM4.6. Em síntese, o trabalho visa investigar o valor adicional dos modelos regionais comparado com o próprio modelo global para a grade de mesma resolução dos regionais.

## 2. DADOS E METODOLOGIA

### 2.1 Análise do *hindcasts* 1989-2008

Dados de precipitação acumulada de Fevereiro a Abril (FMA) sobre o Nordeste do Brasil, provenientes *Climate Research Unit* (CRU) (Harris et al. 2014), foram utilizados para analisar o desempenho dos modelos em relação à variabilidade interanual da precipitação.



As médias dos 20 membros de precipitação acumulada para FMA correspondentes aos *hindcasts* do ECHAM4.6 para o período 1989-2008 também foram utilizadas. Estas simulações foram forçadas com anomalia TSM persistida de dezembro iniciando em janeiro até agosto para o período de 1989-2008. Estes dados foram interpolados para a grade do RSM97 e RSM2008 (~54 km x 54 km).

As previsões do *downscaling* dinâmico para o RSM97 e RSM2008 também compreendem o período 1989 a 2008 para o acumulado FMA, sempre iniciado as simulações em janeiro até agosto. As análises foram calculadas baseadas na calculo do coeficiente de correlação entre os modelos e a observações do CRU.

## 2.2 Análise da distribuição de precipitação

Dados de precipitação diária da rede de pluviômetros da FUNCEME foram utilizados neste estudo para Fevereiro a Maio (FMAM) durante o período de 1989-2012. O estado do Ceará possui uma densa rede de observação com mais de 550 postos de observação, contudo, devido a falhas no período avaliado, este estudo considerou 189.

Dois índices climáticos baseados na precipitação diária são utilizados para verificar sua relação com a produção de milho de sequeiro no Ceará: índice de seca (*drought index*) e escoamento (*streamflow index*). Estes índices utilizam ponderações baseadas no comprimento dos períodos sem chuva (veranicos) ou com chuva acima de um limiar, refletindo as condições de severidade da seca no Ceará para o período analisado (Sun et al. 2005; Sun et al. 2007; Pereira et al. 2015).

Estes índices (seca e escoamento) foram então calculados para os dados observados da rede de pluviômetros da FUNCEME para Fevereiro a Maio (FMAM) durante o período de 1989-2012, sendo da mesma forma calculados para as previsões do ECHAM4.6, interpolados para a grade do RSM97 sem nenhuma correção de viés. Para avaliar o ganho do valor adicionado pelo uso do *downscaling* dinâmico, também foram calculados os índices climáticos com as previsões do RSM97 forçado pelo ECHAM4.6.

O índice de seca foi definido como

$$D_{index} = \sum_{i=1}^n LiWi \quad (1)$$

em que  $L_i$  é o comprimento do  $i$ -ésimo veranico e  $W$  corresponde a

$$W = \begin{cases} 1, & | Li < 10 \\ 5, & | Li \geq 10 \end{cases} \quad (2)$$

$L_i$  é definido como três ou mais dias consecutivos com chuva abaixo de 2 mm. O peso  $W$  pondera a duração do comprimento do veranico ( $L_i$ ). Episódios com veranicos mais curtos que 10 dias foi definido peso 1, enquanto que eventos com duração acima de 10 deste limiar o  $W$  o peso utilizado foi 5, isto devido às maiores perdas associadas a mais longas condições de estiagem.



Períodos longos de precipitação intensa também têm impactos negativos na produção de milho, devido ao intenso escoamento ocasionado na camada superficial do solo.

O índice de escoamento foi definido pela equação:

$$F_{index} = \sum_{i=1}^n LiWi \quad (3)$$

em que  $L_i$  representa o comprimento  $i$ -ésimo do evento de escoamento e  $W$  segue a expressão abaixo em função de  $L_i$ :

$$W = \begin{cases} 1, & | Li < 10 \\ 5, & | Li \geq 10 \end{cases} \quad (4)$$

O comprimento do evento de escoamento foi definido como três ou mais dias consecutivos com chuva maior que 10 mm. Maior peso é dado para eventos úmidos que duram 10 ou mais dias, para manter a consistência com o índice de seca (Sun et al. 2007).

### 3. RESULTADOS

O modelo global ECHAM4.6 mostra correlação significativa sobre a região do norte do Nordeste brasileiro para o trimestre FMA (Figura 1a). A regionalização do campo de precipitação do ECHAM via interpolação linear, tanto para a grade do RSM97 como para o RSM2008, não mostra diminuição da capacidade do modelo de representar a variância das observações (Figuras 1b-c), sendo o padrão mantido, por outro lado o sinal se torna mais ruidoso. Os resultados da correlação da precipitação sazonal pela regionalização via *downscaling* dinâmico para o RSM97 e o RSM2008 são apresentados nas Figuras 1d-e. Os valores de correlação, tanto para o RSM97 quanto para o RSM2008, são menores quando comparados com os do ECHAM4.6 interpolado, conforme verificado no centro sul do Ceará, Piauí e na região leste do Nordeste. Estes resultados sugerem que para o período de maior precipitação norte do Nordeste (FMA), o modelo global ECHAM4.6 apresenta melhor destreza em caráter regional do que os modelos regionais a ele acoplados.

A Figura 2 mostra a série temporal dos índices de seca médios sobre o Ceará via observação e calculados pela saída do (a) RSM97 e do (b) ECHAM46 (interpolado para a grade do RSM97) para o FMAM no período de 1989-2012. O modelo regional captura a variabilidade interanual da intensidade do índice, principalmente nos eventos de 97-99, e no final da década dos anos 2000. O índice estimado da saída do ECHAM4.6 apresenta melhor captura das ocorrências de seca e sua intensidade em relação ao RSM97. A comparação dos coeficientes de correlação, em relação ao índice observado, reitera este fato, sendo a correlação com o ECHAM4.6 0,61 e com RSM97 0,41. Para o índice de escoamento, o modelo global ECHAM4.6 (interpolado para a grade do RSM97) é sensivelmente melhor na representação da variabilidade deste índice do que o modelo regional RSM97 (Figura 3). Os coeficientes de correlação são 0,63 e 0,53 para o ECHAM4.6 e RSM97, respectivamente.



A distribuição temporal da precipitação na escala sub-sazonal reflete atuação de fenômenos atmosféricos com mais alta frequência. Os índices climáticos baseados na chuva diária indicam o comportamento inerente a esta variabilidade além de caracterizar a estação em função do número de períodos secos ou úmidos para a região. Os modelos globais são conhecidos por ter dificuldade em representar a variabilidade abaixo de 3-4 meses devido à limitação da resolução dos fenômenos físicos que os quais têm capacidade de resolver. Entretanto, o ECHAM4.6 consegue capturar a variabilidade de mais alta frequência da precipitação dentro da quadra chuvosa no Ceará, mesmo utilizando a simples interpolação linear e sendo forçado com a persistência de anomalia TSM por vários meses. A utilização do *downscaling* dinâmico não adicionou valor à representação dos índices climáticos relacionados à precipitação para o Ceará. Provavelmente, os processos não lineares na redução de escala pelo *downscaling* do ECHAM4.6 para RSM97, sobretudo a própria dificuldade de representação dos processos físicos e dinâmicos pelo RSM97, devem ter levado à diminuição do valor do *downscaling* relativo ao modelo global.

#### **4. CONCLUSÕES**

Uma avaliação foi realizada para investigar o valor do *downscaling* na representação da precipitação sazonal e subsazonal sobre o Nordeste do Brasil, esta última ligada a índices que buscam refletir a distribuição de períodos secos e úmidos na estação FMAM sobre o Ceará.

A redução de escala via *downscaling* dinâmico utilizando RSM97 ou RSM2008, em geral, reduziu o valor de representação da precipitação pelo ECHAM4.6 (interpolado para grade dos regionais) sobre o Nordeste para o trimestre FMA, o qual representa mais de 65% da precipitação anual. A destreza do modelo global é melhor sobre o leste da região em estudo e também no centro sul do Ceará e Piauí. Esse resultado preliminar desqualifica, pelo menos inicialmente, a realização de *downscaling* dinâmico com o RSM 97 e 2008 para a previsão sazonal para o Nordeste, pois o alto custo de processamento destes modelos não agrega valor ao resultado obtido pelo modelo global ECHAM4.6, mesmo assim outras análises devem ser realizadas.

No tocante a escala sub-sazonal, o modelo global regionalizado via interpolação linear também mostra melhor captura da variabilidade da precipitação relacionada aos índices climáticos de seca e escoamento sobre o estado do Ceará. A distribuição da precipitação no período de FMAM, o qual representa mais de 75 % da precipitação anual do estado, é amplamente ocasionada por incursões da zona de convergência inter-tropical sobre o continente. Este fenômeno meteorológico de grande escala da região tropical parece ser mais bem representado pelo modelo global. O modelo regional RSM97 mostra redução de valor agregado na captura dos veranicos e dos eventos úmidos no Ceará. Processos não lineares, relacionados à redução de escala pelos modelos regionais, podem ser também geradores de ruído e dificultam a resolução dos processos físicos.

O ECHAM4.6 interpolado para uma grade de aproximadamente 54 km se caracteriza como uma ferramenta satisfatória para a previsão sazonal de FMA para o norte do nordeste, além de possuir capacidade de apresentar com destreza a informação da variabilidade da precipitação sub-sazonal para a quadra chuvosa do Ceará, aqui caracterizada pelos índices climáticos de seca e escoamento.



## 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

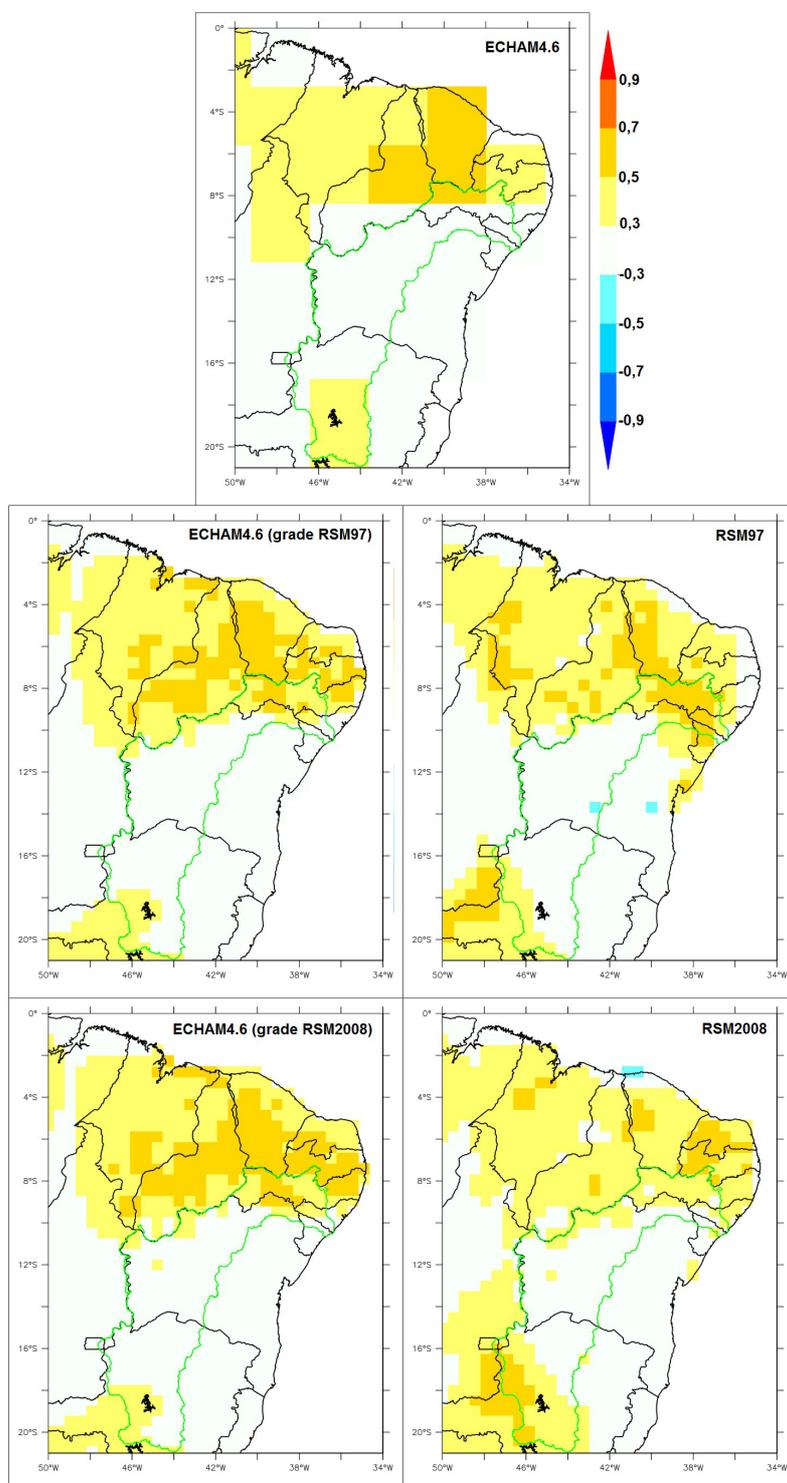


Figura 1. Coeficiente de correlação para o período de *hindcasts* 89-08 para o trimestre de FMA referente ao a) ECHAM46, b) ECHAM46 (grade RSM97), c) ECHAM4.6 (grade RSM2008), d) RSM97 e e) RSM2008.



## 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

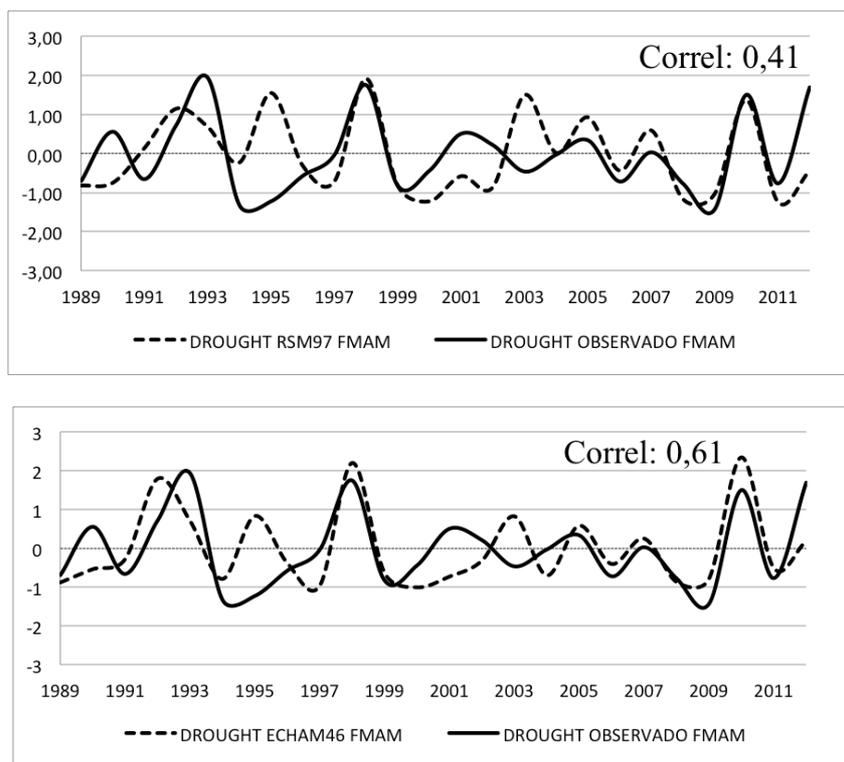


Figura 2. Séries temporais normalizadas da média espacial do índice de seca (*drought*) sobre o Ceará para FMAM no período de 1989-2012 baseado na precipitação do RSM97 (a) e no ECHAM4.6 (b) comparado com índice computado utilizando as observações da rede da FUNCEME.

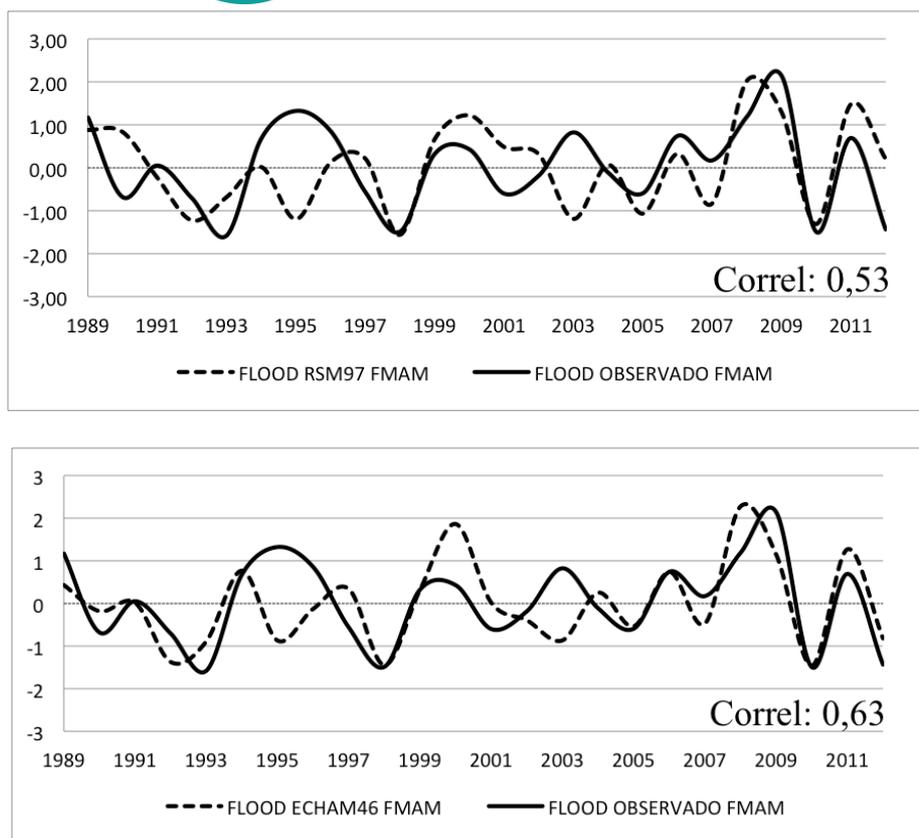


Figura 3. Séries temporais normalizadas da média espacial do índice de escoamento (*flood*) sobre o Ceará para FMAM no período de 1989-2012 baseado na precipitação do RSM97 (a) e no ECHAM4.6 (b) comparado com índice computado utilizando as observações da rede da FUNCEME.

## 5. AGRADECIMENTOS

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

## 6. REFERÊNCIAS

Alves, J. M. B. et al., Uma Avaliação Preliminar De Simulações Climáticas de um Modelo Regional Espectral Aninhado Em Um Modelo Global (Echam4.5) Sobre O Setor Norte Da Região Nordeste Do Brasil (1971-2000). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.18, n.2, 161-180, 2003.

Giorgi, F., L. O. Mearns., Introduction to special section: Regional Climate Modeling Revisited, *J. Geophys. Res.*, 104, 6335–6352. 1999.

Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J. and Lister, D.H., Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatol.*, 34: 623–642. 2014.

Roeckner, E., K. et al. The Atmospheric General Circulation Model Echam4: Model Description and Simulation of Present-Day Climate. Max-Planck-Institut fur Meteorologie Max-Planck-Institut fur Meteorologie Rep. 218, Hamburg, Germany. 1996.

Sun, L., Li, H., Ward, M.N. & Moncunill, D.F. 2007. Climate Variability and Corn Yields in Semiarid Ceará, Brazil. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 46, 226–240.