

Avaliação da sazonalidade da precipitação no Nordeste brasileiro simulada pelos modelos do IPCC-AR4

Cleiton da Silva Silveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)
cleitonsilveira16@yahoo.com.br

Francisco de Assis de Souza Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Alexandre Araújo Costa
Universidade Estadual do Ceará (UECE)/Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas (MCFA)

Mariane Mendes Coutinho
Instituto Nacional de pesquisas Espaciais (INPE)/Centro Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Yvone Magdalena Campos Lázaro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Domingo Cassain Sales
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

ABSTRACT

The global models of the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report (IPCC-AR4) are evaluated for the representation of the precipitation seasonality in the Northern Northeast of Brazil for the period 1901 to 1999. This evaluation is performed using data from the Climatic Research Unit (CRU) and the 20th Century Reanalysis V2 of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). A performance index based on measures of correlation and mean squared error is proposed for evaluation and ranking of the models. Most models provide correlations exceeding 0.85 and mean squared error less than 4% compared to the percentage of monthly rainfall of the climatology averaged over the region. According to the evaluation using the proposed performance index, models BCCR-BCM2.0 (Norwegian) *GFDL_CM2_1*, *UKMO_HADCM3*, *GISS_MODEL_E_R* and *CCCMA_CGCM3_1_t63* provide the best representations for the precipitation seasonality in the region.

Keywords: IPCC-AR4, 20C3M and Northern Northeast of Brazil

1. INTRODUÇÃO

Significativo desenvolvimento tem ocorrido nas últimas décadas acerca do conhecimento do clima em suas diversas escalas de ocorrência, com ênfase nas mudanças climáticas antropogênicas. Diversos autores identificam aumento da temperatura planetária (incluindo o Brasil) nas últimas décadas, combinado com modificações nos campos de precipitação, associando essas ocorrências às Mudanças Climáticas (Marengo e Valverde, 2007; Marengo e Soares, 2005). Estas têm sido alvo de discussões e pesquisas científicas em todo mundo com vistas ao entendimento de sua ocorrência (IPCC, 2007(a); Nobre, 2005; Duursma, 2002), assim como a identificação e a avaliação dos possíveis impactos ambientais, sociais e econômicos (IPCC, 2007(b)) e a elaboração de medidas que minimizem as consequências adversas das mesmas.

As mudanças climáticas estão associadas a um modelo de desenvolvimento baseado no uso intensivo de combustíveis fósseis. O aumento exponencial na demanda por energia e recursos naturais trouxe consigo grandes quantidades de emissões de gases de efeito estufa (dióxido de carbono, metano, óxido de nitrogênio) na atmosfera.

Desde 1988, quando foi criado IPCC, cientistas vinculados aos principais centros de pesquisa em clima reúnem-se para publicar relatórios sobre os possíveis cenários de emissão de gases de efeito estufa na atmosfera e os impactos nas diversas variáveis climáticas. Até o momento, foram publicados quatro relatórios: em 1990 em Sundsvall (Suécia), 1995 em Roma (Itália), 2001 em Acra (Gana) e 2007 em Paris (França).

O quarto relatório fornecido pelo IPCC, divulgado em fevereiro de 2007, confirma a projeção de aumento da temperatura média da atmosfera. Embora exista uma discrepância em torno dos valores absolutos dos modelos do IPCC para esse aumento na temperatura, todos concordam que haverá aumento na temperatura média global (IPCC, 2007(a)).

O Nordeste do Brasil (NEB) apresenta clima semiárido com intensa variabilidade temporal e espacial de chuvas (Molion e Bernardo, 2002; Albuquerque et. al, 2009) associada historicamente a significativos impactos sociais e econômicos sobre a região descritos em, por exemplo, Souza Filho e Moura (2006). Desta forma, torna-se relevante para o desenvolvimento de políticas públicas a identificação das alterações na ocorrência do clima nesta região.

Os diferentes modelos do IPCC-AR4 têm cenários divergentes para o campo de precipitação para a região do NEB, alguns projetando aumento de precipitação e outros, redução.

O objetivo do presente estudo é avaliar a habilidade dos modelos do IPCC-AR4 em simular o regime sazonal de chuvas sobre o NEB durante o século XX, buscando indicações sobre a confiabilidade das projeções desses modelos para o século XXI.

2.METODOLOGIA

2.1. Região de Estudo

Utilizou-se uma região de 0° a 10°S de latitude e 33°W a 44°W de longitude sobre o NEB, assim como uma porção do Oceano Atlântico, conforme mostra a Figura 1.

Essa região possui um ciclo anual bem definido, onde predominam duas estações distintas: o período chuvoso e o período seco (Albuquerque et.al, 2009). A estação chuvosa distribui-se entre dezembro e julho e subdivide-se em: a) pré-estação chuvosa (dezembro e janeiro), durante a qual os principais sistemas causadores de chuva são a proximidade das frentes frias e os vórtices ciclônicos de ar superior; b) “quadra chuvosa” ou estação chuvosa propriamente dita (de fevereiro a maio), que tem a zona de convergência intertropical-ZCIT como principal sistema causador de chuva, impactando o setor norte do NEB, seguido de sistemas secundários tais como linhas de instabilidade, complexos convectivos de mesoescala e efeitos de brisa (Uvo e Nobre, 1987) e c) pós-estação chuvosa (junho e julho), em que os sistemas causadores de chuva mais importantes são as ondas de leste, que atuam principalmente sobre o leste do NEB, e os complexos convectivos de mesoescala. No segundo semestre, há um predomínio de altas pressões atmosféricas e uma quase total ausência de fenômenos atmosféricos causadores de chuva, caracterizando a estação seca. O NEB apresenta grande variabilidade de chuvas com regiões com precipitação de 500 mm/ano e outras com mais de 1400 mm/ano (Souza Filho, 2003).

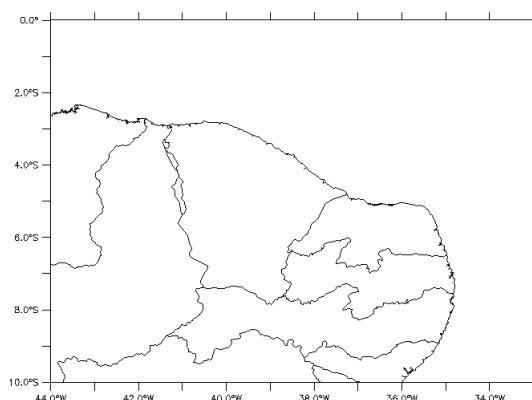


Figura 1 - Região de estudo, Nordeste Setentrional brasileiro e parte do Oceano Atlântico.

2.2. Dados observacionais

A base de dados observacionais utilizada para verificar a destreza dos modelos do IPCC sobre o continente é proveniente da University of East Anglia/Climate Research Unit (CRU) (New et. al, 1999 e New et. al, 2001) (<http://badc.nerc.ac.uk/data/cru/>), enquanto sobre o oceano são usadas as reanálises 20th Century Reanalysis V2 (Compo, 2004; Whitaker, 2006), fornecidas pelo National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) a partir do site <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>.

O conjunto de dados utilizado corresponde à climatologia de precipitação de 1901 a 1999, com resolução de 0,5 grau para o continente (CRU TS 3.0) e 2,0 graus para o oceano (20th Century Reanalysis V2).

2.2. Modelos do IPCC

Os dados provenientes do IPCC são resultados de simulações de modelos globais de alguns centros de pesquisa que contribuíram para esse relatório (conforme Tabela 1), forçadas pelas concentrações observadas de gases de efeito estufa durante o século XX (simulações 20C3M).

Tabela1- Modelos Globais do IPCC

| Designação do Modelo | Instituição ou Agência; País |
|----------------------|--|
| BCC-CM1 | <i>Beijing Climate Center; China</i> |
| BCCR-BCM2 | <i>Bjerknes Centre for Climate Research, Universidade de Bergen; Noruega</i> |
| CCCMA-CGCM3 1-T47 | <i>Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis; Canadá</i> |
| CCCMA-CGCM3 1-T63 | <i>Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis; Canadá</i> |
| CNRM-CM3 | <i>Centre National de Recherches Meteorologiques, Meteo France; França</i> |
| CONS-ECHO-G | <i>Meteorological Institute of the University of Bonn (Alemanha), Institute of KMA (Correia do Sul), and Model, and Data Group</i> |
| CSIRO-MK3 | <i>CSIRO; Austrália</i> |
| CSIRO-MK3.5 | <i>CSIRO; Austrália</i> |
| GFDL-CM2.0 | <i>Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA; Estados Unidos</i> |
| GFDL-CM2.1 | <i>Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, NOAA; Estados Unidos</i> |
| INM-CM3.0 | <i>Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Science; Rússia</i> |
| INGV-SXG2005 | <i>National Institute of Geophysics and Volcanology; Itália</i> |
| IPSL-CM4 | <i>Institut Pierre Simon Laplace (IPSL); França</i> |
| LASG-FGOALS-G1.0 | <i>LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, P.O. Box 9804, Beijing 100029; China</i> |
| MPIM-ECHAM5 | <i>Max Planck Institute for Meteorology; Alemanha</i> |
| MRI-CGCM2.3.2 | <i>Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency; Japão</i> |
| NASA-GISS-AOM | <i>Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos</i> |
| NASA-GISS-EH | <i>Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos</i> |
| NASA-GISS-ER | <i>Nasa Goddard Institute for Space Studies (NASA/GISS); Estados Unidos</i> |
| NCAR-CCSM3 | <i>National Center for Atmospheric Research (NCAR); Estados Unidos</i> |
| NCAR-PCM | <i>National Center for Atmospheric Research (NCAR), NSF, DOE, NASA, e NOAA; Estados Unidos</i> |
| NIES-MIROC3.2-HI | <i>CCSR/ NIES/ FRCGC; Japão</i> |
| NIES-MIROC3.2-MED | <i>CCSR/ NIES/ FRCGC; Japão</i> |
| UKMO-HADCM3 | <i>Hadley Centre for Climatic Prediction and Research, Met Office; Reino Unido</i> |
| UKMO-HADGEM1 | <i>Hadley Centre for Climatic Prediction and Research, Met Office; Reino Unido</i> |

2.3. Critérios de Avaliação

Utilizou-se como critério de avaliação a representação da sazonalidade da precipitação, que é de grande relevância para a avaliação dos impactos do clima em recursos hídricos e agricultura. O início do plantio das culturas e o regime fluvial são condicionados pela distribuição temporal das chuvas. Uma má representação desta sazonalidade compromete a avaliação dos impactos das mudanças climáticas sobre estas duas importantes áreas. Adicionalmente pode-se avaliar que os totais de precipitação mensais e sua sazonalidade são considerados como indicativo da habilidade do modelo em representar os sistemas geradores de chuvas e sua ocorrência.

Para avaliação dos modelos é calculada a climatologia mensal média sobre a região de estudo para todos os modelos do IPCC e as observações (CRU sobre o continente e NOAA sobre o oceano). Em seguida, é feita uma comparação com base em alguns índices estatísticos para que possam ser definidos que modelos possuem melhor desempenho para a região de estudo.

As medidas estatísticas utilizadas, cujas definições estão indicadas a seguir, são: raiz do erro quadrático médio (RMSE), raiz do erro quadrático médio da contribuição percentual mensal em relação às chuvas anuais (RMSE_PC) e correlação (CORREL) (Wilks, 1995).

A raiz do erro quadrático médio (RMSE, Root Mean Square Error) é a raiz quadrada da média das diferenças individuais quadráticas entre a previsão e as observações e é definida pela equação

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (P - A)^2} . \quad (1)$$

esta medida retém as unidades físicas da variável prevista e mede o erro típico da previsão do modelo. Valores grandes do *RMSE* representam grandes erros nos campos previstos, e valores próximos de zero indicam uma previsão quase perfeita. Elevando ao quadrado o termo da diferença, o *RMSE* tende a dar maior peso às grandes discrepâncias entre os campos observados e previstos.

A raiz do erro quadrático médio percentual (*RMSE_PC*) é a raiz quadrada da média das diferenças individuais quadráticas entre a contribuição percentual mensal das chuvas modeladas nos totais anuais e a contribuição percentual mensal das chuvas observadas nos totais anuais e é definida pela equação:

$$RMSE_{PC} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{100P_i}{\sum_{j=1}^n P_j} - \frac{100A_i}{\sum_{j=1}^n A_j} \right)^2} , \quad (2)$$

onde *n* são os meses, *P* é previsão de cada mês e *A* a Análise considerada como observação. Valores grandes do *RMSE_PC* representam grandes erros nos campos previstos, e valores próximos de zero indicam uma previsão quase perfeita. Elevando ao quadrado o termo da diferença, o *RMSE_PC* tende a dar maior peso às grandes discrepâncias entre os campos observados e previstos.

A correlação (equação 3) pode assumir valores entre -1 e 1 que indicam, respectivamente, perfeita anticorrelação e perfeita correlação, havendo ainda a total ausência de correlação verificada com um resultado igual a zero. Este índice tem a capacidade de detectar correspondência de fase entre as séries, sendo, por construção, insensível a erros de viés.

$$CORREL = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (A_i - \bar{A})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^{i=n} (A_i - \bar{A})^2}} . \quad (3)$$

Ao final do cálculo desses dois índices é feita uma avaliação ponderada para que os modelos possam ser classificados, dada por:

$$AVAL = \alpha_c \left(\frac{CORREL - CORREL_{MIN}}{CORREL_{MAX} - CORREL_{MIN}} \right) + \alpha_r \left(\frac{RMSE_{PC} - RMSE_{PC_{MAX}}}{RMSE_{PC_{MAX}} - RMSE_{PC_{MIN}}} \right) + \alpha_e \left(\frac{RMSE_{PC} - RMSE_{MAX}}{RMSE_{MAX} - RMSE_{MIN}} \right) \quad (4),$$

tal que

$$\alpha_c + \alpha_r + \alpha_e = 1. \quad (5)$$

Sendo, $CORREL_{MIN}$ a menor correlação obtida entre os modelos do IPCC e $CORREL_{MAX}$ a máxima correlação. Assim como, $RMSE_{PC_{MAX}}$ é o máximo erro quadrático médio percentual dos modelos do IPCC e $RMSE_{PC_{MIN}}$ o mínimo.

As variáveis $\alpha_c, \alpha_e,$ e α_r assumem valores entre 0 e 1 (conforme equação 4). Para $\alpha_c > \alpha_r + \alpha_e$, a correlação exerce maior influência na avaliação do modelo, enquanto que para $\alpha_r + \alpha_e > \alpha_c$ o *RMSE_PC* dos modelos possui maior peso na avaliação. Já para $\alpha_r = \alpha_c = \alpha_e = 1/3$, as três métricas utilizadas neste trabalho exercem o mesmo efeito sobre o valor de *AVAL*.

A variável *AVAL* assume valores entre 0 e 1 que indicam, respectivamente, o pior entre os modelos avaliados e o melhor deles, segundo este critério.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 2 mostra as climatologias dos modelos do IPCC e a média destas em comparação ao observado sobre a região indicada pela Figura 1. A maioria dos modelos representa razoavelmente a climatologia observada, porém, principalmente no período da estação chuvosa, os modelos divergem quanto à quantidade de chuva nessa região (Figura 2a).

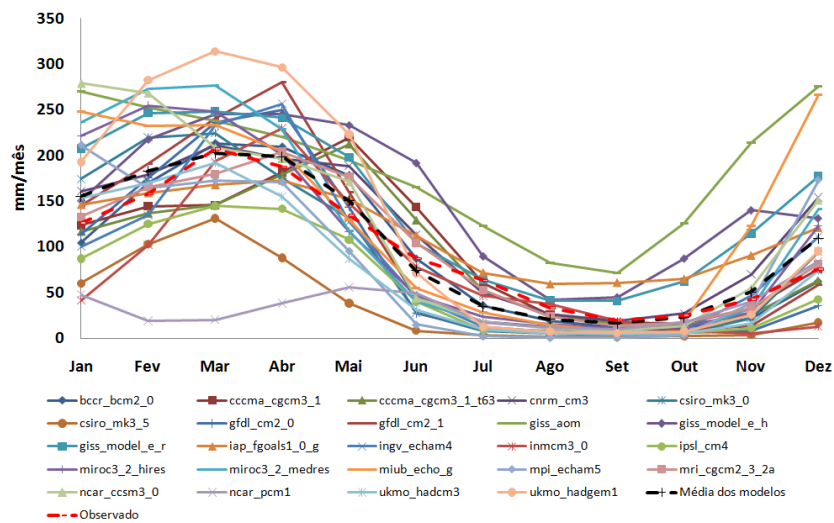
A média dos modelos superestima a quantidade de precipitação na pré-estação e a subestima na pós-estação, o que se reflete também em termos percentuais (Figura 2b).

O modelo NCAR_PCM1 possui dificuldade em representar o ciclo anual de chuvas no NEB, claramente subestimando a precipitação em todo o primeiro semestre e produzindo valores máximos de precipitação mensal em dezembro-janeiro e maio-junho, em defasagem com as observações. Por sua vez, o modelo UKMO_HADGEM1 superestima em cerca de 50% a precipitação nos meses da estação chuvosa. Já o modelo CSIRO_MK_3_5 aponta chuvas bem inferiores ao observado, subestimando o total anual em mais de 50% com uma maior concentração das chuvas nos meses de fevereiro e março.

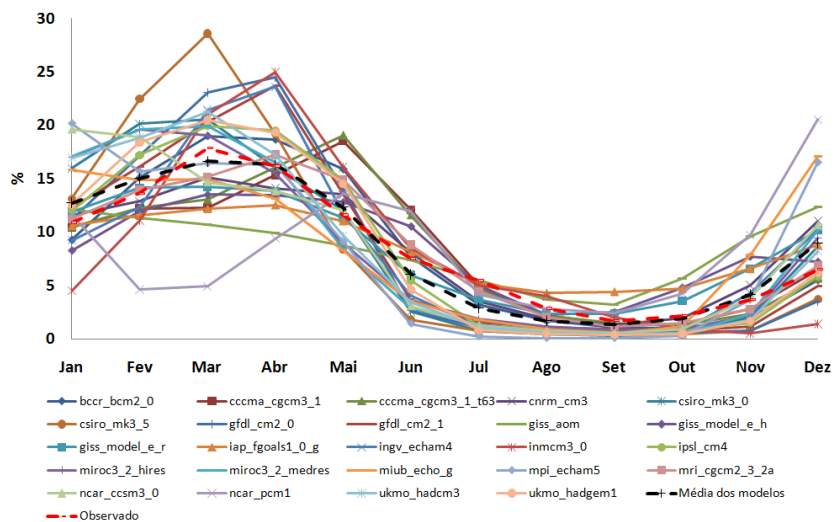
Os modelos GISS_AOM e GISS_MODEL_E_H superestimam a precipitação climatológica em todos os meses, resultando em totais anuais respectivamente 93% e 57% acima do observado. Além disso, o GISS_AOM apresenta erros de fase na distribuição anual da precipitação, subestimando a contribuição percentual das chuvas no primeiro semestre para o total anual e superestimando-a no segundo.

O modelo MIUB_ECHO_G, fornecido através de uma parceria de um centro alemão e um centro sul-coreano, apresenta dificuldade de representar a climatologia anual, mais do que duplicando o total de chuvas na pré-estação.

O modelo francês IPSL-CM4 subestima a climatologia da precipitação durante todo o ano (total anual 37% abaixo das observações), mas superestimando a contribuição percentual das chuvas entre janeiro e maio.



(a)



(b)

Figura 2 – Climatologia dos Modelos do IPCC-AR4 para século XX (1901-1999) para o Nordeste Setentrional do Brasil: (a) Quantidade de precipitação por mês; (b) Percentual de chuva por mês.

Na tabela 2 são mostrados os índices estatísticos RMSE, RMSE_PC, CORREL e AVAL de todos os modelos do IPCC em ordem de classificação, para $\alpha_c = \alpha_r = \alpha_e = 1/3$. A maioria dos modelos indicou correlações superiores a 0,85 e RMSE_PC inferior a 3%. O modelo BCCR_BCM2_0 apresentou correlações superiores a 0,95 e RMSE_PC inferior a 2%, o que o classifica como o melhor modelo segundo a avaliação proposta neste trabalho, seguido pelos modelos GFDL_CM2_1, UKMO_HADCM3, GISS_MODEL_E_R e CCCMA_CGCM3_1_t63.

O modelo NCAR_PCM1 apresentou correlação inferior a 0,2, bem abaixo dos demais modelos, e o maior RMSE_PC. Isto levou esse modelo a apresentar o menor AVAL, indicando que o mesmo não representa adequadamente a sazonalidade da precipitação no Nordeste Setentrional brasileiro.

As rodadas dos modelos GISS_AOM, MIUB_ECHO_G, MPI_ECHAM5 e NCAR_PCM1 apresentaram correlações inferiores aos demais, associados a um RMSE_PC superior a 3,5%, por isso obtiveram um AVAL bastante baixo.

O modelo australiano CSIRO_MK3_5 apesar de apresentar correlação superior a 0,90, apresentou RMSE_PC superior a 4,9% e RMSE superior a 73 mm, penalizando-o na avaliação de modo a classificá-lo na vigésima primeira colocação.

Tabela 2 – Modelos do IPCC-AR4, CORREL, RMSE_PC, RMSE, AVAL e classificação dos modelos para $\alpha_c = \alpha_r = \alpha_e = 1/3$.

| CLAS | MODELOS | CORREL | RMSE_PC | RMSE | AVAL |
|------|-------------------|--------|---------|----------|--------|
| 1 | bccr_bcm2_0 | 0,9786 | 1,8835 | 20,1954 | 0,9146 |
| 2 | gfdl_cm2_1 | 0,9696 | 3,1524 | 15,3202 | 0,8489 |
| 3 | ukmo_hadcm3 | 0,9426 | 3,2977 | 9,6074 | 0,8460 |
| 4 | giss_model_e_r | 0,9275 | 2,0420 | 34,0030 | 0,8443 |
| 5 | cccma_cgcm3_1_t63 | 0,8707 | 2,9158 | 9,1126 | 0,8415 |
| 6 | cnrm_cm3 | 0,9342 | 1,9105 | 40,4988 | 0,8360 |
| 7 | mri_cgcm2_3_2a | 0,9705 | 1,4141 | 56,3029 | 0,8344 |
| 8 | ipsl_cm4 | 0,9808 | 2,4856 | 40,0920 | 0,8213 |
| 9 | miroc3_2_medres | 0,9114 | 3,5468 | 14,7849 | 0,8034 |
| 10 | iap_fgoals1_0_g | 0,9548 | 2,5793 | 48,7471 | 0,7800 |
| 11 | ncar_ccsm3_0 | 0,8267 | 3,9723 | 4,7450 | 0,7730 |
| 12 | cccma_cgcm3_1 | 0,8561 | 2,9601 | 31,9300 | 0,7665 |
| 13 | csiro_mk3_0 | 0,9354 | 3,4163 | 42,4667 | 0,7402 |
| 14 | giss_model_e_h | 0,9054 | 2,4349 | 63,8723 | 0,7248 |
| 15 | ingv_echam4 | 0,9369 | 3,2343 | 53,4290 | 0,7198 |
| 16 | inmcm3_0 | 0,8865 | 4,0316 | 42,8772 | 0,6824 |
| 17 | miroc3_2_hires | 0,9125 | 3,2424 | 68,4047 | 0,6659 |
| 18 | gfdl_cm2_0 | 0,9676 | 3,9070 | 72,7882 | 0,6353 |
| 19 | miub_echo_g | 0,7422 | 4,2712 | 52,3810 | 0,5823 |
| 20 | mpi_echam5 | 0,7940 | 4,8049 | 50,2216 | 0,5773 |
| 21 | csiro_mk3_5 | 0,9377 | 4,9984 | 73,0866 | 0,5568 |
| 22 | ukmo_hadgem1 | 0,8023 | 3,7212 | 99,9241 | 0,5010 |
| 23 | giss_aom | 0,6768 | 3,9763 | 115,2764 | 0,3904 |
| 24 | ncar_pcm1 | 0,1519 | 6,9601 | 0,8715 | 0,3333 |

Na figura 3 é mostrada a classificação dos modelos do IPCC-AR4 em função de α_c , considerando α_e igual 0. Para valores entre 0 e 0,8 o modelo com maior valor de AVAL é o MRI_CGCM2_3_2A, enquanto que o modelo BCCR_BCM2_0 mantém-se sempre entre os dois melhores para todos os valores dos pesos. Para $\alpha_c = 1$, o modelo IPSL_CM4 emerge como o modelo com maior valor de AVAL, indicando que este possui correlação superior aos demais.

O modelo NCAR_PCM1 é o pior dentre os modelos para todos dos valores de α_c . Os modelos MPI_ECHAM5, MIUB_ECHO_G, GISS_AOM, NCAR_CC3M3_0 e INMCM3_0 ocupam sistematicamente colocações inferiores a décimo sexto para todos os valores de α_c .

Os modelos CNRM_CM3, CCCMA_CGCM3_1, GISS_MODEL_E_H, CCCMA_CGCM3_1_T63 caem de colocação à medida que se aumenta o valor de α_c , o que mostra que a correlação desses modelos é ligeiramente inferior aos demais, enquanto que os modelos CSIRO_MK3_0, CSIRO_MK3_5, UKMO_HADGEM1 e GFDL_CM2_1 melhoram de colocação à medida que o valor de α_c aumenta, o que significa que o RMSE_PC desses modelos é ligeiramente inferior.

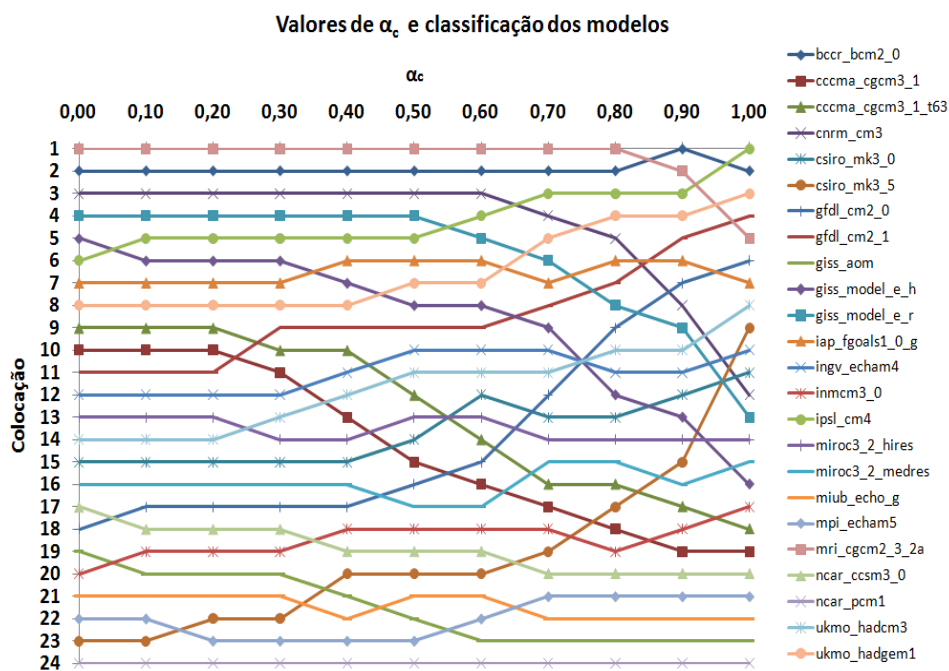


Figura 3 – Classificação dos modelos em função dos valores de α_c . Para $\alpha_c = 0$ ($\alpha_c = 1$), apenas a correlação é usada na avaliação dos modelos. Para esta classificação considerou-se $\alpha_e = 0$.

4. CONCLUSÕES

Os modelos globais do IPCC apresentam correlações elevadas em relação à climatologia observada no período de 1901 a 1999 para região Nordeste Setentrional do Brasil, mostrando que os modelos são capazes de capturar os padrões de variações sazonais.

Quanto ao erro quadrático médio percentual, a maioria dos modelos aponta valores elevados espacialmente, o que indica que os modelos possuem dificuldade de quantificar os padrões de chuva sobre o Nordeste Setentrional brasileiro.

A maioria dos modelos possui dificuldade em representar a pré-estação, superestimando o valor observado e a pós-estação, subestimando-o. Isto fica evidente na média dos modelos que, de novembro a fevereiro, apresenta valores acima do observado e que, de junho a agosto, apresenta valores abaixo do observado. Essa dificuldade pode estar associada ao espaçamento de grade dos modelos do IPCC, que possuem uma resolução grosseira e não são capazes de reproduzir os padrões de variação dos fenômenos de mesoescala e os efeitos da circulação atmosférica local nesses períodos.

Quanto à climatologia dos modelos IPCC algumas observações são destacadas:

- A avaliação feita com os dados médios sobre a área delimitada na Figura 1 apontou o modelo BCCR_BCM2_0 como aquele com mais altos valores de AVAL, seguido pelos modelos GFDL_CM2_1, UKMO_HADCM3 GISS_MODEL_E_R e CCCMA_CGCM3_1_t63;
- O modelo NCAR-PCM1 não representa adequadamente a climatologia média da precipitação sobre o Nordeste Setentrional brasileiro;
- Os modelos MPI-ECHAM5, MIUB-ECHO-G e GISS-AOM apresentaram correlações ligeiramente inferiores aos demais, dessa forma mostram-se inferiores aos outros modelos IPCC na representação da climatologia média sobre a região;
- Os modelos CSIRO-MK3.5 e MIROC3.2-HIRES apesar de apresentarem correlações superiores a 0,90, apresentaram RMSE superior a 70 mm, mostrando dificuldade em quantificar as chuvas mensais sobre a região estudada.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.F.; FERREIRA, J.N.; SILVA, M. G. ; DIAS, M. F. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo. Oficina de Textos p. 280, 2009.

ALEXANDER, L.V., ZNAHG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; TANK, A. M. G.; HAYLOCK, M.; COLLINS D.; TREVIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOU, A.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D.; BURN, J.; AGUILAR, E.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTUCCI, M.;

VASQUEZ-AGUIRRE, J.L. **Global Observed Changes in daily climate extremes of temperature and precipitation.** Journal of Geophysical Research. Washington v.111 D05109, 2006.

COMPO, G.P.; J.S. WHITAKER; P.D. SARDESHMUKH: **Feasibility of a 100 year reanalysis using only surface pressure data.** Bull. Amer. Met. Soc., 87, 175-190, 2006

DUURSMA, E. **River flow and temperature profile trends; consequences for water resources.** A.de Man, P.E. van Oeveren, S. Montjin, Heineken, N. V. Company. Amsterdam 2002.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: **Climate Change 2007: The physical science basis.** Cambridge, 18 p. 2007a.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.** Cambridge University Press: Cambridge, 23 p, 2007b.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. **Impacto das mudanças climáticas no Brasil e Possíveis Cenários Climáticos: Síntese do Terceiro Relatório do IPCC de 2001.** CPTEC-INPE, p. 29 2005.

MARENGO J.A., VALVERDE, MARIA C. **Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4.** Revista Multiciência Campinas Ed. No. 8 Maio 2007.

MOLION, L. C. B; BERNARDO, S. O. **Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro.** Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro (RJ), v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

NEW, M., HULME, M., JONES, P.D.,: **Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology.** Journal of Climate 12, 829-856, 1999.

NEW, M., LISTER, D., HULME, M., MAKIN, I.,: **A high-resolution data set of surface climate over global land areas.** Climate Research 21, 1-25, 2001.

NOBRE C. A. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança no clima.** In: Brasil, Presidência da Republica. Núcleo de Assuntos Estratégicos. **Mudança do clima: Negociações Internacionais sobre a Mudança do Clima.** Brasília. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da Republica. Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica. V. 1 parte 2, p. 147-216, 2005.

OLIVEIRA, L. J. C. **Mudanças climáticas e seus impactos nas produtividades das culturas do feijão e do milho no Estado de Minas Gerais.** 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

SOUZA, E. B., J. M. B. ALVES, C A REPELLI, 1996: **A variabilidade espacial da precipitação sobre o estado do Ceará.** Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET, Campos do Jordão (SP), 6 a 13 novembro 1996, vol. 1, 196-200.

SOUZA FILHO, F. A. **“Variabilidade e Mudança Climática nos Semi-Áridos Brasileiros”.**p77-111. 2003. Em “Clima e Recursos Hídricos no Brasil”.Org. C.E.M. Tucci e B. Braga. Ed. ABRH. 2003.

SOUZA FILHO, F.A.;MOURA,A.D.**Memórias do Seminário Natureza e Sociedade nos Semi-Áridos.** Fortaleza:Banco do Nordeste do Brasil; Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 332p.,2006

UVO, C. R. B. e C. A. NOBRE, 1987: **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região norte do Nordeste brasileiro.** II Cong. Interamer. Meteor., 30.nov.-04.dez., Buenos Aires, Argentina, 6.9.1-6.

WHITAKER, J.S., G.P.COMPO, X. WEI, AND T.M. HAMILL: **Reanalysis without radiosondes using ensemble data assimilation.** Mon. Wea. Rev., 132, 1190-1200, 2004.