



## XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### **Avaliação da estimativa de precipitações para diferentes modelos globais de clima (GCM) na região Nordeste do Brasil**

*Marcus Aurélio Soares Cruz<sup>1</sup>; Ricardo de Aragão<sup>2</sup>, André Quintão de Almeida<sup>3</sup>, Maria Izabella Matos Santos<sup>4</sup>*

**RESUMO** – Os efeitos das mudanças no clima sobre os recursos hídricos de uma região podem ser estimados a partir dos resultados de modelos globais de clima (GCM). Na região Nordeste do Brasil, as características das precipitações relacionadas à sua alta variabilidade espaço-temporal dificultam uma representação deste comportamento com menor grau de incerteza. Este estudo buscou contribuir para a identificação de GCMs com melhor desempenho nesta região por meio da proposição de indicadores estatísticos e de precisão espacial para compor um índice de qualidade da previsão de precipitações. Os resultados mostraram que os indicadores propostos permitiram uma hierarquização de modelos e que o índice apontou o modelo EC-EARTH como de melhor desempenho para a região, seguido pelos modelos do Hadley Centre-UK e pela série MIROC.

**ABSTRACT**– The effects of climate change on water resources in a region can be estimated from the results of global climate models (GCM). In northeastern Brazil, the characteristics of rainfall related to its high spatial and temporal variability hinder a representation of this behavior with low uncertainty. This study aims to identify GCMs with better performance in this area by proposing statistical and spatial precision indicators to make a quality index of rainfall forecasting. The results showed that the proposed indicators allowed a hierarchy of models and the index showed the EC-EARTH model as the best performance for the region, followed by the models of the Hadley Centre-UK and the MIROC series.

**Palavras-Chave** – mudanças climáticas, estatística, avaliação de desempenho

1) Embrapa Tabuleiros Costeiros, Avenida Beira Mar 3250, Aracaju-SE, (79) 4009-1352, marcus.cruz@embrapa.br

2) Universidade Federal de Campina Grande, Bairro Universitário, Campina Grande- PB, ricardoaragao2005@gmail.com

3) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, S/n - Jardim Rosa Elze, São Cristóvão – SE, (79) 2105-6600, andreqa@gmail.com

4) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marechal Rondon, S/n - Jardim Rosa Elze, São Cristóvão – SE, (79) 2105-6600, bellamatos.mk@gmail.com

## INTRODUÇÃO

Os efeitos das mudanças no clima em uma região sobre os recursos hídricos podem ser estimados a partir dos resultados de modelos globais de clima (GCM). O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change - IPCC) vem publicando periodicamente relatórios apontando diversos resultados de modelos para a previsão de cenários atuais e futuros de clima com base em séries históricas provenientes de informações medidas em campo distribuídas espacialmente em todo o planeta (IPCC, 2013). Em sua publicação mais recente, o Quinto Relatório do IPCC (AR5), foram considerados os modelos da quinta fase do Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). Neste AR5, os cenários foram denominados RCP (Representative Concentration Pathways), com valores relativos aos níveis de forçantes radiativas ao final do século XXI, sendo utilizados como entrada para a modelagem climática. Para o IPCC-AR5 os cenários definidos foram: RCP8.5, RCP6, RCP4.5 e RCP2.6. Esses modelos globais de circulação climática representam de forma satisfatória o comportamento médio de variáveis climáticas em escala global, no entanto, estudos têm demonstrado deficiências na representação dos processos ao considerar regiões menores (Cai et al. 2009).

A utilização das informações relativas às alterações nas variáveis climáticas em modelagem hidrológica, por exemplo, pressupõe uma representação adequada da interrelação entre as variáveis, como precipitação e temperatura, bem como de seu comportamento sazonal em uma dada bacia hidrográfica (Piani et al., 2010). Neste sentido, a dimensão da área de estudo, considerando a baixa resolução da maioria dos do GCMs, torna-se o fator limitante para uma performance adequada destes modelos na representação do clima. Esta limitação pode ser contornada por meio da utilização e técnicas de downscaling, considerando modelos empíricos ou estatísticos (Maraun et al. 2010).

A escolha do modelo global que melhor representa o comportamento intra-anual da variável estudada na região é sem dúvida o passo mais importante para a aplicação de técnicas de *downscaling* que permitam a realização de projeções futuras com menor grau de incerteza. Diversos estudos apresentam técnicas de avaliação da destreza dos modelos climáticos, com aplicações em diversas partes do mundo (Wehner et al. (2010), Watanabe et al. (2012), Catto et al. (2013)).

Este estudo objetivou apresentar um conjunto de indicadores de desempenho para GCMs utilizados no IPCC/AR5 que permitam apontar os melhores para a previsão de precipitações na região Nordeste do Brasil, fornecendo elementos para a seleção desses modelos e para posterior aplicação de técnicas de correção de viés.

## METODOLOGIA

### Área de estudo

O estudo foi realizado na região Nordeste do Brasil, localizada entre as coordenadas 01°02'30"N, 34°47'30"O e 18°20'07"N, 48°45'24"O. O Nordeste brasileiro (NEB) abrange uma área de aproximadamente 1,6 milhões de quilômetros quadrados, correspondendo a 18% do território nacional. Esta região é composta por nove estados da Federação: Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Maranhão, abrigando uma população em torno de 53 milhões de habitantes que representa próximo a 28% da população brasileira (IBGE, 2010). Segundo Silva et al. (2011), esta região apresenta-se dividida em quatro zonas geográficas distintas: (I) Meio-Norte: faixa de transição entre a Amazônia e o sertão, abrange os Estados do Maranhão e Piauí; apresenta precipitações anuais de 2.000 mm no litoral, caindo para 1.500 mm anuais no sentido interior chegando a 700 mm no sul do Piauí; (II) Sertão: localizado no interior do Nordeste, caracterizado pelo clima semiárido. Esta região inicia no norte do estado de Minas Gerais, e apresenta chuvas irregulares e escassas, períodos de estiagem, onde predomina a vegetação caatinga; (III) Agreste: zona de transição entre a Zona da Mata e o Sertão, localizado no alto do planalto da Borborema, que é um obstáculo natural para a chegada das chuvas até o sertão, se estendendo do sul da Bahia ao Rio Grande do Norte. Do lado leste do planalto estão as terras mais úmidas (Zona-da-Mata) enquanto para o interior o clima vai ficando cada vez mais seco (sertão); (IV) Zona da Mata: no leste, entre o planalto da Borborema e o litoral, se estendendo desde o Rio Grande do Norte até o sul da Bahia, onde as chuvas são mais abundantes. NO NEB ocorrem os climas: Equatorial Úmido, Litorâneo Úmido, Tropical e Semiárido.

### Bases de dados

Os dados utilizados no estudo foram os seguintes:

- Séries mensais de precipitação de 44 GCMs (Tabela 1) do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 - CMIP5* (WCRP, 2016) obtidos a partir do link <<https://pcmdi.llnl.gov/projects/esgf-llnl/>>, considerando o período histórico de 1980 a 2005, período coincidente com o disponível nos dados utilizados para avaliação de desempenho dos modelos;
- Séries mensais de precipitação da base de dados *Brazil Gridded Meteorological Data from 1980-2013* (Xavier et al., 2015), em grade com resolução espacial de 0,25° e cobertura sobre todo o território nacional, obtidas em < <https://utexas.app.box.com/v/xavier-et-al-ijoc-data>>; tais dados interpolados mostram satisfatórias correlações nesta região de estudo com estações em campo (Melo et al., 2015);

Como havia diferenças de resolução espacial entre as informações, ambas foram compatibilizadas para uma nova grade com 1,0° de resolução de espacial. Todas as rotinas para interpolação, extração e processamento das informações foram construídas na forma de *scripts* no software *R x64 v 3.2.2.*, utilizando os pacotes *ncdf4*, *ncdf*, *maptools*, *raster* e *utils* (R Core Team, 2016).

## Avaliação de desempenho

A avaliação do desempenho dos modelos foi realizada por meio da conjugação de alguns indicadores médios para a região (Melo et al., 2015):

- Coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Onde  $x$  e  $y$  representam valor de referência e valor estimado respectivamente, para uma mesma localização espacial;

- Raiz do erro médio quadrático ( $RMSE$ ):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}}$$

Além destes dois indicadores que são utilizados em muitos estudos de avaliação de modelos, são propostos outros que levam em conta a precisão da previsão por meio da contagem de pixels com erro relativo que atendem a um determinado limite de tolerância associados à distribuição estatística das séries:

- Percentual de precisão para média ( $IBiasM$ ): este indicador contabiliza o percentual de pixels com relação ao total avaliado na região nos quais o valor da diferença (Bias) entre a precipitação média mensal estimada pelo GCM e o valor de referência médio obtido da base de dados de campo atende ao limite estabelecido (tolerância de  $\pm 25\%$  de diferença);
- Percentual de precisão para mediana ( $IBiasMed$ ): o mesmo conceito do  $IBiasM$  apenas considerando o valor da mediana de ambas as séries;
- Percentual de precisão para o quartil 90 ( $IBiasQ90$ ): o mesmo conceito do  $IBiasM$  apenas considerando o valor do quartil 90, ou seja os maiores valores de precipitação das séries históricas;
- Percentual de precisão para o quartil 10 ( $IBiasQ10$ ): o mesmo conceito do  $IBiasM$  apenas considerando o valor do quartil 10, ou seja os menores valores de precipitação das séries históricas;

Os indicadores calculados para cada modelo foram então relativizados de zero a um sobre o melhor valor obtido, de forma a compor por somatório o índice de desempenho e permitir um ranqueamento dos modelos.

Tabela 1 – Modelos Climáticos Globais avaliados no estudo (WCRP, 2016)

	<b>MODELO</b>	<b>INSTITUIÇÃO</b>
1	ACCESS1-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation and Bureau of Meteorology, Australia
2	ACCESS1.3	Idem ao anterior
3	BCC-CSM1.1	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration
4	BCC-CSM1.1(m)	Idem ao anterior
5	BNU-ESM	College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University
6	CanCM4	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis
7	CanESM2	Idem ao anterior
8	CCSM4	National Center for Atmospheric Research
9	CESM1(BGC)	National Science Foundation, Department of Energy, National Center for Atmospheric Research
10	CESM1(CAM5)	Idem ao anterior
11	CESM1(FASTCHEM)	Idem ao anterior
12	CESM1(WACCM)	Idem ao anterior
13	CMCC-CESM	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici
14	CMCC-CM	Idem ao anterior
15	CMCC-CMS	Idem ao anterior
16	CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques / Centre Europeen de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique
17	CNRM-CM5-2	Idem ao anterior
18	CSIRO-Mk3.6.0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation in collaboration with the Queensland Climate Change Centre of Excellence
19	EC-EARTH	EC-EARTH consortium
20	FIO-ESM	The First Institute of Oceanography, SOA, China
21	GFDL-CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
22	GISS-E2-H	NASA Goddard Institute for Space Studies
23	GISS-E2-H-CC	Idem ao anterior
24	GISS-E2-R	Idem ao anterior
25	GISS-E2-R-CC	Idem ao anterior
26	HadCM3	Met Office Hadley Centre
27	HadGEM2-AO	Idem ao anterior
28	HadGEM2-CC	Idem ao anterior
29	HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre (HadGEM2-ES realizations contributed by INPE)
30	INM-CM4	Institute for Numerical Mathematics
31	IPSL-CM5A-LR	Institut Pierre-Simon Laplace
32	IPSL-CM5A-MR	Idem ao anterior
33	IPSL-CM5B-LR	Idem ao anterior
34	MIROC-ESM	Atmosphere and Ocean Research Institute, National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
35	MIROC-ESM-CHEM	Idem ao anterior
36	MIROC4h	Idem ao anterior
37	MIROC5	Idem ao anterior
38	MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)
39	MPI-ESM-MR	Idem ao anterior
40	MPI-ESM-P	Idem ao anterior
41	MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute
42	MRI-ESM1	Idem ao anterior
43	NorESM1-M	Norwegian Climate Centre
44	NorESM1-ME	Idem ao anterior

## RESULTADOS

A tabela 2 apresenta os valores obtidos por indicador para cada modelo avaliado. Observa-se uma grande variabilidade nos valores dos indicadores considerando os 44 GCMs avaliados. Com relação ao coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), este variou de 0,34 (CSIRO-MK3.6.0) a 0,55 (EC-EARTH), podendo ser considerado de baixo a médio, de forma geral. Dos 44 modelos avaliados, apenas 11 tiveram valores de  $r$  iguais ou superiores a 0,50. Deve ser ressaltado, no entanto, que está sendo considerado todo o NEB nesta avaliação, com grandes mudanças nos regimes espaço-temporais de precipitação. Para o indicador  $RMSE$ , os valores variaram entre 82,68 mm (EC-EARTH) e 223,13 mm (GISS-E2-HCC). Considerando os indicadores relativos às diferenças de distribuição estatística entre os dados, iniciando pela média ( $IBiasM$ ), para a cobertura espacial da região, observa-se que os percentuais para os erros da precipitação situaram-se entre 4,26% (GISS-E2-H) a 76,60% (EC-EARTH) de precisão na cobertura da região, mostrando uma enorme variabilidade da condição dos modelos globais em estimar os valores dentro da tolerância definida de 25%. Para este indicador apenas 6 modelos atingiram 50% ou mais dos pixels avaliados dentro da precisão pré-definida. Para a mediana ( $IBiasMed$ ) observou-se maior dificuldade dos modelos em gerar a informação espacial dentro do limite de tolerância, com valores obtidos entre 0,71% (CanCM4) e 51,06% (MIROC4h), sendo que apenas este último superou os 50%. O indicador  $IBiasQ90$ , referente aos eventos de precipitação com maiores alturas pluviométricas, teve o seu valor variando de 8,51% (MRI-ESM1 e MRI-CGCM3) a 67,38% (EC-EARTH), sendo que neste indicador apenas 5 modelos tiveram desempenho superior a 50%. Para o indicador relacionado aos menores valores de precipitação ( $IBiasQ10$ ), o comportamento foi o pior dentre todos os indicadores deste tipo, variando de 0,00% (GISS-E2-H, GISS-E2-H-CC, CMCC-CESM e CMCC-CM) ao máximo de 22,70% (MIROC5), tal resultado ressalta a dificuldade dos modelos em estimar as alturas de precipitação nos meses secos.

Uma vez definidos os indicadores, foi realizada a relativização e cada um, visando considerar as diferenças de resultados de um modelo com relação ao outro. Assim os indicadores foram relativizados em função do melhor valor, sendo que apenas para  $RMSE$ , esta relativização foi feita de forma inversa, uma vez que, neste caso, o maior valor do indicador indica desempenho inferior. Na Tabela 3 estão apresentados os valores relativizados bem como os índices finais de cada modelo. Pode-se observar que o modelo EC-EARTH apresentou o maior valor para o índice (5,30), sendo que este pode ter no máximo o valor 6,0. Os valores relacionados aos resultados deste modelo foram os melhores para os quase todos os indicadores, excetuando apenas  $IBiasMed$  e  $IBiasQ10$ . Na sequência, observa-se valores para os índices muito próximos para os modelos desenvolvidos no Met Office Hadley Centre (HadGEM2-CC (4,23), HadGEM2-ES (4,04), HadCM3 (4,02)), bem com para os da série MIROC (MIROC-ESM (4,24), MIROC5 (4,20), MIROC-ESM-CHEM (4,02) e MIROC4h (3,97)), desenvolvidos pela Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology. Tal resultado corrobora o fato de que estes modelos estão entre os mais utilizados em diversos estudos na região e servem de base para alimentação de modelos regionais no Brasil (Silveira et al. (2013), Pinheiro et al.(2014)). Na Figura 1, pode-se observar de forma gráfica o resultado relativizado de cada modelo na composição de seu índice.

TABELA 2 – Valores dos indicadores obtidos para GCMs avaliados na região Nordeste do Brasil

MODELO	<i>r</i>	RMSE (mm)	IBiasM (%)	IBiasMed (%)	IBiasQ90 (%)	IBiasQ10 (%)
ACCESS1-0	0,44	94,14	43,26	31,21	43,97	5,67
ACCESS1.3	0,45	94,53	29,79	7,09	41,13	12,77
BCC-CSM1.1	0,48	165,92	17,73	21,99	13,48	12,06
BCC-CSM1.1(m)	0,49	135,69	27,66	19,86	30,50	3,55
BNU-ESM	0,47	108,23	17,73	12,06	21,28	9,22
CanCM4	0,47	89,72	24,82	0,71	40,43	8,51
CanESM2	0,49	91,07	51,77	4,96	62,41	7,09
CCSM4	0,52	131,04	36,17	25,53	28,37	5,67
CESM1(BGC)	0,50	142,74	31,91	31,91	27,66	4,26
CESM1(CAM5)	0,53	110,69	35,46	24,82	38,30	9,93
CESM1(FASTCHEM)	0,52	127,76	31,91	20,57	29,08	6,38
CESM1(WACCM)	0,49	127,98	25,53	32,62	25,53	8,51
CMCC-CESM	0,50	113,23	43,97	32,62	34,75	0,00
CMCC-CM	0,46	101,92	58,16	21,28	48,94	0,00
CMCC-CMS	0,46	109,65	37,59	37,59	34,04	0,71
CNRM-CM5	0,49	106,50	34,04	18,44	32,62	9,93
CNRM-CM5-2	0,48	110,48	31,91	19,86	31,91	14,89
CSIRO-Mk3.6.0	0,34	112,31	8,51	4,96	14,18	4,26
EC-EARTH	0,55	82,68	76,60	37,59	67,38	12,77
FIO-ESM	0,52	132,72	28,37	31,21	29,08	10,64
GFDL-CM3	0,45	138,32	31,91	34,04	33,33	9,93
GISS-E2-H	0,36	218,44	4,26	6,38	10,64	0,00
GISS-E2-H-CC	0,40	223,13	4,26	7,80	11,35	0,00
GISS-E2-R	0,46	181,53	6,38	14,18	9,93	1,42
GISS-E2-R-CC	0,46	174,77	7,09	14,18	11,35	0,71
HadCM3	0,54	95,02	58,87	29,79	46,10	2,84
HadGEM2-AO	0,45	102,51	41,84	18,44	56,03	7,80
HadGEM2-CC	0,44	96,96	51,06	26,95	57,45	12,06
HadGEM2-ES	0,49	101,75	42,55	24,11	50,35	12,77
INM-CM4	0,48	162,68	26,24	19,15	24,82	4,96
IPSL-CM5A-LR	0,45	104,04	26,24	3,55	31,21	6,38
IPSL-CM5A-MR	0,41	112,53	32,62	4,26	27,66	4,96
IPSL-CM5B-LR	0,36	164,41	27,66	31,91	19,86	4,26
MIROC4h	0,47	118,44	31,91	51,06	23,40	14,89
MIROC5	0,52	123,73	31,91	41,13	24,11	22,70
MIROC-ESM	0,52	94,34	52,48	36,88	47,52	7,09
MIROC-ESM-CHEM	0,54	99,12	41,13	38,30	36,88	8,51
MPI-ESM-LR	0,46	109,72	41,13	32,62	36,17	1,42
MPI-ESM-MR	0,47	113,58	36,17	43,26	29,08	1,42
MPI-ESM-P	0,46	108,03	41,84	34,04	38,30	1,42
MRI-CGCM3	0,42	172,44	10,64	22,70	8,51	6,38
MRI-ESM1	0,45	171,36	12,77	21,28	8,51	7,09
NorESM1-M	0,43	119,22	16,31	16,31	14,18	14,18
NorESM1-ME	0,44	106,73	21,99	16,31	17,73	13,48

TABELA 3 – Valores dos indicadores relativizados para os GCM avaliados na região Nordeste

MODELO	<i>r</i>	<i>RMSE</i>	<i>IBiasM</i>	<i>IBiasMed</i>	<i>IBiasQ90</i>	<i>IBiasQ10</i>	INDICE
EC-EARTH	1,00	1,00	1,00	0,74	1,00	0,56	5,30
MIROC-ESM	0,94	0,88	0,69	0,72	0,71	0,31	4,24
HadGEM2-CC	0,80	0,85	0,67	0,53	0,85	0,53	4,23
MIROC5	0,95	0,67	0,42	0,81	0,36	1,00	4,20
HadGEM2-ES	0,89	0,81	0,56	0,47	0,75	0,56	4,04
MIROC-ESM-CHEM	0,98	0,83	0,54	0,75	0,55	0,38	4,02
HadCM3	0,99	0,87	0,77	0,58	0,68	0,13	4,02
MIROC4h	0,85	0,70	0,42	1,00	0,35	0,66	3,97
CanESM2	0,88	0,91	0,68	0,10	0,93	0,31	3,80
ACCESS1-0	0,79	0,88	0,56	0,61	0,65	0,25	3,75
HadGEM2-AO	0,82	0,81	0,55	0,36	0,83	0,34	3,71
CESM1(CAM5)	0,96	0,75	0,46	0,49	0,57	0,44	3,66
CNRM-CM5	0,86	0,75	0,42	0,39	0,47	0,66	3,55
CMCC-CM	0,83	0,81	0,76	0,42	0,73	0,00	3,54
FIO-ESM	0,94	0,62	0,37	0,61	0,43	0,47	3,45
MPI-ESM-P	0,84	0,77	0,55	0,67	0,57	0,06	3,45
GFDL-CM3	0,82	0,60	0,42	0,67	0,49	0,44	3,43
MPI-ESM-MR	0,86	0,73	0,47	0,85	0,43	0,06	3,40
CNRM-CM5-2	0,89	0,78	0,44	0,36	0,48	0,44	3,39
ACCESS1.3	0,81	0,87	0,39	0,14	0,61	0,56	3,39
MPI-ESM-LR	0,84	0,75	0,54	0,64	0,54	0,06	3,37
CMCC-CESM	0,91	0,73	0,57	0,64	0,52	0,00	3,37
CMCC-CMS	0,84	0,75	0,49	0,74	0,51	0,03	3,36
CESM1(WACCM)	0,89	0,65	0,33	0,64	0,38	0,38	3,26
CCSM4	0,94	0,63	0,47	0,50	0,42	0,25	3,22
CESM1(FASTCHEM)	0,95	0,65	0,42	0,40	0,43	0,28	3,13
CESM1(BGC)	0,90	0,58	0,42	0,63	0,41	0,19	3,12
CanCM4	0,86	0,92	0,32	0,01	0,60	0,38	3,10
NorESM1-ME	0,79	0,77	0,29	0,32	0,26	0,59	3,03
BCC-CSM1.1(m)	0,90	0,61	0,36	0,39	0,45	0,16	2,86
NorESM1-M	0,77	0,69	0,21	0,32	0,21	0,63	2,83
BNU-ESM	0,85	0,76	0,23	0,24	0,32	0,41	2,81
IPSL-CM5A-LR	0,81	0,79	0,34	0,07	0,46	0,28	2,76
BCC-CSM1.1	0,86	0,50	0,23	0,43	0,20	0,53	2,76
INM-CM4	0,88	0,51	0,34	0,38	0,37	0,22	2,69
IPSL-CM5B-LR	0,65	0,50	0,36	0,63	0,29	0,19	2,62
IPSL-CM5A-MR	0,74	0,73	0,43	0,08	0,41	0,22	2,62
MRI-ESM1	0,82	0,48	0,17	0,42	0,13	0,31	2,32
MRI-CGCM3	0,76	0,48	0,14	0,44	0,13	0,28	2,23
CSIRO-Mk3.6.0	0,61	0,74	0,11	0,10	0,21	0,19	1,96
GISS-E2-R-CC	0,83	0,47	0,09	0,28	0,17	0,03	1,87
GISS-E2-R	0,83	0,46	0,08	0,28	0,15	0,06	1,86
GISS-E2-H-CC	0,72	0,37	0,06	0,15	0,17	0,00	1,47
GISS-E2-H	0,66	0,38	0,06	0,13	0,16	0,00	1,38



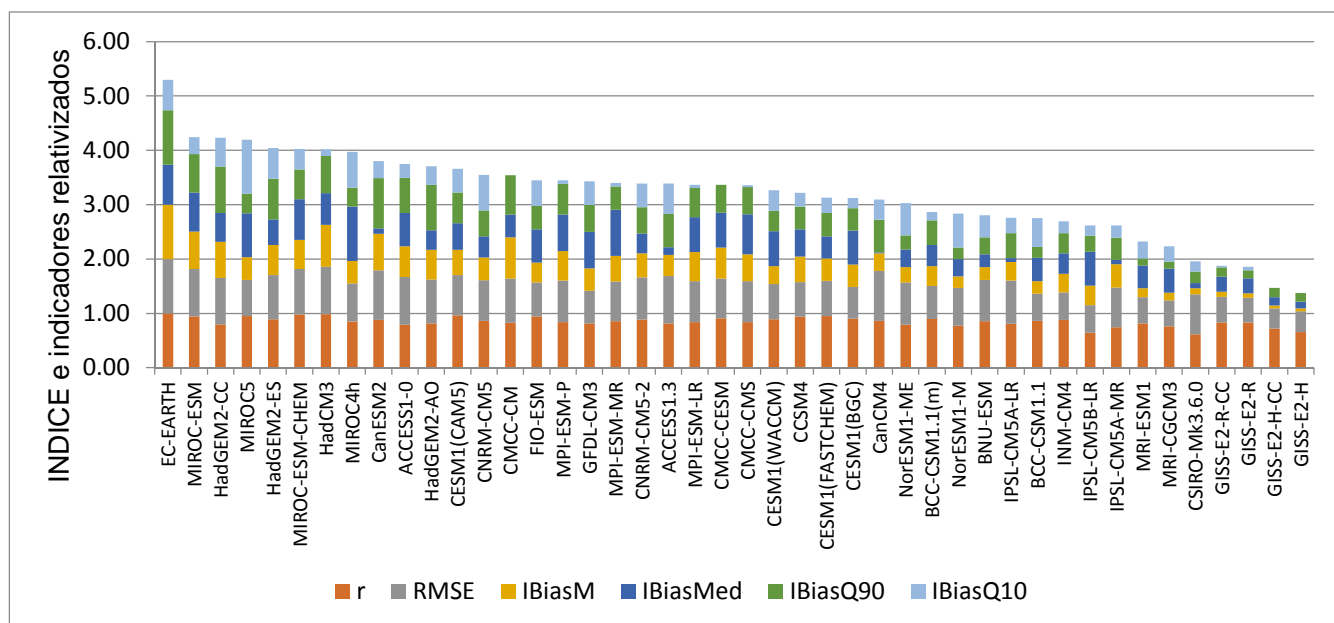


Figura 1 – Indicadores e índices obtidos para os GCMs avaliados na região Nordeste do Brasil

## CONCLUSÕES

- A metodologia proposta permitiu uma avaliação adequada de desempenho dos modelos avaliados para a região Nordeste;
- O modelo EC-EARTH mostrou o melhor índice de desempenho para a representação da precipitação nesta região;
- Os modelos da série HadGEM, HadCM3 e MIROC também atingiram valores altos no índice de avaliação proposto.

## BIBLIOGRAFIA

Catto, J. L., C. Jakob, and N. Nicholls (2013), A global evaluation of fronts and precipitation in the ACCESS model, *Aust. Meteorol. Oceanogr. Soc. J.*, 63, 191–203.

IBGE. (2010). Censo populacional 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em Mai. 2016.

IPCC. Climate Change 2013: The physical science basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the IPCC, Stockholm, September, 2013. 2216p.

Maraun D, Wetterhall F, Ireson AM, Chandler RE, Kendon EJ, Widmann M, Brienen S, Rust HW, Sauter T, Themel M, Venema (2010). Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Rev. Geophys.* 48.

- Melo, D. C. D., A. C. Xavier, T. Bianchi, P. T. S. Oliveira, B. R. Scanlon, M. C. Lucas, E. Wendland (2015), Performance evaluation of rainfall estimates by TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis 3B42V6 and V7 over Brazil, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 9426–9436.
- Piani, C., G. P. Weedon, M. Best, S. M. Gomes, P. Viterbo, S. Hagemann, and J. O. Haerter. (2010). Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. *J. Hydrol.*, 395, 199–215.
- Pinheiro, J.U., Neves, J.A., Chaves, R.R., Mendes, D., Barreto, N.J.C. Avaliação de modelos do CMIP5 que melhor expressam a atuação dos vórtices ciclônicos em altos níveis (VCANS) no Nordeste brasileiro (NEB). *Revista Brasileira de Geografia Física*, vol.07, n.05 (2014) 891-904.
- R Core Team (2016) R: A Language and Environment for Statistical Computing. Version 3.2.2. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Disponível em: <<https://www.R-project.org>>. Acesso em: Mai. 2016.
- Silva, V.P.R., Pereira, E.R.R., Azevedo, P.V., Sousa, F.A.S., Sousa, I.F. (2011) Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.15, n.2, p.131–138, 2011 Campina Grande, PB, UAEA/UFCG.
- Silveira, C.S., Souza Filho, F.A., Costa, A.A., Cabral, S.L. Avaliação de desempenho dos modelos do CMIP5 quanto à representação dos padrões de variação da precipitação no século XX sobre a região Nordeste do Brasil, Amazônia e bacia do Prata e análise das projeções para o cenário RCP8.5. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.28, n.3, 317 - 330, 2013.
- WCRP. (2016). Coupled Model Intercomparison Project 5 (CMIP5). World Climate Program Research. Disponível em: <https://pcmdi.llnl.gov/projects/cmip5/> . Acesso em Mai.2016.
- Wehner, M. F., R. L. Smith, G. Bala, and P. Duffy (2010), The effect of horizontal resolution on simulation of very extreme US precipitation events in a global atmosphere model, *Clim. Dyn.*, 34, 241–247.
- Watanabe S, Kanae S, Seto S, Yeh PJ-F, Hirabayashi Y, Oki T. (2012). Intercomparison of bias-correction methods for monthly temperature and precipitation simulated by multiple climate models. *Journal of Geophysical Research* 117: D23114.
- Xavier, A.C., King, C.W., Scanlon, B.R. (2015) . Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *Int. J. Climatol.* , Wiley Online Library.