



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe)



## Avaliação Preliminar da Sensibilidade dos Modelos do CMIP5 a Precipitação Sazonal do Brasil Tropical

Naurinete de Jesus da Costa Barreto<sup>1</sup>; David Mendes<sup>2</sup>; Paulo Sergio Lucio<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Meteorologista, Doutoranda em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte /UFRN-CCET-PPGCC, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, [netebarreto@gmail.com](mailto:netebarreto@gmail.com). <sup>2</sup>Prof. Doutor, Universidade Federal do Rio Grande do Norte /UFRN-CCET-PPGCC, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, [david.mendes22@gmail.com](mailto:david.mendes22@gmail.com). <sup>3</sup>Prof. Doutor, Universidade Federal do Rio Grande do Norte /UFRN-CCET-PPGCC, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, [pslucio@cet.ufrn.br](mailto:pslucio@cet.ufrn.br).

Artigo recebido em 31/07/2013 e aceito em 07/09/2013

### RESUMO

As performances das simulação do clima presente sobre o Brasil Tropical (BrT) são avaliadas com base em 8 modelos de simulação climática globais, pertencentes ao conjunto de experimentos "phase five of the Coupled Model Inter-comparison Project" (CMIP5). Em comparação com as observações, os modelos são capazes de capturar as características dominantes da precipitação pluvial durante o período de 1979 a 2005, incluindo o padrão espacial e variações sazonais, entretanto avaliações por trimestre regionalizadas mostraram discrepâncias entre os modelos e o observado. Em termos de correlação o trimestre de Março a Maio (MAM) foi mais bem representado pelos modelos, e o trimestre o de Dezembro a Fevereiro (DJF) obteve pior desempenho. O RMSE médio foi mais elevado durante o período chuvoso (verão e outono austral), e valores menos intenso durante o período de estiagem. Os resultados dos modelos do CMIP5 mostram que ainda existe dificuldade em simular o padrão climático de algumas regiões e períodos sazonais.

**Palavras-chave:** CMIP5, Simulação Climática, Cenários Futuros.

## Preliminary Evaluation of the sensitivity of the CMIP5 Models Seasonal Precipitation of Tropical Brazil

### ABSTRACT

The performances of the simulation of the present climate of the Tropical Brazil (BrT) are evaluated based on eight global climate simulation models, belonging to the set of experiments "phase five of the Coupled Model Inter-comparison Project" (CMIP5). In comparison with observations, the models are able to capture the dominant features of rainfall during the period 1979-2005, including the spatial and seasonal variations, however assessments quarter regionalized showed discrepancies between the models and the observed. In terms of correlation the quarter March to May (MAM) was best represented by the models, and the quarter from December to February (DJF) had worse performance. The average RMSE was higher during the rainy season (austral summer and autumn), and values less intense during the dry period. The results of the CMIP5 models show that there is still difficulty in simulating the climatic pattern of some regions and seasons.

**Keywords:** CMIP5, Simulação Climática, Cenários Futuros.

\* E-mail para correspondência:  
[netebarreto@gmail.com](mailto:netebarreto@gmail.com) (Barreto, N. J.C.).

## Introdução

A variabilidade climática global e as mudanças causadas por processos naturais e fatores antrópicos podem resultar em grandes problemas ambientais que "afetam" o mundo durante o século 21 (Marin et al. 2012; Cândido et al. 2007). Segundo o Quarto Relatório de Avaliação de Grupo de Trabalho II do "Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC AR4, sigla em inglês), divulgado em fevereiro de 2007, o aumento na concentração dos gases do efeito estufa acarreta na elevação da temperatura do ar global, sendo assim, possíveis alterações climáticas em várias escalas de tempo e seus impactos tendem a influenciar os mais diversos sistemas físicos e biológicos (Valverde & Marengo 2010; Cândido et al. 2007). Essas alterações tem o potencial de alterar os valores sazonais de precipitação na América do Sul, e os padrões de variabilidade natural (Grimm & Natori 2006; Grimm 2011).

Na literatura avaliada pelo IPCC AR4 é feito uso intensivo de simulações realizadas com modelos climáticos participantes do Projeto de Inter-comparação de Modelos Acoplados Fase 3 (sigla em inglês CMIP3). O advento do CMIP5, que se baseia em modelos climáticos geralmente mais sofisticados e um novo conjunto de cenários de atuação, indica a necessidade de atualizações para esta literatura (Kharin et al. 2013). O CMIP5 inclui mais de 50 modelos de 24 grupos de modelagem com maior resolução e mais membros do que os conjuntos de experiência

individuais (Taylor et al. 2012), O potencial de previsibilidade do clima global utilizando os modelos climáticos é baseado na estreita relação entre condição de contorno oceânica e continental, e em como se processa a variabilidade e o acoplamento dessas forçantes com a atmosfera (Cândido et al. 2007).

A maioria dos modelos é capaz de reproduzir as características básicas do ciclo sazonal precipitação, como o noroeste e sudeste migração de precipitação sobre a América do Sul tropical e a máxima precipitação observada nos Andes do sul Li et al. (2006). No Nordeste Brasileiro (NEB) os modelos são capazes de capturar variações sazonais e interanuais, porém os padrões de chuva não são quantificados (Silveira et al. 2012; Silveira et al. 2013).

Diversos estudos compararam os modelos do CMIP3 com os modelos do CMIP5 verificando uma redução do viés seco, porém os modelos ainda apresentam dificuldade em simular padrões regionais (Yin et al. 2012; Roehrig et al. 2013; Biasutti 2013; Dickinson & Oleson 2006). O principal objetivo deste artigo é avaliar a sensibilidade sazonal de oito modelos de simulação climática do CMIP5 em relação a precipitação pluvial do BrT, identificando padrões regionais e sazonais característicos.

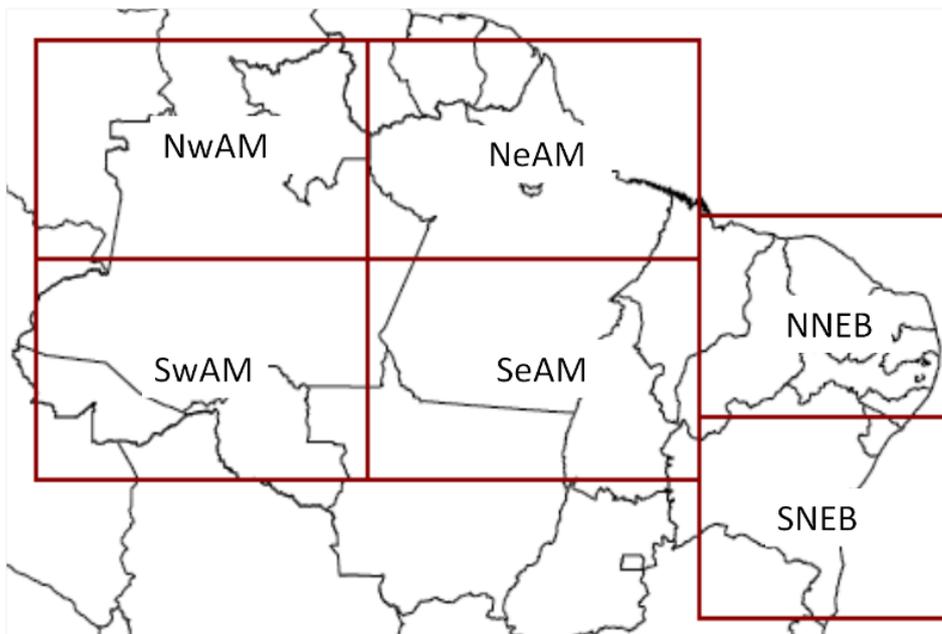
## Material e Métodos

### 2.1 Base de Dados

Os dados de precipitação diária gradeada utilizada neste estudo abrangem o período de janeiro de 1979 a dezembro de 2004, são dados obtidos a partir da base de dados do "Climate Prediction Center unified gauge" (CPC-uni). O CPC-uni utiliza uma técnica de interpolação que reprojeta a precipitação pontal para uma grade (Chen et al. 2008; Jones et al. 2012). O espaçamento da grade original está 0.5° latitude – longitude, foi utilizada interpolação bilinear para redimensionar os dados para 1.00° latitude –

longitude por meio do aplicativo GrAD's (Doty & Kinter III 1992).

Neste estudo dados de oito modelos incluídos no projeto CMIP5 (Tabela 1) foram analisados, considerando o experimento "Historical" (1981-2005), que representam o clima atual em conjunto com as composições de mudanças atmosféricas observadas e outros agentes de forçantes (Taylor et al. 2012).



**Figura 1.** Regiões selecionadas para avaliação temporal.

Os mapas de precipitação, para o clima do século XX, foram calculados com base na média mensal de precipitação. As medidas estatísticas utilizadas, cujas definições estão indicadas a seguir, são: raiz do erro quadrático médio (RMSE) e correlação (CORREL), entre os valores mensais simulados com relação aos dados do CPC-uni. O RMSE é definido pela equação:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_{ij} - P_{ij})^2}{n}}$$

Onde  $S_{ij}$  são os valores simulados pelos modelos climáticos e  $P_{ij}$  são os valores observados. O RMSE está associado a discrepâncias entre o simulado e o observado, quanto maior for essa discrepância maior o

valor associado ao RMSE. Para completar as análises foi calculado o coeficiente de correlação da seguinte maneira:

$$\rho_{ij} = \frac{\sum (S_{ij} - \bar{S}_{ij})(P_{ij} - \bar{P}_{ij})}{\sqrt{\sum (S_{ij} - \bar{S}_{ij})^2} \sqrt{\sum (P_{ij} - \bar{P}_{ij})^2}}$$

**Tabela 1.** Modelos utilizados neste trabalho.

NOME DO MODELO	CENTRO	RESOLUÇÃO HORIZONTAL	CENÁRIO
GFDL-ESM2M	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	2.5 x 1.5	Historical
NorESM1-M	Norwegian Climate Center	2.5 x 1.9	Historical
CNRM-CM5	National Center for Meteorological Research, France	1.4 x 1.4	Historical
HadGEM2-ES	UK Met Office Hadley Center	1.8 x 1.25	Historical
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology	1.9 x 1.9	Historical
MIROC-ESM	Atmosphere and Ocean Research Institute, National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Japan	1.4 x 1.4	Historical
INMCM4	Institute for Numerical Mathematics	2 x 1.5	Historical
CanESM2M	Canadian Center for Climate Modeling and Analysis	2.8 x 2.8	Historical

**Resultados e Discussão**

O BrT apresenta forte variabilidade espacial de precipitação, as médias mensais mais intensas são observadas sobre o extremo oeste da Amazônia, com precipitação superior a 12mm.dia<sup>-1</sup>, enquanto os mínimos são

localizados sobre o Nordeste Brasileiro (NEB), chuva inferior a 2mm.dia<sup>-1</sup> (Figura 22). No leste da Amazônia as variações são de 4mmdia<sup>-1</sup> até 8mmdia<sup>-1</sup>, com um núcleo elevado no extremo norte e uma faixa de transição a leste, abrangendo os estados do

Tocantins e Maranhão, onde as médias variam entre  $2\text{mm.dia}^{-1}$  até  $4\text{mm.dia}^{-1}$ . A região mais seca localiza-se no centro do NEB, enquanto

no litoral do NEB os valores elevam-se para  $4\text{mm.dia}^{-1}$ . 1.

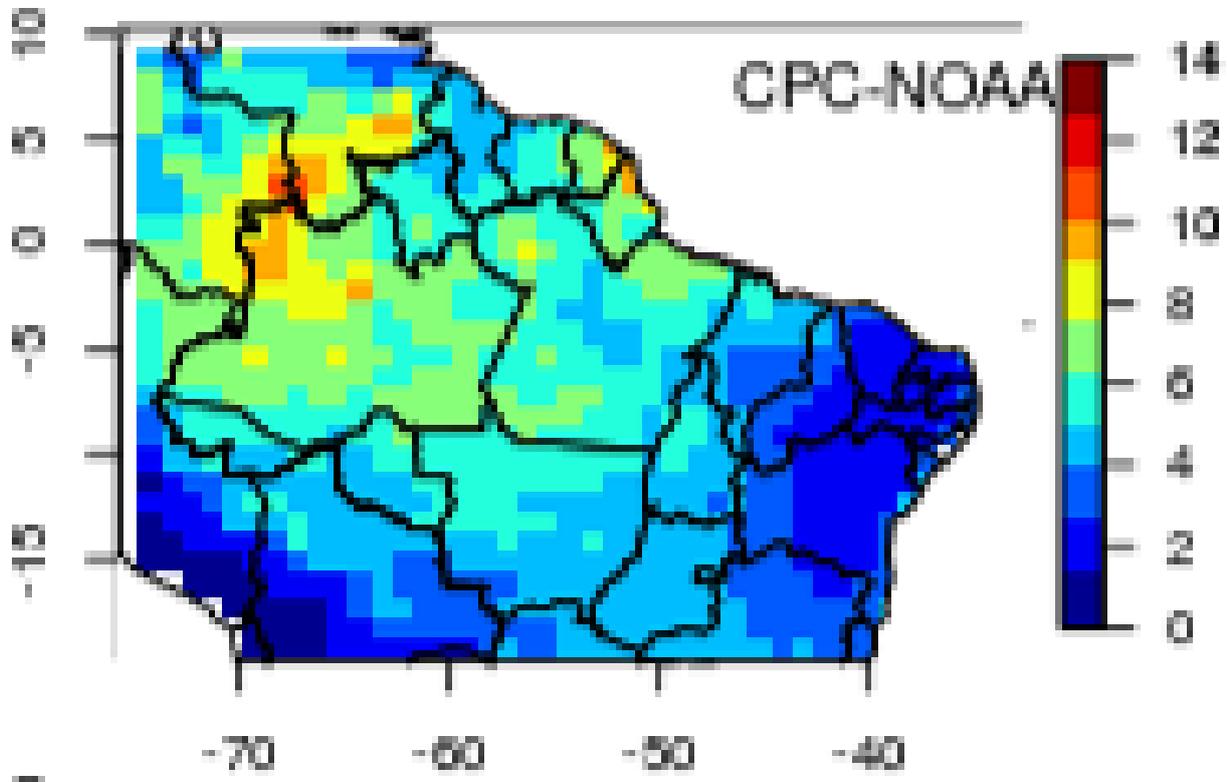
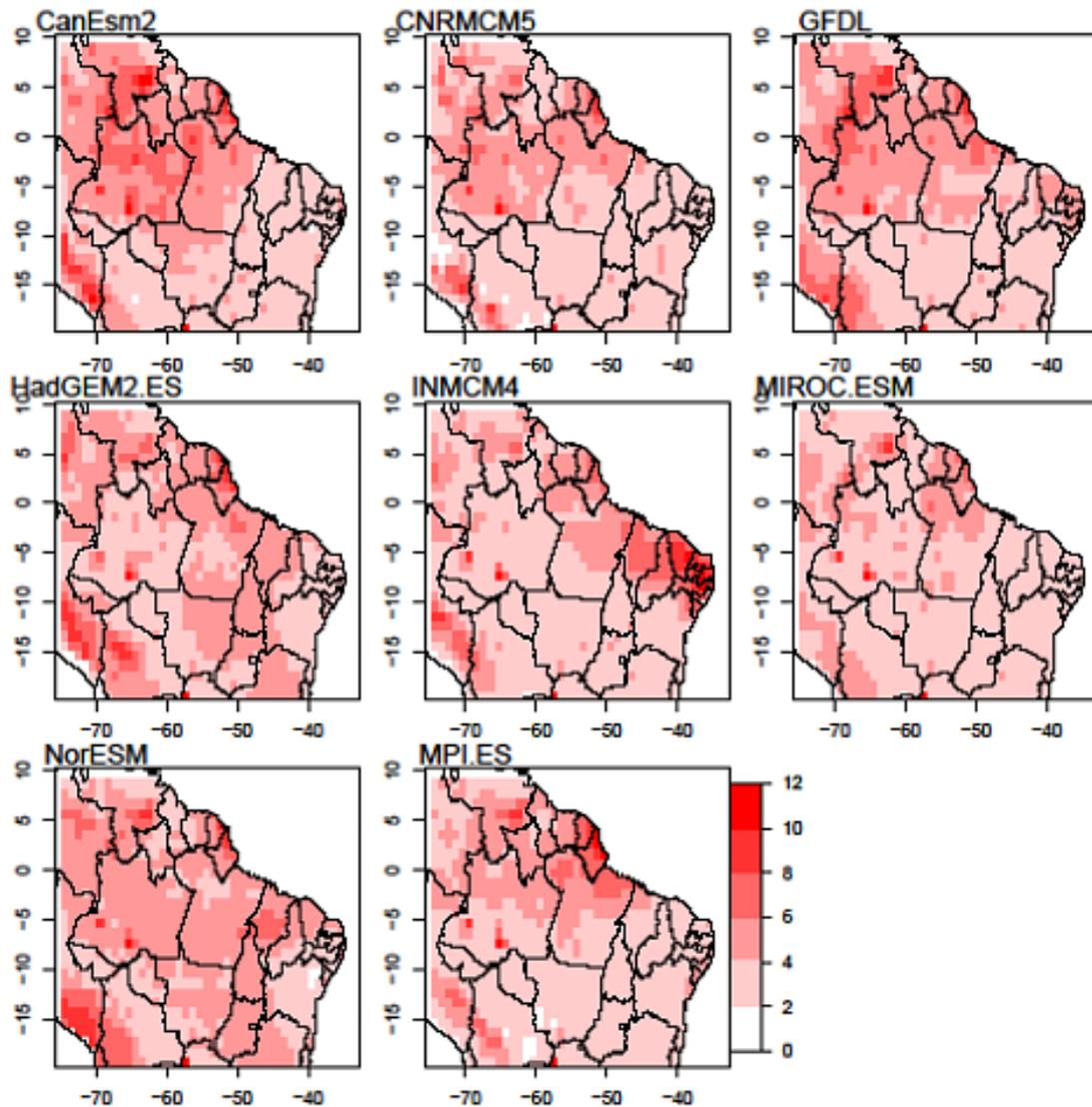


Figura 2. Média mensal precipitação sobre o Brasil Tropical ( $\text{mm.dia}^{-1}$ ).

A intensa variabilidade espacial de precipitação sobre a região ocasiona uma dificuldade em simular os padrões médios pelos modelos do CMIP5, neste trabalho foi utilizado o RMSE como uma ferramenta de avaliação do grau de discrepância destes modelos, quanto menor o seu valor mais realístico é a representação aos padrões dos

dados do CPC-uni. Na sensibilidade sobre a praticamente toda a região, o litoral norte da Amazônia é uma das poucas exceções em especial pelos modelos HadGEM2M e NorESM. O INMCM4 mostrou grande diferença comparando com o CPC-uni sobre o Norte do NEB.

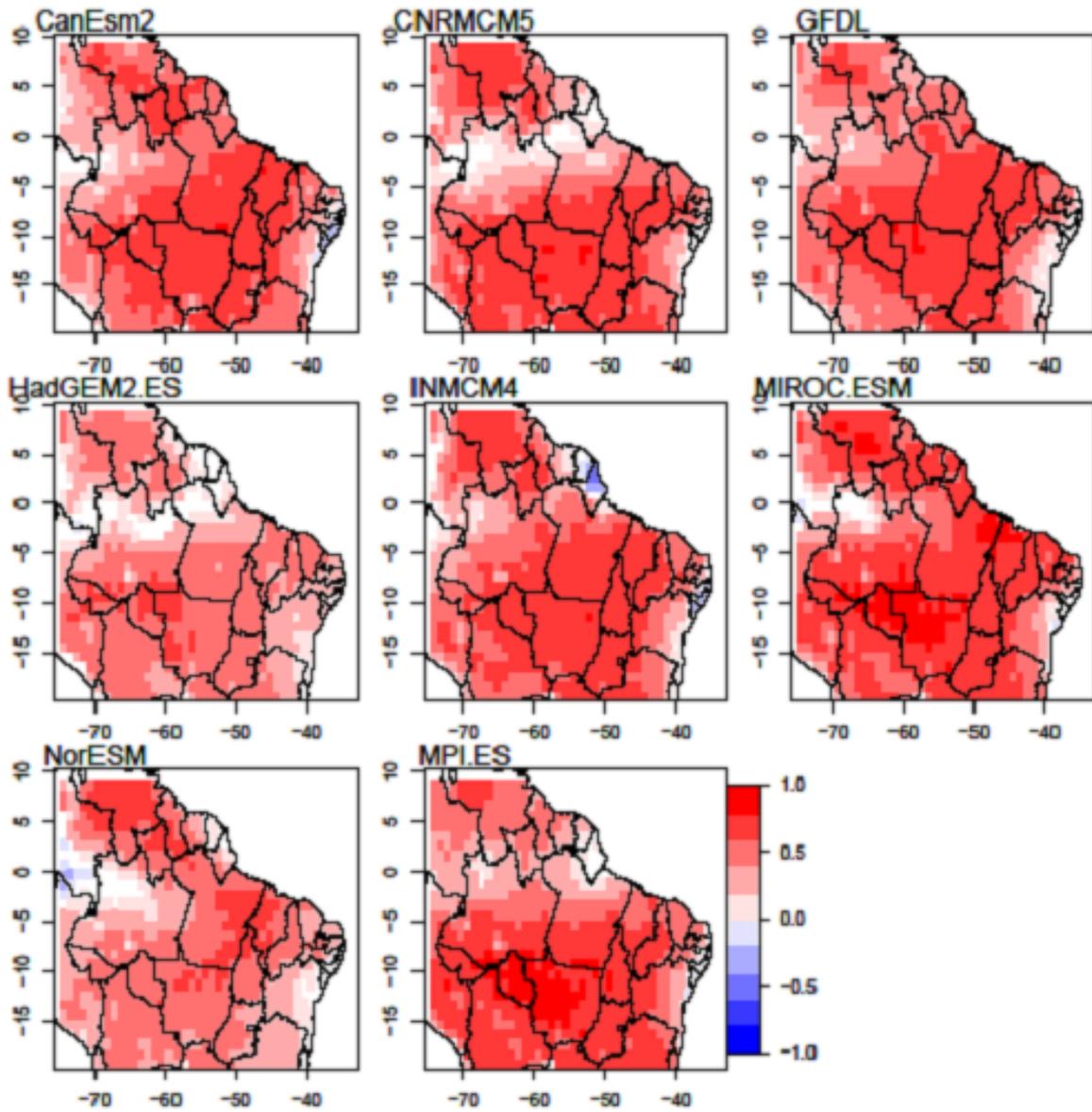
**Figura** observa-se que CanESM2M tem RMSE maior sobre o norte da Amazônia, superiores a  $4\text{mm.dia}^{-1}$  assim como CNRCM5 e GFDL-ESM. Os modelos HadGEM2-ES e NorESM são os que mostraram maiores discrepâncias sobre a faixa de transição localizada sobre os estados do Maranhão e Tocantins, no NEB estes modelos oscilam próximo a  $2\text{mmdia}^{-1}$ . Os modelos HadGEM, MIROC e NorESM registraram boa



**Figura 3.** Variação espacial do RMSE sobre o Brasil Tropical, para o período total de janeiro de 1979 a dezembro de 2004.

O coeficiente de correlação entre os dados dos simulados pelos modelos do CMIP5 e os dados do CPC-Uni são apresentados na Figura , nota-se valores superiores a 0.25 em praticamente todos os modelos. Os modelos CamESM2M, CNRMCM5 e GFDL-ESM2M obtiveram melhor resultado sobre a porção central do BrT e valores inferiores sobre oeste da Amazônia e o NEB (principalmente o litoral). As correlações dos modelos HadGEM2 e

NorESM oscilaram entre 0.25 e 0.45 na maioria das regiões, sendo estes os menores valores encontrados. Praticamente todos os modelos apresentam baixa sensibilidade ao litoral leste do NEB e o Nordeste da Amazônia, com valores próximos a zero ou como no caso do INMCM4 valores negativos, as exceções foram os modelos CanESM2, GFDL-ESM e MIROC-ESM apresentam valores significativos positivos.



**Figura 4:** Coeficiente de correlação total entre os dados observados do CPC e os modelos de simulação climática do CMIP5.

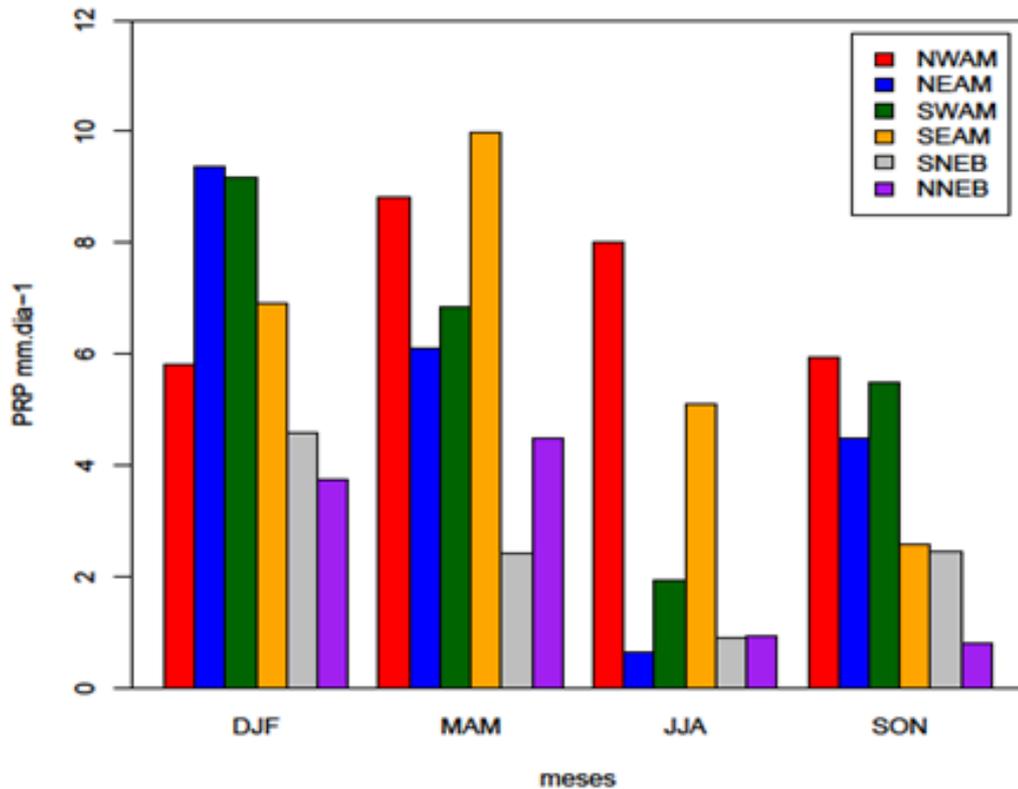
Para quantificar o RMSE e a correlação da precipitação sazonal no BrT, foram selecionadas seis regiões mostradas na Figura 2: o sudoeste da Amazônia (SwAM, 73.25°W-59.5°W, 12.5°S-3.75°S), o sudeste da Amazônia (SeAM, 59°W- 45°W, 12.5°S-3.75°S), o noroeste da Amazônia (NwAM, 73.25°W-59.5°W, 3.75°S-5.00°S), o nordeste da Amazônia (NeAM, 59°W-45°W, 3.75°S-5.00°S), o norte do Nordeste (NNEB,

45.25°W-34.5°W, 10.0°S-2.00°S), e sul do Nordeste (SNEB, 45.25°W- 34.5°W, 18°S-10°S).

As variações trimestrais da precipitação para as regiões selecionadas são mostradas na Figura 5, praticamente todas as áreas exibem um ciclo sazonal bem definido com exceção do NwAM, onde a precipitação é elevada em todos os trimestres, com uma suave redução durante os período de setembro

a novembro(SON) e dezembro a fevereiro (DJF), padrão este associado a influência do hemisfério norte no regime de precipitação, uma vez que parte da região localiza-se neste hemisfério (Marengo 2005). Nas outras regiões estudadas a sazonalidade exibem o período chuvoso com pico entre o verão

(DJF) e o outono austral (de março a maio (MAM)) sendo os meses de junho a agosto (JJA) como meses de estiagem e SON se configurando como pré-estação chuvosa (Rao & Hada 1990; Souza et al. 2004; Liebmann et al. 2011).



**Figura 5.** Média trimestral de precipitação para as regiões selecionadas no Brasil Tropical.

No norte da Amazônia (NwAM e NeAM), em especial o NwAM, o RMSE oscila entre 1mm.dia<sup>-1</sup> e 3.5mm.dia<sup>-1</sup> em praticamente todos períodos, o modelo CanESM2 obteve maior valor e o menor valor é o INMCM4 (Tabela 3), as melhores correlações aparecem durante os meses de março a julho, com valores médios de 0.2, entretanto alguns modelos como o HadGEM2 (DJF) e os NorESM (MAM, JJA e SON),obtiveram correlações negativas

(Tabela 2). No NeAM as relações entre o observado e o simulado mostraram diferenças em relação ao NwAM (Tabela 3), as correlações (Tabela 32) foram mais elevadas durante os meses de MAM e SON, com valores médios de 0.39, apesar dos valores baixos e até negativos nos meses de DJF e JJA, quanto ao RMSE é superior a 2mm.dia<sup>-1</sup>, com exceção de JJA. O modelo INMCM4 apresentou valores de RMSE elevados e CORREL reduzido.

O setor sul da Amazônia (SwAM e SeAM), apresentou RMSE bastante variado em diversos aspectos. O SwAM obteve melhor relação nos trimestres de JJA e SON, entre os modelos durante o período de DJF os modelos CNMCM5 e CanESM2M obtiveram maiores erros enquanto que em MAM foram os modelos CanESM2M, GFDL-ESM e NorESM, o INMCM4 apresentou valores de a  $2\text{mm.dia}^{-1}$  em todos os trimestres. A CORREL exibiu o mesmo padrão observado no NeAM, ou seja, valores baixos ou negativos em DJF e JJA, enquanto que em MAM e SON fortemente positivos. Já no SeAM o RMSE médio foi de  $3,8\text{mm.dia}^{-1}$  com maiores discrepâncias ocorrendo entre dezembro e maio, e redução nos meses de junho a novembro, a correlação permaneceu baixa em quase todos os trimestre com exceção de JJA.

O Nordeste do Brasil, foi dividido em duas subregiões, o setor NNEB onde foram observadas correlações média de 0.42 (Tabela 2), com máximos de 0.64 durante JJA, e mínimo em DJF de -0.03, nesta região os melhores resultados de correlação foram encontrados nos modelos CNRMCM5, GFDL-ESM2M e MIROC, enquanto do os piores modelos foram HadGEM2M e o

NorESM. Considerando o RMSE (Tabela 3) oscilou próximo a  $2.8\text{mm.dia}^{-1}$  com pico máximo de  $7\text{mm.dia}^{-1}$  pelo modelo INMCM4 no trimestre de SON, e mínimo de  $0.53\text{mm.dia}^{-1}$  em JJA pelo modelo CNRMCM5 (Tabela 3). Para o NNEB o trimestre com maior discrepância é DJF com menor correlação e maior RMSE, enquanto que JJA registra a segunda melhor correlação com o menor RMSE.

Na regiões SNEB observa-se correlação média de 0.25, com máximo de 0.71 no trimestre de SON pelos modelos CanESM2M e MPI-ESM, e os mínimo de -0.25 foi observado pelo modelo INMCM4 durante DJF. A melhor representação desta relação foi apresentada pelos modelos CanESM2M, CNRMCM5 e GFDL-ESM (Tabela 3). O RMSE mostrou valores médios bem próximos da  $2\text{mm.dia}^{-1}$  com valores mais elevados durante o verão austral e menores durante o inverno, neste região em média os modelos apresentaram a mesma sensibilidade apenas com diferenças sazonais, O HadGEM2M foi o que registrou maiores valores de RMSE sazonais.

**Tabela 2:** Coeficiente de correlação sazonal entre os modelos do CMIP5 e CPC-uni, para as seis regiões selecionadas do BrT.

Local	MÊS	CanEsm2M	CNRMCM5	GFDL	HadGEM2.ES	INMCM4	MIROC	NorESM	MPI-ESM
NEAM	DJF	0,19	-0,03	0,24	0,09	0,15	-0,04	-0,2	-0,08
	MAM	<b>0,82</b>	<b>0,8</b>	<b>0,84</b>	<b>0,4</b>	<b>0,82</b>	<b>0,79</b>	<b>0,74</b>	<b>0,82</b>
	JJA	0,1	0,22	0,02	0,02	-0,09	0,21	0,02	0,11
	SON	<b>0,73</b>	<b>0,78</b>	<b>0,71</b>	<b>0,31</b>	<b>0,79</b>	<b>0,77</b>	<b>0,65</b>	<b>0,78</b>
NWAM	DJF	0,19	-0,05	0,16	-0,14	0,26	-0,06	0,18	0
	MAM	0,08	0,66	-0,08	0,52	0,44	0,58	-0,17	0,47
	JJA	0,53	0,66	0,56	0,24	0,35	0,5	-0,07	0,5
	SON	-0,11	0	0,32	0	0,02	0,11	-0,07	0,06
SEAM	DJF	0,17	-0,52	0,21	0,13	-0,04	0,01	-0,06	-0,47
	MAM	0,07	-0,04	0,22	0,14	0,14	0,12	0,11	0
	JJA	0,7	0,68	0,63	0,22	0,56	0,74	0,58	0,54
	SON	0,08	0,32	0,47	0,01	-0,13	0,3	-0,04	0,31
SWAM	DJF	0,1	-0,19	0,06	0,04	0,09	0,04	-0,16	-0,03
	MAM	0,71	0,66	0,85	0,42	0,84	0,92	0,77	0,86
	JJA	-0,14	0,18	0,03	-0,07	-0,12	0,18	-0,01	0,15
	SON	0,34	0,79	0,66	0,39	0,68	0,82	0,58	0,76
SNEB	DJF	0,12	-0,18	-0,13	-0,02	-0,25	0,05	0,09	-0,09
	MAM	0,31	0,6	0,49	0,28	0,35	0,2	0,05	0,53
	JJA	0,05	0,16	0,49	0,24	0,23	0,25	0,39	-0,11
	SON	0,71	0,6	0,54	0,2	0,58	0,48	0,33	0,71
NNEB	DJF	0,35	0,19	0,33	0,37	0,24	0,38	-0,03	0
	MAM	0,49	0,43	0,64	0,18	0,51	0,5	0,49	0,45
	JJA	0,32	0,63	0,45	0,19	0,27	0,58	0,37	0,56
	SON	0,62	0,74	0,65	0,22	0,6	0,64	0,55	0,68

**Tabela 3.** RMSE sazonal entre os modelos do CMIP5 e CPC-uni, para as seis regiões selecionadas do BrT.

Local	MÊS	CanEsm2	CNRMCM5	GFDL	HadGEM2,ES	INMCM4	MIROC	NorESM	MPIESM
NEAM	DJF	4,43	2,88	3,1	3,47	2,65	2,53	3,14	2,93
	MAM	4,46	1,92	3,14	3,73	2,18	2,91	4,39	2,3
	JJA	0,72	0,48	0,79	3,61	1,37	0,71	0,78	0,79
	SON	2,4	1,72	2,7	2,97	2,15	2,48	3,44	2,55
NWAM	DJF	5,1	4,2	3,86	2,12	1,6	2,73	2,75	2,81
	MAM	4,89	4,85	3,14	3,02	1,99	2,77	2,51	2,02
	JJA	5,45	2,91	6,62	2,79	1,8	3,45	3,56	5,13
	SON	5,05	2,16	4,38	2,79	1,93	1,59	2,72	2,19
SEAM	DJF	6,01	4,58	5,05	4,2	2,58	3,89	3,51	5,64
	MAM	6,13	6,37	4,46	5,55	2,17	4,68	2,92	7,17
	JJA	4,33	1,8	4,9	3,04	3,4	3,01	3,43	4,61
	SON	2,28	1,67	2,12	2,51	6,12	1,75	2,6	2,14
SWAM	DJF	4,49	4,06	2,67	2,37	1,31	1,69	2,37	1,67
	MAM	4,78	2,51	4,09	3,23	3,77	2,4	5,23	1,41
	JJA	1,43	1,04	2,04	3,3	1,24	1,78	1,88	1,72
	SON	2,7	1,47	2,82	2,59	1,7	1,54	1,97	1,92
NNEB	DJF	3,29	3,99	5,73	3,16	9,44	3,84	6,36	3,9
	MAM	3,02	2,59	2,78	3,79	5,83	2,49	2,77	2,75
	JJA	0,99	0,53	0,78	3,43	2,56	0,86	0,88	1,08
	SON	0,95	1,26	1,47	0,93	7,03	0,7	1,76	1,16
SNEB	DJF	3,28	4,47	3,94	3,58	3,7	3,91	4,38	4,26
	MAM	2,57	2,67	1,7	3,34	1,92	2,43	2,54	2,05
	JJA	0,74	0,5	0,44	1,59	0,49	0,56	0,62	0,87
	SON	1,48	1,65	2,1	2,75	1,64	2,2	2,28	1,54

## Conclusões

- Os modelos avaliados representam adequadamente o ciclo anual sobre o BrT, em especial o centro leste da Amazônia, entretanto tem dificuldade em simular o núcleo de máxima precipitação a extremo oeste da Amazônia e o núcleo mínimo sobre o centro do NEB.
- Os modelos também apresentaram dificuldade em simular a quantificação da precipitação média mensal.
- Os modelos de CMIP5 mostraram maior dificuldade em simular variações interanuais do trimestre de DJF, seguido de JJA. O trimestre de MAM as correlações e o RMSE foram elevados. Em SON as correlações são altas mais e o RMSE é menor.
- Em termos de simulação por regiões o NNEB e NeAM são melhores representadas, em especial durante o MAM. O Sul da Amazônia (SwAM e SeAM) exibiram grande discrepância entre o simulado e o observado.

## 5. Agradecimentos

A coordenação de aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado da primeira autora Naurinete Barreto.

## 6. Referencias

Biasutti, M., 2013. Forced Sahel rainfall trends in the CMIP5 archive. *Journal of*

*Geophysical Research: Atmospheres*, 118(January), pp.1–11.

Cândido, L.A. et al., 2007. O clima atual e futuro da Amazônia nos cenários do IPCC: a questão da savanização. *Ciência e Cultura*, 59(3), pp.44–47.

Chen, M. et al., 2008. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 113(D4), p.D04110.

Dickinson, R. & Oleson, K., 2006. The Community Land Model and its climate statistics as a component of the Community Climate System Model. ... *of Climate*, 19, pp.2302–2324.

Doty, B. & Kinter III, J.L., 1992. The Grid Analysis and Display System (GrADS): A practical tool for earth science visualization. In *Eighth International Conference on Interactive Information and Procession Systems*.

Grimm, A.M., 2011. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(4), pp.537–554.

Grimm, A.M. & Natori, A. a., 2006. Climate change and interannual variability of precipitation in South America. *Geophysical Research Letters*, 33(19), pp.1–5.

Jones, C., Carvalho, L.M. V. & Liebmann, B., 2012. Forecast Skill of the South American Monsoon System. *Journal of Climate*, 25(6), pp.1883–1889.

Kharin, V. V. et al., 2013. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. *Climatic Change*.

- Li, W., Fu, R. & Dickinson, R.E., 2006. Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4. *Journal of Geophysical Research*, 111(D2), p.D02111.
- Liebmann, B. et al., 2011. Mechanisms Associated with Large Daily Rainfall Events in Northeast Brazil. *Journal of Climate*, 24(2), pp.376–396.
- Marengo, J. a., 2005. Characteristics and spatio-temporal variability of the Amazon River Basin Water Budget. *Climate Dynamics*, 24(1), pp.11–22.
- Marin, F.R. et al., 2012. Climate change impacts on sugarcane attainable yield in southern Brazil. *Climatic Change*, 117(1-2), pp.227–239.
- Rao, V.B. & Hada, K., 1990. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. *Theoretical and Applied Climatology*, 42(2), pp.81–91.
- Roehrig, R. et al., 2013. The present and future of the West African monsoon: a process-oriented assessment of CMIP5 simulations along the AMMA transect. *Journal of Climate*, (2013).
- Silveira, C. da S. et al., 2012. Sazonalidade da Precipitação Sobre o Nordeste Setentrional Brasileiro nas Simulações do IPCC-AR4. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17(3), pp.125–134.
- Silveira, C. da S., Filho, F. de A. de S. & Lázaro, Y.M.C., 2013. Avaliação de Desempenho dos Modelos de Mudança Climática do IPCC-AR4 Quanto a Sazonalidade e os Padrões de Variabilidade Interanual da Precipitação Sobre o Nordeste do Brasil, Bacia do Prata e Amazônia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(1), pp.177–194.
- Souza, E.B., Kayano, M.T. & Ambrizzi, T., 2004. The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19(2), pp.113–122.
- Taylor, K.E., Stouffer, R.J. & Meehl, G.A., 2012. An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), p.485.
- Valverde, M.C. & Marengo, J.A., 2010. Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(1), pp.125–145.
- Yin, L. et al., 2012. How well can CMIP5 simulate precipitation and its controlling processes over tropical South America? *Climate Dynamics*.