

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ANÁLISE DE PROJEÇÕES DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE O REGIME DE PRECIPITAÇÃO NAS BACIAS DO SISTEMA JAGUARIBE, CEARÁ, BRASIL

Greicy Kelly da Silva¹; Antônio Duarte Marcos Júnior²; Carlos Eduardo de Sousa Lima³; Marx Vinicius Maciel da Silva⁴ & Cleiton da Silva Silveira⁵

RESUMO – O objetivo deste trabalho foi analisar as projeções de precipitação sobre as Bacias Hidrográficas (BHs) Banabuiú, Castanhão e Orós de seis modelos (CSIRO-Mk3-6-0, ICHEC-EC-EARTH, IPSL-CMSA-MR, HadGEM2-ES, MPI-M-ESM e NOAA-GFDL-ESM2M) participantes do Projeto CORDEX. As análises avaliaram a variabilidade, anomalia e tendência das precipitações médias anuais. Considerando ambos cenários no primeiro período (2006-2035), a maioria dos modelos indicaram uma maior possibilidade de redução da precipitação em todas as bacias. O CSIRO-Mk3 foi o único que projetou aumento no cenário RCP8.5. Para o período de 2036 a 2065 e cenário RCP8.5, observou-se uma maior dispersão dos modelos. Um provável aumento da precipitação, foi apontado em maior magnitude pelo IPSL-CMSA-MR nas três bacias. O CSIRO-Mk3 foi o único a indicar redução significativa na precipitação em todas as bacias e ambos cenários, destacando a BH Castanhão (cenário RCP8.5) e a BH Banabuiú (cenário RCP4.5). No terceiro período (2066-2095), a maioria dos modelos apontaram o aumento da precipitação em todas as bacias estudadas e em ambos os cenários. CSIRO-Mk3 sugeriu a diminuição da precipitação para todas as BHs. Todos os modelos mostraram tendências significativas para todas as bacias no cenário RCP8.5.

ABSTRACT– The objective of this work was to analyze the precipitation projections on the Banabuiú, Castanhão and Orós Hydrographic Basins (BHs) of six models (CSIRO-Mk3-6-0, ICHEC-EC-EARTH, IPSL-CMSA-MR, HadGEM2-ES, MPI-M-ESM e NOAA-GFDL-ESM2M) CORDEX Project participants. The analyzes evaluated the variability, anomaly and trend of average annual rainfall. Considering both scenarios in the first period (2006-2035), most models indicated a greater possibility of reducing rainfall in all basins. CSIRO-Mk3 was the only one that projected an increase in the RCP8.5 scenario. For the period from 2036 to 2065 and scenario RCP8.5, a greater dispersion of the models was observed. A probable increase in precipitation was pointed out in greater magnitude by the IPSL-CMSA-MR in the three basins. CSIRO-Mk3 was the only indicate significant reduction in precipitation in all basins and both scenarios, highlighting the Castanhão BH (RCP8.5 scenario) and Banabuiú BH (RCP4.5 scenario). In the third period (2066-2095), most models pointed to increased precipitation in all studied basins and in both scenarios. CSIRO-Mk3 suggested a decrease in precipitation for all BHs. All models showed significant trends for all basins in the RCP8.5 scenario.

Palavras-Chave: CSIRO-Mk3-6-0; sistema jaguaribe; mudanças climáticas.

¹) Doutoranda em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, greicy.silva@alu.ufc.br

²) Mestrando em Ciências Físicas Aplicadas, Universidade Estadual do Ceará, duarte.jr105@gmail.com

³) Mestrando em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, eduardolima@alu.ufc.br

⁴) Doutorando em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, marx.silva@alu.ufc.br

⁵) Professor adjunto, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, cleitonsilveira@ufc.br

INTRODUÇÃO

A água em suas várias formas está sempre em movimento, em um processo complexo conhecido como ciclo hidrológico. O aquecimento global já está tendo um efeito mensurável nesse ciclo, alterando a quantidade, distribuição, época e qualidade da água disponível. Os usuários de água - das comunidades, indústrias e ecossistemas - são afetados, já que suas atividades e funções dependem, direta ou indiretamente, da água. No Nordeste do Brasil (NEB), onde está situada grande parte da região semiárida brasileira, o armazenamento de água é um importante fator para garantir a sobrevivência nesta região.

Estudos voltados para as mudanças climáticas, que identificam e avaliam como o globo pode ser afetado por alterações e variabilidade do clima, têm sido de extrema importância para o gerenciamento de possíveis riscos climáticos, pois subsidiam a elaboração de planos mitigadores aos impactos gerados (SILVEIRA *et al.*, 2018). O uso de técnicas (downscaling dinâmico, por exemplo) que regionalizam a escala de dados provenientes de Modelos Climáticos Globais (MCGs), tem assistido diversos estudos que até então necessitavam de informações de escala regional/local (SALES *et al.*, 2015). O Projeto *Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment* (CORDEX) oferece projeções globais oriundas de modelos participantes do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) sobre alguns domínios, abordando uma metodologia padronizada de experimentos de downscaling dinâmico em escala regional (GIORGI; JONES; ASRAR, 2009; GUIMARÃES *et al.*, 2016).

Utilizando dados do Projeto CORDEX, Guimarães *et al.* (2016), Sales *et al.* (2015), Reboita *et al.* (2014) e Da Rocha *et al.* (2014), investigaram o clima atual e futuros cenários climáticos utilizando diferentes Modelos Climáticos Regionais (MCRs) para o Nordeste do Brasil (NEB), regiões Norte e Sul do NEB, América do Sul (AS) e AS, respectivamente. Em um estudo mais recente, DA SILVA *et al.* (2020) utilizaram nove modelos participantes do Projeto CORDEX a fim de obter informações acerca dos possíveis impactos no regime dos campos de precipitação e temperatura para o século XXI e nas 12 regiões hidrográficas brasileiras. Na análise das anomalias e tendências, os autores constataram a projeção do aumento da temperatura em todas as regiões em ambos os cenários. Verificou-se também que a precipitação também pode aumentar em algumas regiões hidrográficas. A mediana das anomalias sugeriu aumentos entre 10% e 30% no Atlântico Leste, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Nordeste Oriental, Paraguai, Parnaíba, Tocantins-Araguaia e São Francisco. Anomalias negativas foram identificadas no Sudeste e principalmente no Sul do Brasil, indicando reduções na precipitação. Todos os modelos apresentaram tendência positiva significativa para a

temperatura em ambos cenários e todas as regiões. A maior e menor tendência de aquecimento foram observadas no Norte e no Sul do país, respectivamente. No cenário RCP8.5, a anomalia da temperatura apontou aumento de até 1.58 °C na região hidrográfica amazônica.

Nesse contexto, o crescimento nos estudos dos processos hidrológicos em bacias hidrográficas é de grande importância para os órgãos do governo e sociedade, pois servem de suporte quanto ao uso das informações para o gerenciamento de reservatórios, principalmente em regiões que, naturalmente, possuem grande variabilidade pluviométrica e, ao longo dos anos, vem sofrendo com períodos prolongados de estiagem – como é o caso do NEB, onde localiza-se o Estado do Ceará.

Dessa forma, o processo de quantificação dos riscos associados às mudanças climáticas, possibilita tomadas de decisões de forma a minimizar tais eventos, diminuindo o grau de vulnerabilidade dessas regiões. Nesse contexto, um dos principais sistemas hídricos do Ceará é o que atende a Bacia do Rio Jaguaribe (Alto, Médio e Baixo Jaguaribe, Banabuiú e Salgado). A fim de obter informações acerca dos possíveis impactos no regime dos campos de precipitação, devido ao aumento das emissões dos gases de efeito estufa, nas Bacias Hidrográficas (BHs) do Banabuiú, Castanhão e Orós, este trabalho teve como objetivo analisar as projeções resultantes dos modelos participantes do Projeto CORDEX, considerando os cenários RCP4.5 e RCP8.5 para o século XXI.

MATERIAL E MÉTODOS

Região de estudo

A área de estudo compreende as Bacias Hidrográficas do Rio Banabuiú, Açude Castanhão e Açude Orós (doravante denominadas BH Banabuiú, BH Castanhão e BH Orós, respectivamente) – a Figura 1 apresenta o mapa de localização da região de estudo. A BH Banabuiú drena uma área de 19.647 km² (de acordo com os censos demográficos realizados em 2000 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/ Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará). Essa bacia engloba 17 açudes monitorados, o que lhe confere o maior nível de açudagem entre todas as regiões hidrográficas do Jaguaribe, sendo o açude Banabuiú a terceira reserva hídrica mais importante da grande bacia do Jaguaribe. O total acumulado é de 2.755.909.000 m³ (CEARÁ, 2018). Conforme Ceará (2018) o Açude Castanhão e sua bacia hidrográfica localizam-se na região semiárida setor sudoeste do Estado do Ceará. Sua bacia tem 20.069,9 km² e é uma das cinco sub-bacias que compõem a grande bacia do Jaguaribe: Sub-Bacia do Médio Jaguaribe – que drena uma área de 10.335 km², possui capacidade de acumulação de 6.860.905.600 m³ e possui o rio Jaguaribe como de maior expressão nesta bacia. A BH Orós abrange uma área de drenagem de 24.639 km², o que corresponde

a 16,56% do território cearense. Localizada a montante do açude Orós, a bacia é composta por 24 municípios e apresenta a capacidade de acumulação de águas superficiais de 2.792.563.000 m³. Possui como maior reservatório em acumulação o Açude Orós, que comporta até 1.940.000.000 de m³ (CEARÁ, 2018). Compondo o maior sistema de água de interesse do Estado do Ceará, as BHs Banabuiú, Castanhão e Orós fazem parte das sub-bacias do rio Jaguaribe – Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe e Banabuiú – e somam juntos uma capacidade de acumulação de 10.241 hm³ (SILVA; SOUZA FILHO; AQUINO, 2017).

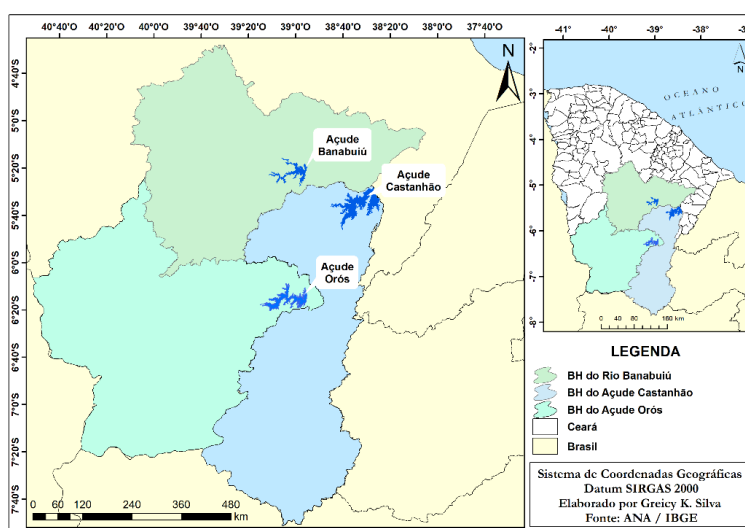


Figura 1 – Localização das Bacias Hidrográficas do Rio Banabuiú e Açudes Castanhão e Orós

Dados utilizados

Este trabalho utilizou dados mensais do campo de precipitação (variável pr) obtidos de seis modelos climáticos globais (CSIRO-Mk3-6-0, ICHEC-EC-EARTH, IPSL-CMSA-MR, HadGEM2-ES, MPI-M-ESM e NOAA-GFDL-ESM2M) que atuaram como condição de contorno no processo de downscaling dinâmico para o modelo regional sueco *Rosby Centre regional atmospheric model* (RCA4) pelo CORDEX, obtendo simulações mais refinadas e com resolução espacial de $0,44 \times 0,44^\circ$.

As simulações tiveram como domínio a área da América do Sul (SAM-44), e foram calculadas as médias espaciais dos resultados para cada ponto de grade, sendo esta obtida por meio da interpolação bilinear da grade original de SAM-44 sobre cada bacia estudada. A base de dados compreende as séries mensais de 1951 a 2005 (período de referência), e de 2006 a 2100 foi o período considerado para as projeções. Estas abrangeram o cenário intermediário RCP4.5 e o cenário de emissões muito altas de GEEs, o RCP8.5 (STOCKER *et al.*, 2013). Utilizou-se também a base de

dados observados proveniente do *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC) obtida a partir do sítio de dados <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcc.html> (NEW; HULME; JONES, 1999). O conjunto de dados usado corresponde à climatologia de precipitação de 1891 a 2016, em uma grade regular com resolução espacial de 0,5°.

Uma correção estatística via *Cumulative Distribution Function* (CDF) gama com o mapeamento da probabilidade foi realizada nas séries temporais mensais de precipitação dos modelos provenientes do Projeto CORDEX, de forma a corrigir as saídas dos modelos climáticos para produzir campos internamente consistentes que tenham a mesma distribuição de intensidade estatística das observações. Para mais informações sobre o método de correção estatística através do CDF gama, consultar Fang *et al.* (2015).

Análise de tendência e variabilidade das séries temporais observadas e modeladas

Para o cálculo da variabilidade sazonal utilizou-se a média mensal das séries históricas de precipitação observada e projetada.

Na análise das projeções, realizou-se o cálculo da anomalia da média anual (A_{anual}) da precipitação através da equação 1:

$$A_{\text{anual}} = \frac{(P_{\text{XXI}}^a - P_{\text{XX}}^a)}{P_{\text{XX}}^a} \cdot 100 \quad (1)$$

em que P_{XXI}^a é a média da precipitação anual para o cenário do século XXI e P_{XX}^a é a média da precipitação anual para o cenário histórico. O teste não paramétrico de Mann-Kendall-Sen foi utilizado para verificar tendências nas séries de precipitação. Mais informações dos métodos abordados e suas respectivas equações ver trabalho de DA SILVA *et al.* (2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise da Variabilidade das séries históricas

A Figura 2 apresenta o gráfico boxplot da precipitação média anual, considerando a série de dados do GPCC, para o período de 1891 a 2016, em todas as bacias hidrográficas estudadas. Precipitações consideradas como discrepantes (outliers) são observadas nas três bacias, mas principalmente nas BHs Banabuiú e Orós, nas quais os eventos mais atípicos se aproximaram dos 1511.50 mm e 1519.6 mm, respectivamente.

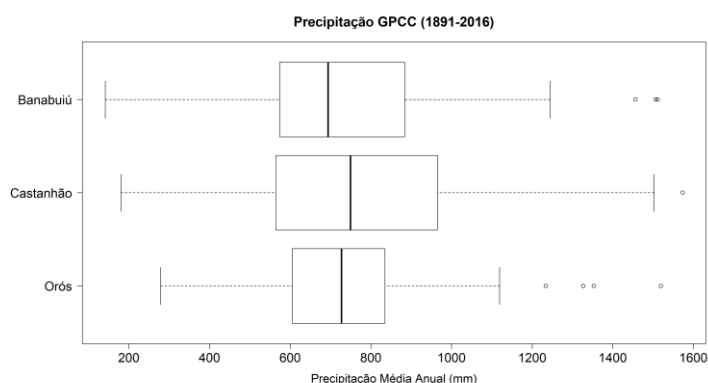


Figura 2 – Gráfico boxplot da precipitação média anual, considerando a série de dados do GPCC, para o período de 1891 a 2016.

Identifica-se também uma assimetria positiva para os totais anuais de precipitação, uma vez que a média anual se apresentou superior à mediana em todas as bacias estudadas. As BHs do Banabuiú e Castanhão detiveram a menor e maior mediana, respectivamente, o que indica que 50% dos seus dados foram representados por uma precipitação de 694.1 mm e 749.6 mm, respectivamente. Dentre as três bacias analisadas, a BH Castanhão apresentou maior variabilidade interanual. De outra forma, a BH Orós apresentou baixa variabilidade, o que talvez demonstre uma estabilidade no clima da região desta bacia.

As Figuras 3a, 3b e 3c mostram as séries climatológicas de precipitação para o período de 1891-2016 (GPCC) e 1951-2005 (CORDEX) para as BHs Banabuiú, Castanhão e Orós, respectivamente.

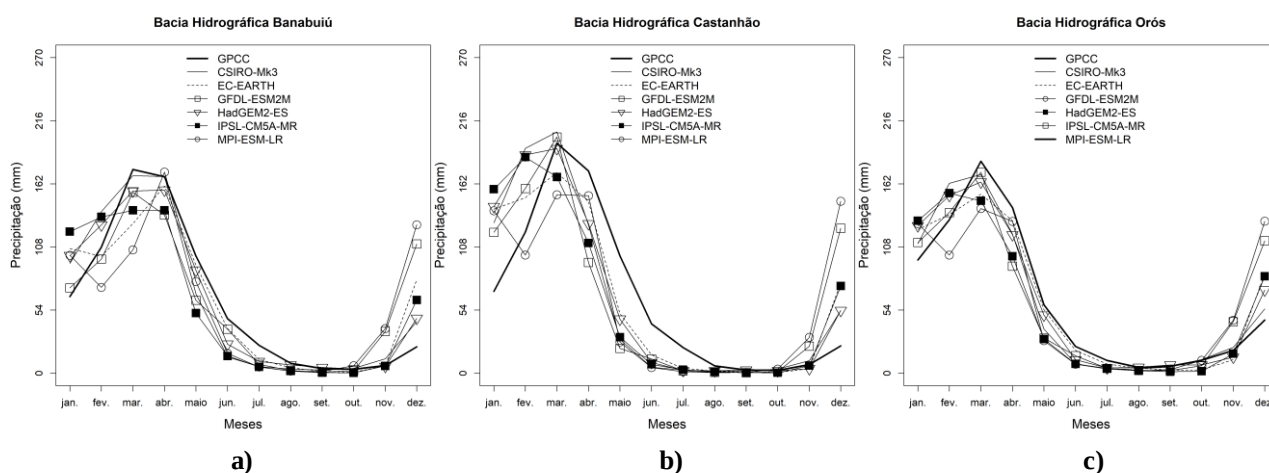


Figura 3 – Climatologia da precipitação para o período de 1891-2016 (GPCC) e 1951-2005 (CORDEX) para as BHs a) Banabuiú; b) Castanhão e c) Orós

De acordo com as figuras os modelos do CORDEX, convergiram razoavelmente quanto à quantidade de precipitação observada pelo GPCC na maioria das bacias e preferencialmente nos meses mais secos: de agosto a outubro. As séries apresentam uma baixa variabilidade no segundo semestre, que em geral compreende o período seco do Estado. Características que em suma, associa-

se ao período característico da influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que é o principal sistema atmosférico influenciador das chuvas atuante sobre o norte do NEB/CE (REBOITA; SANTOS, 2014). De modo geral, foi na BH Orós que a maioria dos modelos melhor representaram a climatologia observada, subestimando-a, no entanto, nos meses de janeiro a junho, que correspondem ao semestre chuvoso. Observa-se nas climatologias de precipitação uma sazonalidade semelhante, apresentando o pico anual nos meses de março (Castanhão e Orós) e de abril (Banabuiú). As maiores divergências entre os modelos quanto à quantidade precipitada foram notadas na BH do Castanhão, em que os modelos não conseguiram representar a sazonalidade, também no período de chuvas. O modelo CSIRO-Mk3 foi o que melhor representou satisfatoriamente a precipitação observada, entretanto a subestimou na maioria das regiões estudadas.

Cenários de precipitação

A Figura 4 mostra as anomalias de precipitações anuais dos modelos do CORDEX nos períodos de 2006 a 2035, 2036 a 2065 e 2066 a 2095, para as BHs do Banabuiú (4a e 4d, cenários RCP4.5 e RCP8.5 respectivamente) Castanhão (4b e 4e, cenários RCP4.5 e RCP8.5 respectivamente) e Orós (4c e 4f, cenários RCP4.5 e RCP8.5 respectivamente).

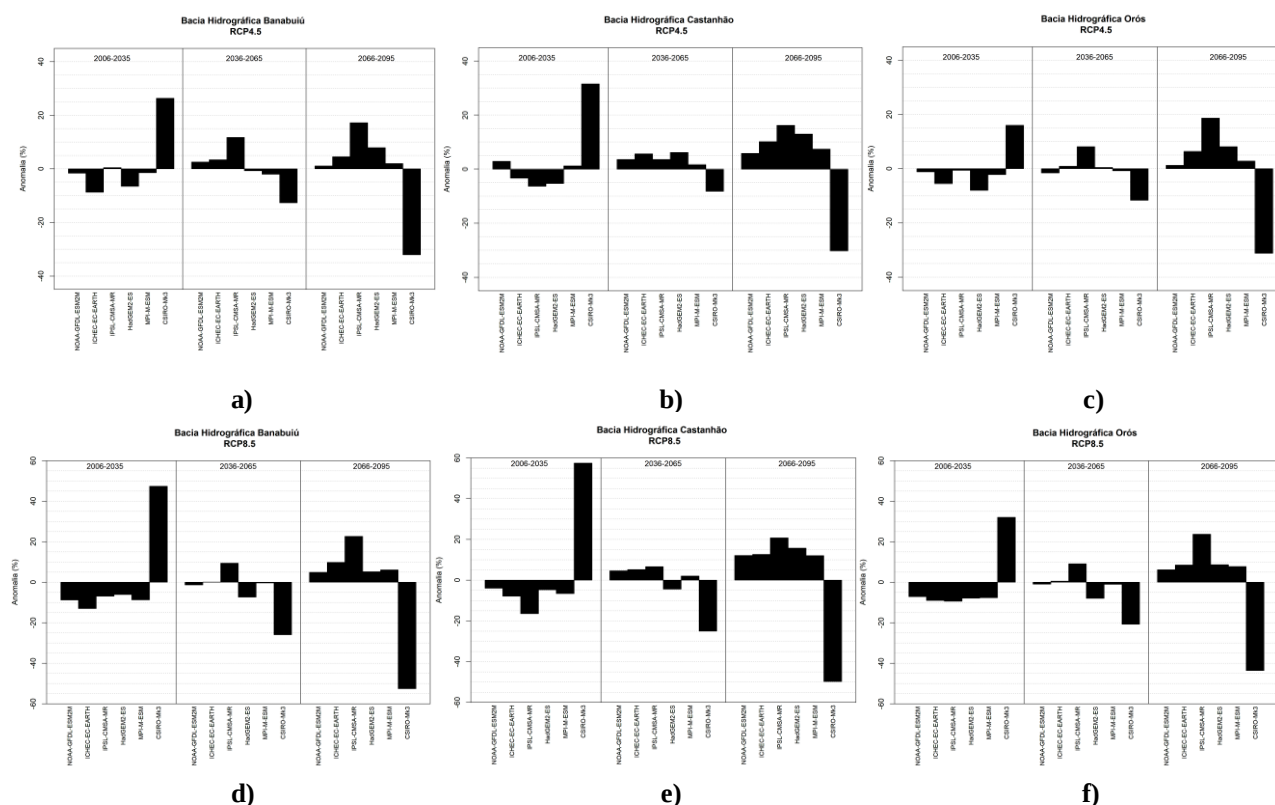


Figura 4 – Anomalias de precipitações anuais dos modelos do CORDEX para o cenário RCP4.5 para as bacias a) Banabuiú; b) Castanhão; c) Orós e para o cenário RCP8.5 para as bacias e) Banabuiú; f) Castanhão e g) Orós

Os modelos do CORDEX indicam projeções com reduções mais intensas de precipitação no cenário RCP8.5 do que o cenário RCP4.5 nos três períodos. Considerando ambos cenários para o primeiro período (2006-2035), a maioria dos modelos indicaram uma maior possibilidade de redução em todas as bacias. O modelo CSIRO-Mk3 foi o único que projetou o aumento da precipitação em todas as bacias no cenário RCP8.5.

Destaca-se a intensidade da precipitação na BH Castanhão, com magnitude acima de 50. Para o período de 2036 a 2065 e sob a ótica do cenário RCP8.5, observou-se uma maior dispersão dos modelos o que pode ser explicado pelo aumento das incertezas das projeções com o passar do tempo. Já um provável aumento da precipitação, foi apontada em maior magnitude pelo modelo IPSL-CMSA-MR nas três bacias, alcançando seu maior módulo na BH do Banabuiú (RCP8.5) e em apenas duas (Banabuiú e Orós) no cenário RCP4.5. Desta vez, o modelo CSIRO-Mk3 foi o único a indicar redução significativa na precipitação em todas as bacias e ambos cenários, destacando mais uma vez a BH do Castanhão (no cenário RCP8.5) e a BH do Banabuiú (no cenário RCP4.5). No terceiro período (2066 a 2095), a maioria dos modelos apontam o aumento da precipitação em todas as bacias estudadas e em ambos os cenários analisados. De outra forma, o modelo CSIRO-Mk3 sugeriu a diminuição da precipitação para todas as BHs, com destaque para a do Banabuiú que indicou redução abaixo de 50% (RCP8.5) e 30% (RCP4.5). Assim como observado no segundo período, o modelo IPSL-CMSA-MR sugeriu, em ambos cenários, as maiores projeções de aumento, e de maior intensidade na BH do Orós.

A Figura 5 mostra a tendência Mann-Kendall Sen da série temporal de precipitação dos modelos do CORDEX.

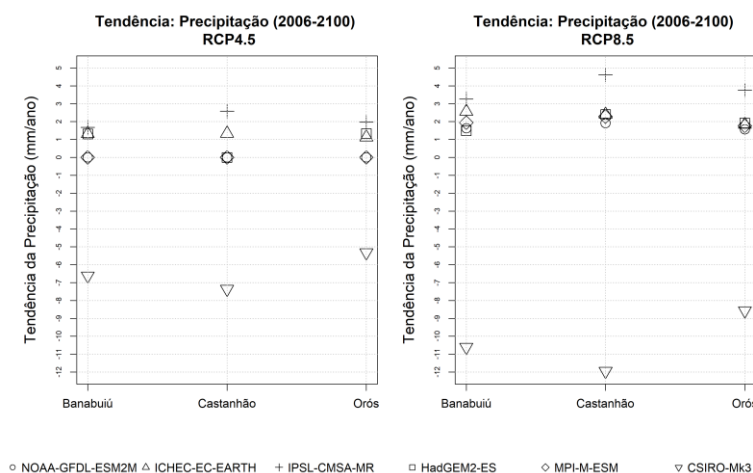


Figura 5 – Tendência da precipitação, segundo Man-Kendall Sen, para o período de 2006 a 2100 para os cenários RCP4.5 e RCP8.5 nas BHs do Banabuiú, Castanhão e Orós

Os modelos NOAA-GFDL-ESM2M e MPI-M-ESM não identificaram tendências para a precipitação no cenário RCP4.5. O modelo CSIRO-Mk3 apontou a maior redução na BH Castanhão no cenário RCP8.5. O modelo CSIRO-Mk3 também se mostrou pessimista, no estudo de Guimarães *et al.* (2016), o que apontou um possível surgimento de uma extensa área hiperárida em algumas regiões do Ceará, no Nordeste do Brasil. Todos os modelos mostraram tendências significativas para todas as bacias no cenário RCP8.5. Com exceção dos modelos NOAA-GFDL-ESM2M e MPI-M-ESM, os demais também mostram tendências com significância estatística nas três bacias analisadas para o cenário RCP4.5.

CONCLUSÃO

As análises propostas pelo presente estudo visaram identificar padrões de projeções para a precipitação nas BH Óros, Banabuiú e Castanhão dos impactos associados com as mudanças climáticas dos modelos do CORDEX para os cenários RCP4.5 e RCP8.5.

A possível redução da disponibilidade hídrica nas BHs estudadas mostrada neste estudo, evidencia possíveis impactos pelos conflitos entre usos múltiplos, uma possível desaceleração da economia por causa da redução hídrica e para a agricultura e a indústria, bem como o desabastecimento de cidades. A partir daí, recomenda-se o planejamento dos recursos hídricos de modo a intensificar investimentos referentes a escassez hídrica, já que se trata de clima semiárido.

REFERÊNCIAS

- CEARÁ. Secretaria de Recursos Hídricos. (2018a). “*Sub-Bacia Hidrográfica do Banabuiú Características Gerais*”.
- _____. Secretaria de Recursos Hídricos. (2018b). “*Sub-Bacia Hidrográfica do Médio Jaguaribe Características Gerais*”.
- _____. Secretaria de Recursos Hídricos. (2018c). “*Sub-Bacia Hidrográfica do Alto Jaguaribe Características Gerais*”.
- DA ROCHA, R. P.; REBOITA, M. S.; DUTRA, L. M. M.; LLOPART, M. P.; COPPOLA, E. (2014). “*Interannual variability associated with ENSO: present and future climate projections of RegCM4 for South America-CORDEX domain*”. Climatic Change 125(1), pp. 95–109.
- DA SILVA, G.; SILVEIRA, C.; SILVA, M.; MARCOS JÚNIOR, A.; SOUZA FILHO, F.; GUIMARÃES, S. (2020). “*Análise de projeções das mudanças climáticas sobre precipitação e temperatura nas regiões hidrográficas brasileiras para o século XXI*”. Revista Brasileira

de Ciências Ambientais (Online), pp. 1-17.

FANG, G. H.; YANG, J.; CHEN, Y. N.; ZAMMIT, C. (2015). “Comparing bias correction methods in downscaling meteorological variables for a hydrologic impact study in an arid area in China”. *Hydrology and Earth System Sciences* 19(6), pp. 2547-2559.

GIORGI, F.; JONES, C.; ASRAR, G. (2009). “Addressing climate information needs at the regional level: The CORDEX framework”. *WMO Bulletin* 58(3), pp. 175-183.

GUIMARÃES, S. O.; COSTA, A. A.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. C.; SILVA, E. M.; SALES, D. C.; ARAÚJO JÚNIOR, L. M.; SOUZA, S. G. (2016). “Projeções de Mudanças Climáticas sobre o Nordeste Brasileiro dos Modelos do CMIP5 e do CORDEX”. *Revista Brasileira de Meteorologia* 31(3), pp. 337–365.

NEW, M., HULME, M., JONES, P. D. (1999). “Representing Twentieth-Century space-time climate variability. Part 1: Development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology”. *Journal of Climate* 12, pp. 829-856.

REBOITA, M. S.; FERNANDEZ, J. P. R.; PEREIRA LLOPART, M.; PORFIRIO DA ROCHA, R.; ALBERTANI PAMPUCH, L.; CRUZ, F. T. (2014). “Assessment of RegCM4.3 over the CORDEX South America domain: sensitivity analysis for physical parameterization schemes”. *Climate Research* 60(3), pp. 215–234.

SALES, D. C.; COSTA, A. A.; SILVA, E. M.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. C.; CAVALCANTE, A.M. B.; MEDEIROS, S. S.; MARIN, A. M. P.; GUIMARÃES, S. O.; ARAÚJO JUNIOR, L. M.; PEREIRA, J. M. R. (2015). “Projeções de mudanças na precipitação e temperatura no Nordeste brasileiro utilizando a técnica de downscaling dinâmico”. *Revista Brasileira de Meteorologia* 30(4), pp. 435-456.

SILVA, S. M. O.; SOUZA FILHO, F. A.; AQUINO, S. H. S. (2017). “Avaliação do risco da alocação de água em período de escassez hídrica: o caso do sistema jaguaribe-metropolitano”. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 22(4), pp. 749-760.

SILVEIRA, C.S.; SOUZA FILHO, F.A.; VASCONCELOS JUNIOR, F.C.; ARAUJO JUNIOR, L.M.; CABRAL, S.L. (2018). “Mudanças climáticas e o setor hidroelétrico brasileiro: uma análise com base em modelos do IPCC-AR5”. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* (47), pp. 46-60.

STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, ed. Cambridge University Press, Cambridge, 1535 p.

AGRADECIMENTOS

Aos colegas coautores e ao Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.