

AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO SIMULADA PELOS MODELOS ETA/HADGEM2-ES E ETA/MIROC5 PARA O BRASIL

André Almagro^{1*} e Paulo Tarso S. Oliveira²

1. Doutorando do PPGTA da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

2. Professor e pesquisador do PPGTA-UFMS/Orientador

Resumo

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Brasil, disponibilizou um grande conjunto de dados de simulações e projeções climáticas regionais, abrindo diversas possibilidades para a realização de estudos sobre mudanças climáticas no país, em alta resolução. No entanto, ainda não há avaliação de desempenho dos produtos de precipitação do modelo, em relação a dados pluviométricos de alta resolução em escala mensal e sazonal de longo prazo para os biomas brasileiros. Este trabalho visa preencher essa lacuna científica, avaliando a precipitação simulada em todo o Brasil. Foram utilizados dados de precipitação observados e simulações históricas dos modelos climáticos globais (GCM) Model for Interdisciplinary Research on Climate, versão 5 (MIROC5) e Hadley Center Global Environment Model, versão 2 (HadGEM2-ES), que foram reescalados pelo modelo climático regional (RCM) Eta. No período de sobreposição (1980-2005), nossos resultados indicam boa concordância de simulações para os biomas Amazônia e Cerrado e grandes vieses no bioma Pampa. Nossos resultados mostraram que o modelo global HadGEM2-ES é capaz de representar bem a precipitação média mensal de longo prazo para grandes áreas, como a Amazônia e o Cerrado, e que o Eta/MIROC5 melhorou consideravelmente as simulações do GCM MIROC5 nos biomas. Nosso estudo fornece uma visão geral da qualidade das duas simulações climáticas regionais no Brasil que podem ajudar a verificar a confiabilidade dos modelos. Mostramos que essas simulações possuem vieses consideráveis que devem ser corrigidos para aplicações hidrológicas e avaliações de impacto das mudanças climáticas. Quando corretamente utilizadas, as simulações do clima atual e as projeções das mudanças climáticas fornecem uma base de suporte ao planejamento, aumentando a resiliência e diminuindo a vulnerabilidade ambiental, social e econômica do país.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; chuva; INPE.

Apoio financeiro: CAPES.

Introdução

Os efeitos das mudanças climáticas têm impactos socioeconômicos e ambientais significativos em todo o mundo (Hansen e Cramer, 2015). No Brasil, eventos hidrometeorológicos mais severos e frequentes, que ameaçam a disponibilidade de água e produção agrícola, são esperados (PBMC, 2013). Para um efetivo planejamento e mitigação, projetar com precisão as mudanças no clima é essencial, mas ainda desafiador para a comunidade científica (McNutt, 2013).

Projeções climáticas são produzidas por Modelos de Circulação Geral (GCMs), que simulam a dinâmica dos sistemas terrestres (IPCC, 2013), que são uma das ferramentas científicas mais avançadas em simular o clima em resposta a variações da concentração de gases do efeito estufa (Mello et al., 2015). No entanto, os GCMs possuem resolução espacial grosseira para avaliações de impacto e, para escalas regionais, as projeções dos GCMs são refinadas por Modelos Climáticos Regionais (RCMs) (Giorgi, 1990; Maraun et al., 2017). No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desenvolveu produtos de *downscaling* com o RCM Eta, sob os cenários RCP 8.5 e 4.5 dos GCMs HadGEM2-ES e MIROC5, em apoio a estudos estratégicos de mudanças no clima e ao Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas.

Para aumentar a confiabilidade das projeções, é necessário avaliar as simulações em relação às observações históricas. No entanto, não há validação adequada desses dados em escalas de médias mensais e sazonais de longo prazo no Brasil. Chou et al. (2014) desenvolveram e avaliaram os produtos Eta/HadGEM2-ES e Eta/MIROC5 na América do Sul, utilizando médias mensais e sazonais de precipitação contra um conjunto de dados com resolução grosseira do conjunto CRU TS 2.1 (Mitchell e Jones, 2005). No entanto, os autores usaram uma divisão geográfica atípica que agrega regiões com diferentes padrões climáticos.

Acreditamos que adotando os biomas como divisão para avaliar as simulações de precipitação, resultados mais adequados serão produzidos, pois os biomas são áreas com clima e vegetação similares e uniformes (Brown e Maurer, 1989). Assim, nosso objetivo é avaliar o desempenho dos produtos Eta/HadGEM2-ES e Eta/MIROC5 em representar a precipitação média mensal e sazonal nos biomas brasileiros.

Metodologia

Nós utilizamos dados pluviométricos do RCM Eta, disponibilizado pelo INPE, aninhado a dois GCMs diferentes: HadGEM2-ES e MIROC5. O baseline é o período 1961-2005. O conjunto de dados do INPE foi desenvolvido com resolução espacial de 0,20°x0,20° para a América do Sul e forçados por dois RCP diferentes (RCP4.5 e RCP8.5). Para verificar possíveis incrementos das simulações regionalizadas, também analisamos a

precipitação dos GCMs HadGEM2-ES e MIROC5. Para avaliar os dados de precipitação simulados, os comparamos com dados observados, em grade regular com resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, produzidos por Xavier et al. (2015). O conjunto de dados é derivado de ~4.000 pluviômetros, com monitoramento de 1980 a 2013. Esse produto tem resolução espacial consideravelmente maior e é proveniente de uma rede de estações muito maior em relação a outros produtos disponíveis. Mesmo assim, não podemos ignorar o fato de que as estações pluviométricas não estão igualmente distribuídas nos biomas e os métodos de interpolação para gerar a grade observacional contém incertezas associadas que podem causar impacto em nossos resultados, especialmente para o bioma Amazônia, que possui a menor densidade de estações no Brasil.

Para avaliar a performance e qualidade dos dados simulados de precipitação, em relação ao conjunto de dados observados, nós utilizamos as seguintes métricas estatísticas: erro médio (MBE), erro médio percentual (PBIAS) e coeficiente de correlação (CC).

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (1)$$

$$PBIAS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i - O_i}{O_i} * 100 \right) \quad (2)$$

$$CC = \frac{n(\sum_{i=1}^n P_i O_i) - (\sum_{i=1}^n P_i)(\sum_{i=1}^n O_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n P_i^2 - (\sum_{i=1}^n P_i)^2][n \sum_{i=1}^n O_i^2 - (\sum_{i=1}^n O_i)^2]}} \quad (3)$$

onde P_i é a precipitação média de longo prazo simulada, O_i é a precipitação média de longo prazo observada correspondente, e n é o tamanho da amostra para cada bioma.

Nós realizamos uma análise espacial calculando o MBE e o CC para todo o Brasil. Para melhor sintetizar nossos resultados, analisamos posteriormente, os biomas Amazônia (AMZ), Mata Atlântica (MAT), Caatinga (CAA), Cerrado (CER), Pampa (PAM) e Pantanal (PAN). Consideramos a precipitação média mensal de longo prazo de cada ponto que pertence a um bioma para calcular o PBIAS do respectivo bioma. Analisamos o período de sobreposição de 1980-2005. Como as simulações e observações têm diferentes resoluções espaciais, cada ponto de simulação foi comparado com o ponto de observação mais próximo. O mesmo procedimento foi aplicado à precipitação sazonal média de longo prazo (dezembro, janeiro e fevereiro - DJF; março, abril e maio - MAM; junho, julho e agosto - JJA; e setembro, outubro e novembro - SON). Para avaliar a confiabilidade dos modelos para representar as estações seca e chuvosa, seguimos a definição de que meses secos são aqueles com precipitação acumulada menor que 100mm (Myneni et al., 2007).

Resultados e Discussão

O Eta/HadGEM2-ES subestima a precipitação média mensal na estação chuvosa e superestima na estação seca. Por outro lado, o HadGEM2-ES superestima as médias para o período chuvoso e subestima as médias das estações secas. Para grandes áreas, como a Mata Atlântica, a Amazônia, e o Cerrado, as médias das simulações do GCM estão mais próximas das observações do que as simulações do RCM. Nos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal, o Eta/HadGEM2-ES apresenta maior viés negativos durante a estação chuvosa, que chegam a quase -50%. Para os biomas Cerrado e Pantanal, com estações bem definidas, o Eta/HadGEM2-ES simulou a estação seca com dois meses a mais do que o observado, enquanto o GCM correspondete as simulou com precisão. Na Amazônia, com uma estação seca muito curta (três meses), a estação seca não foi simulada por nenhum dos modelos. No bioma Pampa, onde não há estação seca definida, o modelo HadGEM2-ES foi capaz de simular essa característica, mas, ao mesmo tempo, produziu erros consideráveis em DJF e SON. Na Caatinga, o modelo superestimou apenas um mês da estação chuvosa e subestimou o restante do regime de chuvas.

A precipitação média mensal simulada pelo Eta/MIROC5 é superestimada na estação chuvosa e subestimada na estação seca nos biomas Mata Atlântica e Caatinga, enquanto no Cerrado e no Pantanal, o padrão oposto é observado. Em relação ao GCM MIROC5, o downscaling melhorou as simulações de precipitação, mostrando um claro benefício na aplicação do modelo regional. As médias da Amazônia são subestimadas em todos os meses do ano, mas os valores estão mais próximos da média observacional do que os simulados pelo Eta/HadGEM2-ES. A pior simulação foi realizada para o bioma Pampa, onde os modelos não conseguiram representar a ausência de estação seca. Além disso, as simulações para este bioma têm o maior viés em relação as observações. Em geral, o Eta/MIROC5 pôde capturar as estações chuvosa e seca, exceto no bioma Pampa. Finalmente, o Eta/MIROC5 é geralmente mais seco do que o GCM condutor na estação chuvosa e mais úmido na estação seca.

Em termos de sazonalidade, para quase todos os biomas, o Eta/HadGEM2-ES é mais seco que o GCM correspondente na estação chuvosa, mas o comportamento mais chuvoso na estação seca é menos óbvio do que para o Eta/MIROC5. Em geral, o Eta/HadGEM2-ES subestima a precipitação em DJF e MAM, enquanto em JJA e SON há superestimativas na Amazônia, Mata Atlântica e Pampa. Todas as estações da Caatinga foram subestimadas por este modelo. Por outro lado, o Eta/MIROC5 subestima a precipitação em todas as estações do ano na Amazônia e no Pampa. As superestimações foram simuladas para MAM, JJA e SON para o Cerrado, DJF e MAM para Caatinga, JJA e SON para o Pantanal e em todas as estações para a Mata Atlântica, com menores superestimações na estação seca. O Eta/MIROC5 mostra melhorias consideráveis dos vieses de precipitação em comparação com o GCM correspondente para todas as estações e biomas. Essas melhorias foram mais distintas do que para o Eta/HadGEM2-ES, onde as melhorias foram restritas a algumas combinações de estação/bioma.

Os vieses nas simulações dos modelos têm três possíveis razões: a) são produzidos pelo GCM; b) são produzidos pelo RCM; ou c) estão relacionados à incerteza nas observações. A Figura 1 nos dá algumas

percepções sobre isso. As simulações do HadGEM2-ES e Eta/HadGEM2-ES apresentam viés negativo no oeste da Amazônia e no sul da Mata Atlântica e viés positivos na região nordeste dos biomas Mata Atlântica e Caatinga. Por sua vez, observamos vieses positivos na parte norte da Amazônia, no sul da Mata Atlântica e em todo o bioma Pampa, e fortes vieses negativos no Cerrado e na parte central da Mata Atlântica. Estes provavelmente estão relacionados a vieses inerentes ao GCM, que foram carregados GCM para o RCM por meio das condições de contorno lateral (Ehret et al., 2012; Xu e Yang, 2015). O erro médio estimado para o Pantanal é negativo para as simulações de GCM e positivo para as simulações de RCM. Este tipo de erro podem ser explicados pelo processo de downscaling. Segundo Chou et al. (2014b), o RCM Eta é adequado para regiões com topografia acidentada, o que não é o caso do bioma Pantanal. Observamos erros no extremo norte do Brasil para todas as simulações de GCM/RCM. Esse viés claramente está relacionado à incerteza das observações, visto que a região Norte possui a menor densidade de dados pluviométricos do Brasil.

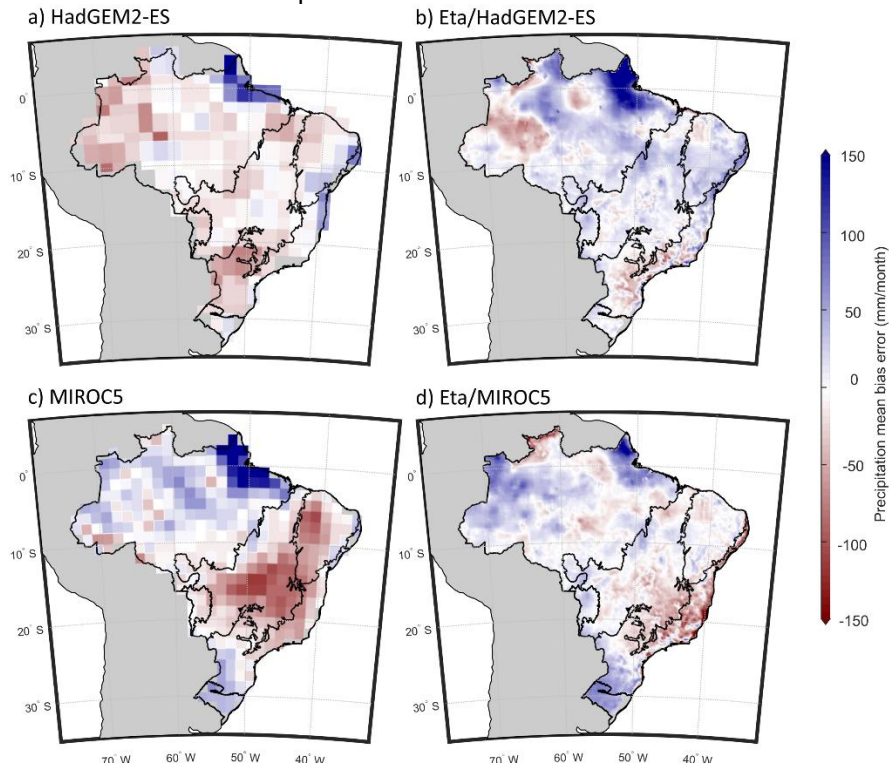


Figura 1. Erro médio das simulações de precipitação do: a) HadGEM2-ES; b) Eta/HadGEM2-ES; c) MIROC5; e d) Eta/MIROC5 para o período 1980-2005.

Como mostramos acima, não é uma regra que o procedimento de downscaling forneça valores mais adequados de precipitação. O GCM HadGEM2-ES mostrou-se mais adequado que o Eta/HadGEM2-ES para os biomas maiores, como a Amazônia e o Cerrado. Ao mesmo tempo, o Eta/MIROC5 melhorou as médias mensais para quase todos os biomas e, consequentemente, os totais anuais. Para o bioma Pampa, apenas a família HadGEM2-ES foi capaz de simular a precipitação em níveis aceitáveis. Esses resultados devem ser considerados quando as projeções desses modelos forem usadas.

Conclusões

Neste trabalho, avaliamos o desempenho dos dados de precipitação do RCM Eta, aninhado a dois GCMs (Eta/HadGEM2-ES e Eta/MIROC5). Analisamos estatisticamente as médias de longo prazo da precipitação simulada em comparação com dados observados de alta resolução, a fim de analisar a confiabilidade das simulações. Nossa análise foi realizada nos seis principais biomas brasileiros. Avaliamos as simulações de precipitação em termos mensais e sazonais, considerando a separação em estações chuvosa e seca.

Para a análise de média mensal de longo prazo, o HadGEM2-ES simulou corretamente as estações chuvosa e seca em todos os biomas, enquanto o Eta/HadGEM2-ES não conseguiu identificar as transições entre estas estações nos biomas Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga e Pantanal. Esse resultado expressa a confiabilidade potencial do GCM em simular termos médios de precipitação em grandes áreas. Os GCMs exigem menor tempo e esforço computacional para processar dados de longo prazo para grandes áreas do que os RCMs e, neste caso, o HadGEM2-ES apresenta-se como uma alternativa viável para os maiores biomas brasileiros. Por sua vez, o Eta/MIROC5 apresentou grandes melhorias quando comparado ao seu GCM de origem. Na maioria dos casos, o downscaling aproximou as médias simuladas das médias observadas. No bioma Pampa, nenhum modelo conseguiu representar a precipitação média mensal. No entanto, em alguns casos, os vieses embutidos nas simulações do modelo interferiram na identificação e duração das estações chuvosa/seca. A análise sazonal média a longo prazo mostrou que o RCM Eta modifica a magnitude de precipitação, com menor confiabilidade para simular médias em JJA e SON (meses secos).

O desenvolvimento de dados climáticos regionais para o Brasil aumenta a capacidade do país de melhor entender os possíveis impactos das mudanças no clima. No entanto, esses dados devem ser usados com

cautela, pois as simulações apresentam erros sistemáticos. Nossos resultados mostram que os dados Eta/HadGEM2-ES e Eta/MIROC5 para o Brasil têm vários vieses, que se originam dos GCMs, são introduzidos pelo RCM de downscaling e/ou estão relacionados a incertezas nos dados observados. Como esses modelos também projetam o clima futuro, espera-se que esses vieses também estejam presentes nessas projeções e, se não forem corrigidos, qualquer aplicação hidrológica será inviável. Quando corrigidas, as simulações e projeções das mudanças climáticas se tornam uma ferramenta valiosa para aumentar a resiliência e diminuir a vulnerabilidade ambiental, social e econômica.

Referências bibliográficas

- Brown, J. H., & Maurer, B. A. (1989). Macroecology: The Division of Food and Space Among Species on Continents. *Science*, 243.
- Chou, S. C., Lyra, A., Mourão, C., Dereczynski, C., Pilotto, I., Gomes, J., Bustamante, J., Tavares, P., Silva, A., Rodrigues, D., Campos, D., Chagas, D., Sueiro, G., Siqueira, G., & Marengo, J. (2014). Assessment of Climate Change over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. *American Journal of Climate Change*, 03(05), 512–527. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35043>
- Chou, S. C., Lyra, A., Mourão, C., Dereczynski, C., Pilotto, I., Gomes, J., Bustamante, J., Tavares, P., Silva, A., Rodrigues, D., Campos, D., Chagas, D., Sueiro, G., Siqueira, G., Nobre, P., et al. (2014). Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. *American Journal of Climate Change*, 03(05), 438–454. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.35039>
- Ehret, U., Zehe, E., Wulfmeyer, V., & Liebert, J. (2012). Should we apply bias correction to global and regional climate model data? *HESS*, 16, 3391–3404. <https://doi.org/10.5194/hess-16-3391-2012>
- Giorgi, F. (1990). Simulation of Regional Climate Using a Limited Area Model Nested in a General Circulation Model. *Journal of Climate*. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1990\)003<0941:SORCUA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1990)003<0941:SORCUA>2.0.CO;2)
- Hansen, G., & Cramer, W. (2015). Global distribution of observed climate change impacts. *Nature Climate Change*, 5(3), 182–185. <https://doi.org/10.1038/nclimate2529>
- IPCC. (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. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- Maraun, D., Shepherd, T. G., Widmann, M., Zappa, G., Walton, D., Gutiérrez, J. M., et al. (2017). Towards process-informed bias correction of climate change simulations. *Nature Climate Change*, 7(11), 764–773. <https://doi.org/10.1038/nclimate3418>
- McNutt, M. (2013). Climate Change Impacts. *Science*, 341(6145), 435–435. <https://doi.org/10.1126/science.1243256>
- Mello, C. R., Ávila, L. F., Viola, M. R., Curi, N., & Norton, L. D. (2015). Assessing the climate change impacts on the rainfall erosivity throughout the twenty-first century in the Grande River Basin (GRB) headwaters, Southeastern Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 73(12), 8683–8698. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4033-3>
- Mitchell, T. D., & Jones, P. D. (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology*, 25(6), 693–712. <https://doi.org/10.1002/joc.1181>
- Myneni, R. B., Yang, W., Nemani, R. R., Huete, A. R., Dickinson, R. E., Knyazikhin, Y., et al. (2007). Large seasonal swings in leaf area of Amazon rainforests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(12), 4820–4823. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611338104>
- PBMC. (2013). *Executive summary: Impacts, vulnerabilities and adaptation to climate change*. (E. D. Assad & A. R. Magalhães, Eds.). Rio de Janeiro, RJ, Brazil: Federal University of Rio de Janeiro.
- Xavier, A. C., King, C. W., & Scanlon, B. R. (2015). Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). *International Journal of Climatology*, 2659(October 2015), 2644–2659. <https://doi.org/10.1002/joc.4518>
- Xu, Z., & Yang, Z. (2015). A new dynamical downscaling approach with GCM bias corrections and spectral nudging. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 3063–3084. <https://doi.org/10.1002/2014JD022958>. Received