

ANÁLISE DE EXTREMOS CLIMÁTICOS ENTRE DADOS OBSERVADOS E PREVISTOS PELO MODELO ETA/CPTEC NA BACIA DO RIO PARANÁ (2013-2023)

Palavras-Chave: Mudanças climáticas; Eventos extremos; Índices ETCCDI

ANDRÉ LUIZ BANDELI JÚNIOR, FEAGRI, UNICAMP

Dra. ANA MARIA HEUMINSKI DE AVILA (orientadora) CEPAGRI, UNICAMP

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e a intensificação dos eventos extremos representam um dos grandes desafios atuais, com impactos significativos registrados nos âmbitos sociais, ambientais e econômicos (IPCC, 2023). Modelos de previsão climática, como o ETA/CPTEC, neste contexto, são ferramentas fundamentais para subsidiar decisões em setores estratégicos, como agricultura e recursos hídricos (Ferreira e Chou, 2018). A avaliação de sua performance é especialmente importante na representação de extremos, frequentemente analisados por meio de estatísticas aplicadas à precipitação e temperatura (Meehl et al., 1999), sendo os 27 indicadores do ETCCDI uma metodologia amplamente adotada para esse fim (Alexander et al., 2006; Ferreira e Chou, 2018). Neste sentido, o presente estudo analisou as previsões sazonais do modelo ETA comparando com dados observados de estações meteorológicas e a capacidade do modelo na previsão de extremos.

METODOLOGIA

Para o estudo, foram utilizados dados de precipitação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), coletados em 39 estações meteorológicas automáticas dispostas na região da bacia hidrográfica do rio Paraná.



Figura 1. Mapa das estações meteorológicas dispostas na região territorial da Bacia do Rio Paraná.

As estações estão presentes em sete estados brasileiros: PR, SP, MS, MG, GO, DF e MT. A análise cobriu um período de 10 anos, de 2013 a 2023, com dados diários. A seleção das estações garantiu uma cobertura espacial ampla e representativa da bacia.

MODELO ETA/CPTEC

No Brasil, o modelo ETA é utilizado pelo CPTEC para previsões meteorológicas desde 1997 (Mourão, Chou e Marengo, 2016), sendo aplicado na previsão de precipitação em diversas escalas espaciais e temporais. Para este estudo, foram usados dados do modelo, fornecidos pelo INPE em arquivos NetCDF, forçados pelo Climate Forecast System (CFS) e com resolução espacial de 20 km. A avaliação foi focada nas previsões para os períodos FMA (1º de fevereiro a 30 de março) e SON (1º de setembro a 30 de novembro). Os dados foram disponibilizados através da seguinte url: <https://ftp1.cptec.inpe.br/pesquisa/grpeta/DataSet/seasonal/Eta20km-CFS>

MÉTRICAS ESTATÍSTICAS

Para avaliar o desempenho quantitativo do modelo ETA na previsão de precipitação, foram utilizadas métricas estatísticas como o erro absoluto médio (EAM), a raiz do erro quadrático médio (RMSE) e o viés (BIAS), conforme CHOU et al. (2007). O EAM quantifica a magnitude média do erro, enquanto o RMSE é sensível a valores extremos e o BIAS indica a tendência do modelo em superestimar ou subestimar os valores.

CORRESPONDÊNCIA ESPACIAL

A interpolação das previsões do modelo nas coordenadas das estações foi feita com o algoritmo cKDTTree da biblioteca SciPy (Virtanen et al., 2020). Para os dados de BIAS e médias previstas/observadas, utilizou-se a interpolação por Funções de Base Radial (RBF) com método linear (Carvalho et al., 2022), aplicada sobre

uma grade regular de 200x200 pontos na Bacia do Rio Paraná. A máscara geográfica da bacia, derivada de shapefile, restringiu os resultados à área de interesse, e um filtro gaussiano foi aplicado para suavizar os padrões espaciais.

ÍNDICES DE EXTREMOS

Para avaliar a ocorrência e intensidade dos extremos climáticos de precipitação, foram utilizados nove índices do ETCCDI (Brito et al., 2019), disponíveis para consulta na url <https://etccdi.pacificclimate.org/>. Os índices selecionados para este estudo são:

- RX1day: Precipitação máxima diária em um ano (ou período sazonal).
- RX5day: Precipitação máxima em 5 dias consecutivos em um ano (ou período sazonal).
- R95p: Dias com precipitação extrema (precipitação diária > percentil 95 da climatologia do período).
- CDD (Consecutive Dry Days): Número máximo de dias secos consecutivos (precipitação < 1 mm/dia).
- CWD (Consecutive Wet Days): Número máximo de dias úmidos consecutivos (precipitação >= 1 mm/dia).
- R10mm: dias com precipitação > 10mm.
- R20mm: dias com precipitação > 20mm.
- R30mm: dias com precipitação > 30mm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos erros do modelo ETA/CPTEC mostrou grande variabilidade entre as estações meteorológicas, relacionada à posição geográfica e à ocorrência de extremos pluviométricos.

MÉDIAS PREVISTAS E OBSERVADAS

No Sul, o modelo captou bem as tendências sazonais, mas com superestimativas em anos como 2018, como por exemplo, em General Carneiro, previu-se 10,08 mm, enquanto o observado foi 3,55 mm. Já no Centro-Oeste e Sudeste, predominaram subestimativas, sobretudo em anos de forte convecção, como em Brasília (0,35 mm previstos vs. 6,72 mm observados em 2018).

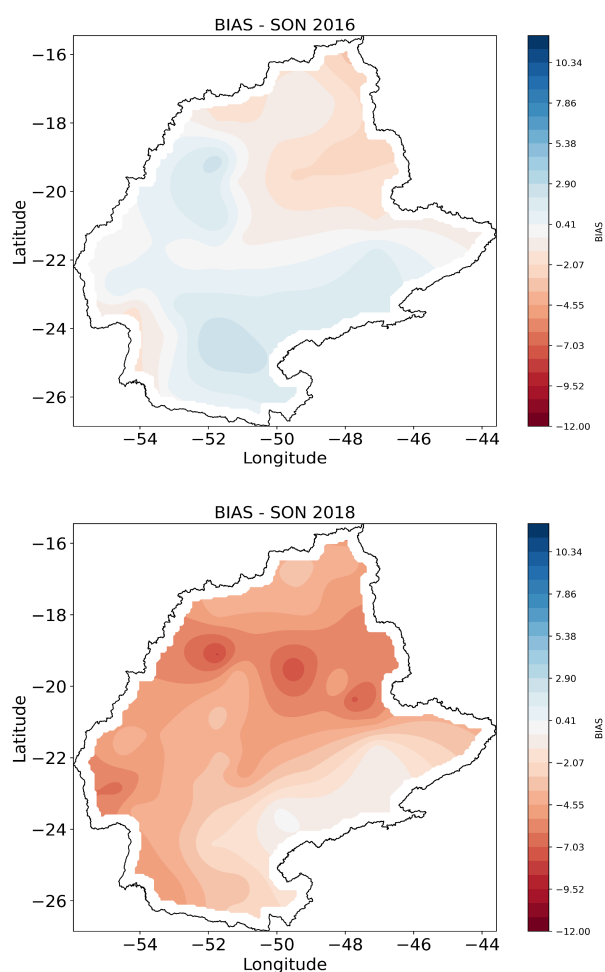


Figura 2. Bias SON 2016 e 2018 especializado para a Bacia do Rio Paraná.

As discrepâncias foram mais acentuadas em anos extremos — secos ou chuvosos — revelando limitações do modelo na assimilação de padrões atmosféricos de larga escala. No trimestre FMA, os vieses variaram de -4,04 mm/dia (Uberlândia/2020) a +12,95

mm/dia (Casa Branca/2021), com superestimativas no Sudeste e subestimativas em Brasília e Goiânia. No Sul, o viés positivo aumentou ao longo dos anos, como em General Carneiro (+2,55 mm/dia em 2013 para +6,53 mm/dia em 2018).

No trimestre SON, 78% das estações apresentaram desvios negativos superiores a -2 mm/dia. Em anos de El Niño, como 2018, o modelo subestimou de forma consistente os volumes de precipitação. Já em anos de La Niña, como 2016, houve melhor correspondência entre previsão e observação.

RMSE E MAE

Os maiores erros concentraram-se no Sul e Sudeste da bacia, sobretudo em anos de El Niño, quando o viés positivo predominou. No FMA, o RMSE variou entre 0,2 e 28 mm/dia e o MAE entre 0,5 e 13,3 mm/dia, com destaque para as estações do Sul, onde os erros se associaram à superestimação de sistemas frontais. No Sudeste, Casa Branca apresentou EAM elevado (até 11,5 mm/dia), refletindo erros persistentes em áreas de ZCAS. Em SON, os erros reduziram no Centro-Oeste, mas permaneceram altos no Sul (EAM de 5,7–12,1 mm/dia), indicando dificuldade na representação de sistemas frontais e eventos convectivos de curta duração.

EXTREMOS CLIMÁTICOS

O índice CDD (dias secos consecutivos) foi bem representado, com medianas próximas entre os dados capturados pelo modelo e os observados, embora a variabilidade dos dados observados seja maior. O CWD (dias úmidos

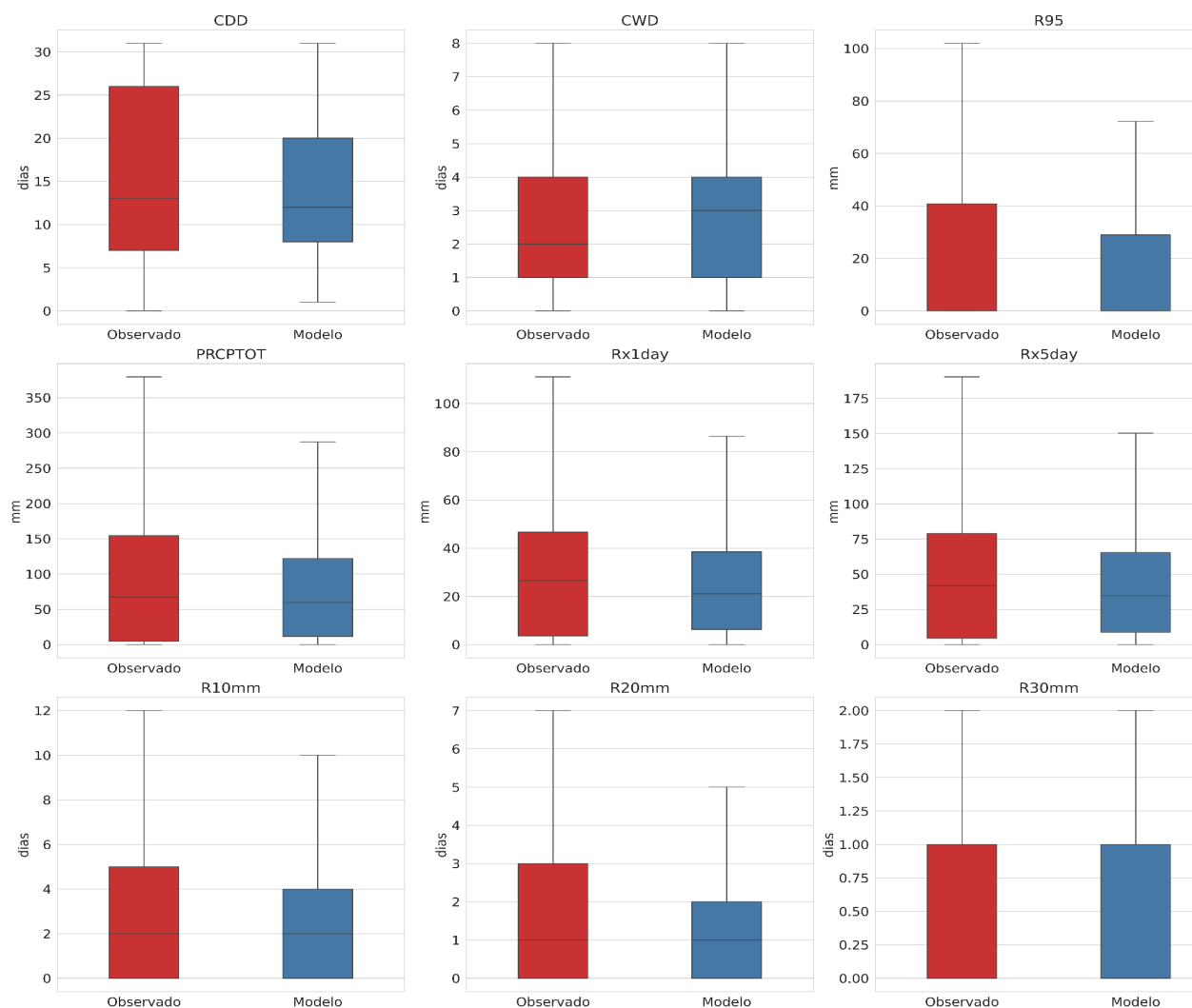


Figura 3. Boxplot comparativo dos resultados dos indicadores de extremos ETCCDI comparados entre os dados observados e previstos pelo modelo, para a Bacia do Rio Paraná.

consecutivos) apresentou mediana superestimando a quantidade de dias, mas com distribuição igual entre os dados. Índices de precipitação intensa como R95 e R30mm tiveram boa correspondência, porém os índices Rx1day e Rx5day foram ligeiramente subestimados, principalmente para valores mais extremos de Rx1day. O índice PRCPTOT também foi subestimado, corroborando os vieses negativos observados e discutidos nas seções anteriores. Os resultados das análises individuais das estações demonstraram uma alta capacidade do modelo na previsão de eventos extremos qualitativos, embora

apresente dificuldades na precisão de valores quantitativos, como observados nas comparações diretas realizadas no estudo.

CONCLUSÕES

O modelo ETA/CPTEC demonstrou capacidade em capturar tendências sazonais de precipitação na Bacia do Rio Paraná, mas apresentou viés regional, com superestimativas no Sul e subestimativas no Centro-Oeste e Sudeste, especialmente acentuadas em anos de El Niño. Em relação aos extremos climáticos, representou bem a duração dos

períodos secos e úmidos, mas subestimou a intensidade das precipitações mais severas, limitando a confiabilidade de índices como Rx1day, Rx5day e PRCPTOT. Apesar dessas limitações, o modelo demonstrou utilidade na identificação qualitativa de padrões extremos, sendo uma ferramenta promissora para previsão sazonal e apoio à gestão de riscos climáticos.

BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDER, L. V. et al. **Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation**. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, v. 111, n. D5, 2006.
- BRITO, A. L. et al. **Avaliação do Desempenho dos Modelos HadGEM2-ES e Eta a partir de Indicadores de Extremos Climáticos de Precipitação para a Bacia Amazônica**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 34, n. 3, p. 437-449, 2019.
- CALADO, R. N. et al. **Avaliação da previsão de eventos de chuva intensa na bacia do rio Paraíba do Sul**. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO RIO PARAÍBA DO SUL, III, Juiz de Fora, 2018.
- CARVALHO, Marcos F. de; FONTES JR., Edivaldo F.; TEIXEIRA, Renan de Souza; SANTOS, Wilian J. dos. **Interpolação empregando as Funções de Base Radial**. Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics, v. 9, n. 1, 2022. Trabalho apresentado no XLI CNMAC, Unicamp - Campinas - SP, 2022.
- CHOU, S. C. et al. **Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America**. Nonlinear Processes in Geophysics, v. 12, p. 537–555, 2005.
- CHOU, S. C. et al. **Refinamento estatístico das previsões horárias de temperatura a 2 m do modelo ETA em estações do Nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 22, n. 3, p. 287-296, 2007.
- CHOU, S. C. et al. **Evaluation of the Eta simulations nested in three global climate models**. American Journal of Climate Change, v. 3, n. 5, p. 382-395, 2014.
- FERREIRA, N. C. R.; CHOU, S. C. **Influence of Soil Texture Type and Initial Soil Moisture on the Simulation of Seasonal Precipitation and Extreme Precipitation in Southeast Brazil**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, v. 41, n. 3, p. 45-60, 2018.
- IPCC. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. In: LEE, H.; ROMERO, J. Sixth Assessment Report. Genebra: IPCC, 2023. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- MOURÃO, C.; CHOU, S. C.; MARENGO, J. **Downscaling climate projections over La Plata Basin**. Atmospheric and Climate Sciences, v. 6, p. 1-12, 2016.
- PETERSON, T. C. et al. **Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs**. Genebra. WMO, 2001. 117 p.
- PIZZOCHERO, R. M. **Contribuição dos principais padrões de teleconexões extratropicais do Hemisfério Sul para a variabilidade climática da América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 2021. 150 p.
- VIRTANEN, P. et al. **SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python**. Nature Methods, v. 17, n. 3, p. 261-272, 2020.