



# RBES

Revista Brasileira de  
Engenharia e  
Sustentabilidade

ISSN 2448-1661

Pelotas, RS, UFPel-Ceng

<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/RBES/index>

**v.13, n.Esp, p.98-106 dez. 2024**

## AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DO MODELO ETA NAS ENCHENTES DE 2024 NO RIO GRANDE DO SUL

Bandeli, A.<sup>1</sup>; Heuminski de Avila, A.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

### Palavras-chave:

indicadores climáticos, previsão sazonal, extremos climáticos

### Resumo

Este estudo avaliou a capacidade preditiva do modelo regional ETA (Estimated Time of Arrival), no contexto do Centro de Previsões do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), para a previsão sazonal de precipitação no Rio Grande do Sul. O foco esteve nas enchentes ocorridas em abril e maio de 2024, considerando previsões realizadas com antecedência de 3 e 5 meses, comparadas aos dados observados de seis estações meteorológicas de superfície. A análise de extremos climáticos foi conduzida com base em oito indicadores do Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). Os resultados indicaram que o modelo subestimou o volume de chuvas, embora tenha conseguido prever períodos mais úmidos e dias consecutivos de precipitação. Os indicadores de extremos climáticos não apresentaram tendências significativas na série histórica analisada (2008-2024), contudo, os eventos registrados em abril e maio de 2024 foram classificados como extremos, evidenciando a gravidade e a relevância desses fenômenos.

## EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF THE ETA MODEL IN THE 2024 FLOODS IN RIO GRANDE DO SUL

**Keywords:** climate indicators, seasonal forecasting, climate extremes

### Abstract

This study evaluated the predictive capacity of the regional ETA (Estimated Time of Arrival) model, in the context of the Center for Weather Forecasts and Climate Studies (CPTEC), for seasonal precipitation forecasts in Rio Grande do Sul. The focus was on the floods that occurred in April and May 2024, considering forecasts made 3 and 5 months in advance, compared to observed data from six surface weather stations. The analysis of climate extremes was based on eight indicators from the Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). The results indicated that the model underestimated the volume of rainfall, although it managed to predict wetter periods and consecutive days of precipitation. The indicators of climatic extremes did not show significant trends in the historical series analyzed (2008-2024), however, the events recorded in April and May 2024 were classified as extreme, highlighting the seriousness and relevance of these phenomena.

Artigo Submetido dia

13/12/2024

Artigo Aceito dia 30/12/2024

## INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm intensificado eventos extremos, como ondas de calor e precipitações intensas, cuja frequência e intensidade tem mostrado tendência de aumento nas últimas décadas (IPCC, 2023). No Brasil, episódios como as enchentes ocorridas no Rio Grande do Sul, em abril e maio de 2024, reforçam a necessidade de ferramentas eficazes para prever e mitigar os impactos desses fenômenos.

Nesse contexto, os modelos de previsão meteorológica e climática desempenham um papel fundamental na tomada de decisões preventivas e no planejamento estratégico em setores como agricultura, recursos hídricos, meio ambiente e urbanismo, além de subsidiar o zoneamento agrícola de risco climático (ASSAD et al., 2004; BAINY; ÁVILA; SILVA, 2019; ZÁKHIA et al., 2021).

Ferreira e Chou (2018) destacam que tais modelos são ferramentas indispensáveis para a análise das mudanças climáticas e para a previsão de eventos extremos, permitindo respostas mais assertivas frente aos desafios impostos por esses cenários.

Entre os modelos existentes, destaca-se o modelo regional ETA (*Estimated Time of Arrival*), que significa Tempo Estimado de chegada, desenvolvido originalmente pela Universidade de Belgrado, o modelo vem sendo continuamente aprimorado pelo Centro de Previsões do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), consolidando-se como uma ferramenta relevante em previsões climáticas (BRITO et al., 2019).

Modelos regionais como o ETA utilizam condições de contorno fornecidas por modelos climáticos globais (GCMs), permitindo maior detalhamento das previsões em escala local (SILVA et al., 2023). O modelo ETA é amplamente utilizado para previsões climáticas de curto e médio prazo. No entanto, as previsões sazonais ainda são consideradas experimentais globalmente, devido à complexidade das interações atmosféricas e aos desafios metodológicos envolvidos.

Conforme Chou et al. (2020), a previsibilidade sazonal está associada à capacidade de identificar sinais consistentes em meio ao ruído atmosférico, considerando as instabilidades

geradas por eventos sinóticos diários. Essa complexidade torna indispensável a validação de modelos sazonais, a fim de ampliar sua confiabilidade e aplicabilidade em diferentes contextos.

O objetivo deste estudo foi avaliar a precisão do modelo ETA na previsão sazonal de precipitação no Rio Grande do Sul, como foco nas enchentes de abril e maio de 2024, utilizando dados de seis estações meteorológicas (2008-2024) e oito indicadores do ETCCDI para eventos extremos.

## REFERENCIAL TEÓRICO

O modelo ETA é estruturado com uma grade horizontal tipo E de Arakawa e uma coordenada vertical  $\eta$ , projetada para minimizar erros nas derivadas horizontais. Ele incorpora esquemas de parametrização avançados, como o de Mellor-Yamada para processos turbulentos, Betts-Miller-Janjic para parametrização de precipitação, e Zhao para microfísica de nuvens (FERREIRA & CHOU, 2018). As variáveis prognósticas do modelo incluem temperatura do ar, componentes zonal e meridional do vento, umidade específica, pressão à superfície e energia cinética

turbulenta (PESSOA et al., 2012), essenciais para prever alterações atmosféricas em diversas escalas temporais e espaciais.

Para a análise de extremos climáticos, são utilizados os 27 índices definidos pelo ETCCDI (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*), aplicados globalmente e em estudos regionais, sendo 16 relacionados à temperatura e 11 à precipitação (KARL et al., 1999; PETERSON et al., 2001; ALEXANDER et al., 2006; BRITO et al., 2018).

## MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo utilizou dados diários de precipitação de seis estações meteorológicas no estado do Rio Grande do Sul: Porto Alegre (A801), Santa Maria (A803), Uruguaiana (A809), São Gabriel (A832), Bagé (A827) e Caçapava do Sul (A812), obtidos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cobrindo o período de 1º de janeiro de 2008 a 1º de junho de 2024.

As previsões foram geradas pelo modelo ETA com resolução espacial de 20 km, disponibilizado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

Foram analisadas duas previsões distintas: uma para o período de novembro de 2023 a 1º de maio de 2024, e outra para o intervalo de março de 2024 a junho de 2024.

Para avaliar os extremos climáticos, foram aplicados oito indicadores do *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI):

- CDD: número máximo de dias secos consecutivos;
- CWD: número máximo de dias consecutivos com precipitação;
- PRCPTOT: precipitação total acumulada;
- RX1day: maior precipitação diária em um mês;
- RX5day: maior precipitação acumulada em 5 dias consecutivos;
- R10mm, R20mm e R30mm: número de dias com precipitação superior a 10, 20 e 30 mm, respectivamente.

O software Climpact versão 3.2.0 foi utilizado para calcular os índices climáticos e a gerar gráficos, permitindo uma análise detalhada dos padrões de precipitação observados.

Para avaliar a correlação entre as previsões e os dados observados, foram aplicadas métricas estatísticas comumente usadas na validação de modelos climáticos, como o Erro Médio Absoluto (MAE), o Erro Quadrático Médio (RMSE) e o BIAS, conforme descrito por Chou & Silva (2007).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das métricas estatísticas (MAE, RMSE e BIAS) revelou discrepâncias significativas entre os dados de precipitação observados e as estimativas do modelo regional ETA/CPTEC para as duas previsões geradas.

Em especial, os altos valores de RMSE, conforme destacados por SILVA et al., (2023), indicam a sensibilidade do modelo ao aumento das diferenças entre os valores observados e previstos.

Tabela 1. Resultados das métricas de avaliação para o período de 01 de novembro de 2023 a 01 de maio de 2024.

Estação	mm/dia OBS	mm/dia ETA	MAE	RMSE	Bias
A801	6,19	5,64	9,91	20,13	-0,54
A803	8,19	5,95	11,48	26,587	-2,23
A809	6,62	3,93	8,60	19,60	-2,68
A812	7,44	6,32	10,77	22,30	-1,12
A827	5,95	5,38	9,05	18,40	-0,56
A832	6,71	6,21	10,57	22,75	-0,50

O modelo apresentou uma subestimação consistente das chuvas, com destaque para a estação de Uruguaiana (A809), onde o BIAS foi de -2,687 mm/dia na previsão de novembro a maio, indicando uma tendência do modelo em subestimar as precipitações.

Essa tendência foi confirmada pela comparação entre as médias diárias de precipitação observadas e previstas. Em Porto Alegre (A801), os valores observados de 6,19 mm/dia contrastaram com os 5,64 mm/dia previstos, refletindo diferenças significativas, com MAE de 9,91 mm/dia e RMSE de 20,13 mm/dia).

Em Santa Maria (A803) o MAE foi de 11,48 mm/dia e o RMSE de 26,58 mm/dia, reforçando a limitação do modelo em reproduzir os padrões de precipitação.

No período de março a junho de 2024, as diferenças aumentaram, especialmente em estações como Santa Maria (A803), onde o BIAS foi de -8,86 mm/dia.

Os resultados indicam que o modelo apresenta dificuldades em capturar as características das chuvas durante o período analisado, aumentando as diferenças entre observação e

previsão na ocorrência de eventos extremos.

Tabela 2. Resultados das métricas de avaliação (MAE, RMSE, BIAS) para o período de 1º de março de 2024 a 1º de junho de 2024.

Estação	mm/dia OBS	mm/dia ETA	MAE	RMSE	Bias
<b>A801</b>	8,42	5,70	13,87	26,07	-3,84
<b>A803</b>	13,89	5,02	16,70	35,70	-8,86
<b>A809</b>	8,14	4,42	10,12	22,38	-3,72
<b>A812</b>	6,87	5,98	11,85	24,37	-0,89
<b>A827</b>	5,27	5,96	10,43	18,21	0,68
<b>A832</b>	10,43	6,25	15,09	28,09	-4,18

As métricas estatísticas também revelam variações espaciais nos dados gerados pelo ETA. Em estações como Bagé (A827), o modelo apresentou um BIAS positivo de 0,68 mm/dia no segundo período, sugerindo uma tendência de superestimação.

Apesar das limitações na previsão quantitativa de precipitação, o modelo foi capaz prever eventos qualitativos, como dias úmidos e sequências de chuvas.

Os indicadores de extremos ETCCDI não mostram tendências significativas, o que implica que não se pode afirmar que a ocorrência de desses eventos tenham aumentado ou diminuído durante o período estudado. No entanto, os resultados evidenciam a ocorrência de extremos de precipitação em abril e maior de

2024.

O acumulado total de precipitação (PRCPTOT) foi particularmente elevado em Santa Maria (584,2 mm) e Porto Alegre (563 mm). Embora outras regiões, como Uruguaiiana (426 mm), tenham registrado valores menores, esses totais ainda são considerados elevados (Figura 1).

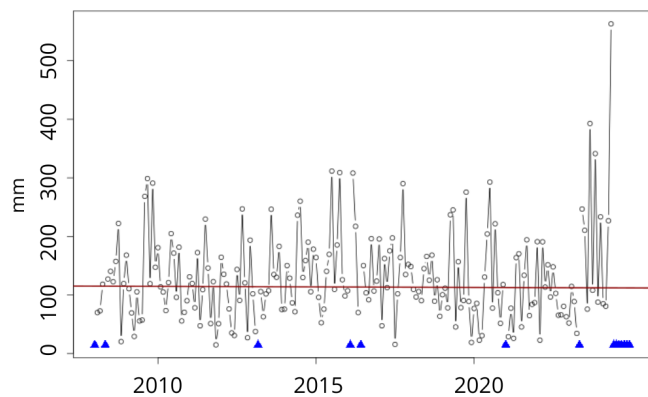


Figura 1: Resultado do indicador PRCPTOT mensal na estação Porto Alegre (A801), no período de 2008-2024.

Quanto aos indicadores de frequência de precipitação (R10, R20 e R30), Porto Alegre se destacou com o maior número de dias com precipitação superior a 10mm (12 dias) (Figura 2), enquanto Santa Maria apresentou a maior frequência de precipitação superior a 20mm (7 dias) e 30 mm (6 dias) (Figura 3).

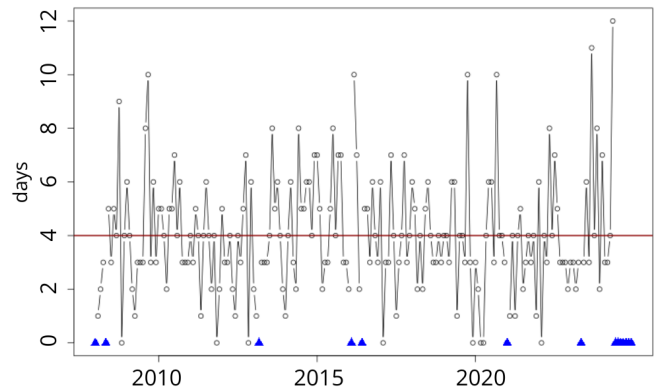


Figura 2: Resultado indicador R10 mm mensal na Estação Porto Alegre (A801), no período de 2008-2024

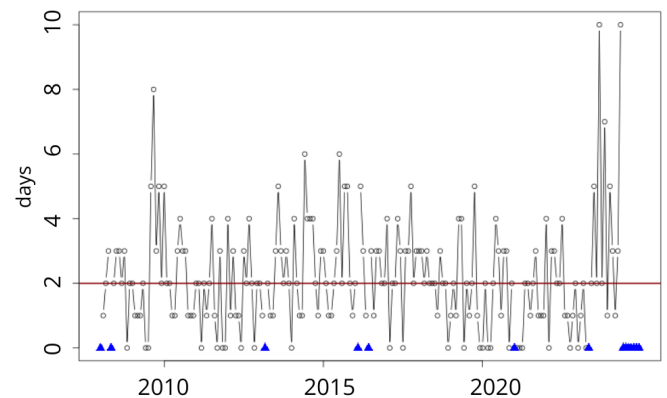


Figura 3: Resultado indicador R20 mm mensal na estação Porto Alegre (A801), no período de 2008-2024

O indicador RX5day também apresentou valores elevados, com destaque para Santa Maria (456,4 mm), seguida por Caçapava do Sul (331 mm) e Porto Alegre (328,2 mm). Bagé e Uruguaiiana apresentaram menor frequência de eventos extremos em comparação com Santa Maria, Porto Alegre e Caçapava do Sul, que se destacaram como regiões críticas para eventos de precipitação extrema, considerando seus valores recordes na série para 2024.

## CONCLUSÕES

1. O modelo ETA/CPTEC subestimou a precipitação sazonal em todas as estações analisadas, com discrepâncias acentuadas durante eventos extremos, conforme os valores de MAE, RMSE e Bias. No entanto, foi capaz de prever períodos consecutivos de chuvas e períodos úmidos.

2. Não foram observadas tendências significativas nos índices de extremos climáticos (2008-2024), não sendo possível concluir sobre o aumento ou diminuição desses eventos.

3. A análise dos indicadores evidenciou os eventos de abril e maio de 2024 como extremos climáticos.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDER, L. V.; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A. M. G.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. **Global observed changes in daily climate**

**extremes of temperature and precipitation.** Journal of Geophysical Research Atmospheres, v. 111, n. 5, p. 4-22 2006.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. **Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, 2004.

BAINY, B. K.; AVILA, A. M. H.; DA SILVA, P. H.. **Chuvas intensas e ocorrência de alagamentos: um estudo de caso para Campinas SP.** Labor & Engenho, v.16, n.e022004, p. 1-12, 2019.

BRITO, A. L.; VEIGA, J. A. P.; CORREIA, F. W.; CAPISTRANO, V. B. **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. 2, p.165-177, 2019.

CHOU, S. C.; SOUZA, C. R. de; GOMES, J. L.; EVANGELISTA, E. F. D.; OSÓRIO, C.; CATALDI, M.. **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.; DEREZYNSKI, C.; GOMES, J. L.; PESQUERO, J. F.; ÁVILA, A. M. H. de; RESENDE, N. C.; ALVES, L. F.; RUIZ-CÁRDENAS, R.; SOUZA, C. R. de; BUSTAMANTE, J. F. F. **Ten-year seasonal climate reforecasts over South America using the Eta Regional Climate Model.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.92, n.3, p. 1-24, 2020.

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.680-689, 2018.

IPCC Sections. In: **Climate Change 2023. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** IPCC, Geneva, Switzerland, p. 35-115, 2023.

KARL, T.; NICHOLLS, N.; GHAZI, A.; **Clivar/Gcos/Wmo**

**Workshop on indices and indicators for climate extremes.** Climatic Change, v.42, p.3-7, 1999.

MOURA, R. G. de; HERDIES, D. L.; MENDES, D.; MENDES, M. C. D.. **Avaliação do modelo regional ETA utilizando as análises do CPTEC e NCEP.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.1, p.46-53, 2010.

PESSOA, A. S. A.; LIMA, G. R. T. de; SILVA, J. D. S. da; STEPHANY, S.; S., C.; CAETANO, M.; FERREIRA, N. J.. **Mineração de dados meteorológicos para previsão de eventos severos.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 27, n.1, p.61-74, 2012.

PETERSON, T. C.; FOLLAND, C.; GREUZA, G.; HOGG, W.; MOKSSIT, A.; PLUMER, N. **Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs Geneve: WMO,** v. 1, p. 117, 2001.

SILVA, G.K.; MARCOS JÚNIOR, A.D.; LIMA, C.E.S.; MACIEL DA SILVA, M.V.; SILVEIRA, C.D. **Eta Model and CMIP5 Climate Change Projections for the São Francisco and Paraíba do Sul River Basins, Brazil.** Revista



Brasileira de Meteorologia, v. 38,  
n. e38210072, p. 1-16, 2023.

SILVA, J.L.G.; CAPISTRANO, V.B.;  
VEIGA, J.A.P.; BRITO, A.L.  
**Regional climate modeling in  
the Amazon basin to evaluate  
fire risk.** Acta Amazonica, v. 53,  
n. 2, p. 166-176, 2023.

ZÁKHIA, E. M. S.; ALVARENGA, L.  
A.; TOMASELLA, J.; MARTINS, M.  
A.; SANTOS, A. C. N.; MELO, P. A.  
**Impactos das mudanças  
climáticas em uma bacia  
hidrográfica no sul do estado  
de Minas Gerais.** Revista  
Brasileira de Meteorologia, v.36,  
n.4, p.667-681, 2021.