



## AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DAS PROJEÇÕES DE PRECIPITAÇÃO E UMIDADE RELATIVA DE MODELOS DO CMIP6 NO BRASIL

Gabriel Carlos Martins de **Oliveira**<sup>1</sup>; Patricia **Giordano**<sup>2</sup>; Renata Ribeiro do Valle **Gonçalves**<sup>3</sup>; Emilia **Hamada**<sup>4</sup>

Nº 24406

**RESUMO** – As mudanças climáticas têm impactado diversos setores da sociedade, com a agricultura sendo um dos mais afetados. Considerando que a economia brasileira é altamente dependente da agricultura, é essencial monitorar e prever a mudança do clima, possibilitando o desenvolvimento de estratégias efetivas para adaptação e mitigação dos danos. As ferramentas mais avançadas empregadas no prognóstico são os modelos climáticos, cada um com sua capacidade para projetar variáveis meteorológicas, considerando a complexidade das interações envolvidas em seu algoritmo. Nesse sentido, conduzir uma análise das projeções dos modelos é essencial para garantir o uso de prognósticos acurados tanto para as variáveis climáticas como para regiões específicas em consideração. Este estudo objetivou avaliar a performance das mais recentes projeções de cinco modelos (GFDL-ESM4, INM-CM5, MPI-ESM1.2-HR, MRI-ESM2 e NorESM2-MM) do CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6), considerando precipitação e umidade relativa no Brasil. A avaliação abrangeu dois períodos: um intervalo histórico de 2003 a 2013, e o período futuro de 2090 a 2100 considerando dois cenários de emissão de gases de efeito estufa (SSP2-4.5 e SSP5-8.5). Para esta proposta, foi adotado o banco de dados pós-processado de modelos climáticos do CLIMBra (Climate Change Dataset for Brazil). As análises foram realizadas utilizando boxplot, histograma e avaliação do comportamento sazonal para avaliar a performance das projeções das variáveis climáticas. Os resultados indicaram que tanto a precipitação como a umidade relativa exibiram distribuições semelhantes entre os modelos para as médias mensais. Com relação à umidade relativa, o modelo MRI-ESM2 foi excluído pela presença de altos outliers.

**Palavras-chaves:** Mudanças climáticas, IPCC, banco de dados climático, geoprocessamento, sensoriamento remoto.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Matemática, Unicamp, Campinas-SP; gabrielcarlosmoliveira@gmail.com

2 Bolsista CNPq (DTI Nível C): Graduação em Matemática Aplicada e Computacional, Unicamp, Campinas-SP.

3 Co-Orientadora: Pesquisadora do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI), Campinas-SP.

4 Orientadora: Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; emilia.hamada@embrapa.br.



**ABSTRACT** – *Climate change has impacted several sectors of society, with agriculture being one of the most affected. Considering that the Brazilian economy is highly depended on agriculture, it is essential to monitor and predict the climate change, enabling the development of effective strategies for adaptation and mitigation of damage. The most advanced tools used in forecasting are the climate models, each with its capacity to project meteorological variables, considering the complexity of the interactions within their algorithm. Thus, conducting an analysis of the model projections is essential to ensure the use of accurate forecast for both the climate variables and for specific regions under consideration. This study aimed to evaluate the performance of the most recent projections of five models (GFDL-ESM4, INM-CM5, MPI-ESM1.2-HR, MRI-ESM2, and NorESM2-MM) from CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6), concerning precipitation and relative humidity in Brazil. The evaluation encompassed two periods: a historical interval from 2003 to 2013, and a future span from 2009 to 2100 considering two greenhouse gas emission scenarios (SSP2-4.5 and SSP5-8.5). For this purpose, a post-processed database of climate models from CLIMBra (Climate Change Dataset for Brazil) was adopted. Analyses were conducted using boxplots, histogram, and seasonal behavior to assess the performance of climate variable projections. The findings indicated that both precipitation and relative humidity exhibited similar distributions across the models for monthly averages. Regarding relative humidity, MRI-ESM2 was excluded due to the presence of high outliers.*

**Keywords:** Climate change, IPCC, climate database, geoprocessing, remote sensing.



## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm causado impactos adversos em escala global, com perdas e danos relacionados à natureza e às pessoas (IPCC, 2023). Dentre os setores mais expostos aos danos das alterações climáticas está a agricultura, a qual baseia-se altamente a economia brasileira. Em função das suas vulnerabilidades sociais e ambientais, o Brasil frequentemente sofre impactos negativos causados pela variabilidade climática, que podem ainda ser mais agravados pelas alterações climáticas projetadas no futuro (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2011; Torres et al., 2012; Masson-Delmotte et al., 2021; Firpo et al., 2022).

Atualmente, as ferramentas mais avançadas para investigar as respostas do clima em diferentes cenários de emissão de gases de efeito estufa são os chamados Modelos de Circulação Geral e do Sistema Terrestre (Fan et al., 2020; Ballarin et al., 2023). De modo geral, esses modelos apresentam baixa resolução espacial e vieses algorítmicos que prejudicam a confiabilidade dos estudos sobre as mudanças climáticas e seus impactos (Ballarin et al., 2023).

Com o lançamento do Sexto Relatório de Avaliação pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foram disponibilizados um conjunto de modelos climáticos com projeções de variáveis climáticas em escala global (IPCC, 2023), esses modelos fazem parte do Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6). Diversos métodos de pós-processamento das projeções dos modelos climáticos foram desenvolvidos e amplamente aplicados nos últimos anos, sendo ferramentas essenciais no estudo dos impactos das mudanças climáticas (Maraun, 2016; Vogel et al., 2023).

O banco de dados climático para o Brasil (Climate Change Dataset for Brazil - CLIMBra) foi desenvolvido por Ballarin et al. (2023), que adotou uma abordagem de pós processamento estatística para padronizar a resolução espacial dos modelos e aplicou uma correção de viés, utilizando o banco de dados observados desenvolvido por Xavier et al. (2021).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a performance, para o Brasil, das projeções dos modelos: GFDL-ESM4 (Estados Unidos), INM-CM5 (Rússia), MPI-ESM1.2-HR (Alemanha), MRI-ESM2 (Japão) e NorESM2-MM (Noruega) do CMIP6, considerando as variáveis precipitação e umidade relativa, nos cenários de média (SSP2-4.5) e alta (SSP5-8.5) emissão de gases de efeito estufa em intervalos de 10 anos, de 2003 a 2013 para o período histórico e de 2090 a 2100 para o período futuro, utilizando o banco de dados pós-processados disponibilizado no CLIMBra.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O banco de dados do CLIMBra (Ballarin et al., 2023) contém o pós-processamento de 19 modelos climáticos do CMIP6, presentes no Sexto Relatório do IPCC, padronizados a uma resolução espacial de 2,5° por 2,5° e corrigidos por viés. Devido a sua simplicidade e baixa demanda

computacional, a correção de viés tornou-se muito popular em estudos sobre mudanças climáticas (Maraun, 2016). Dentre os modelos disponibilizados pelo CLIMBra, foram selecionados cinco que possuem melhor desempenho para o Brasil (informação verbal)<sup>1</sup>. Os cinco modelos e respectivas instituição e país estão apresentados na Tabela 1. Para precipitação foram avaliados os cinco modelos e para a umidade relativa, como o modelo GFDL-ESM4 não apresenta projeções, foram considerados os quatro modelos restantes.

**Tabela 1.** Modelos climáticos globais do CMIP6 selecionados, instituição e país desenvolvedor.

Modelo	Instituição e País
GFDL-ESM4	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Estados Unidos
INM-CM5	Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences, Rússia
MPI-ESM1.2-HR	Max Planck Institute, Alemanha
MRI-ESM2	Meteorological Research Institute, Japão
NorESM2-MM	Norwegian Climate Center, Noruega

Na avaliação dos modelos climáticos foram elaborados gráficos de boxplot e histogramas e realizada a avaliação do comportamento sazonal das médias, considerando períodos de 10 anos para o período histórico, 2003 a 2013, e futuro, 2090 a 2100, cenários de média (SSP2-4.5) e alta (SSP5-8.5) emissão de gases de efeito estufa.

O boxplot fornece um resumo gráfico da distribuição dos dados, mostrando a forma, a tendência central e a variabilidade deles, sendo uma maneira padronizada de exibir a distribuição de um conjunto de valores ordenados com base em cinco números principais: limite inferior; primeiro, segundo e terceiro quartil, dividindo os dados em quatro partes iguais; e o limite superior (Morettin; Bussab, 2017). Os valores acima do limite superior ou abaixo do limite inferior são chamados pontos exteriores ou *outliers*.

Para verificar a forma de distribuição dos valores diários de umidade e precipitação, foram elaborados gráficos de histogramas. Nos histogramas é possível visualizar a distribuição de um conjunto de dados de forma a representar o número ou percentagem de observações em um gráfico de barras (Morettin; Bussab, 2017). Os dados são divididos em intervalos no eixo horizontal do gráfico e no eixo vertical a altura das barras representa a frequência dos valores em cada intervalo,

<sup>1</sup> Informação obtida por videoconferência do pesquisador Lincoln Muniz Alves, do Centro de Ciência do Sistema Terrestre – CCST/INPE, para pesquisadora Emilia Hamada, Embrapa Meio Ambiente, em 05/05/2023.

permitindo visualizar a densidade e forma de distribuição dos dados. Já o gráfico do comportamento sazonal foi utilizado para visualizar as médias mensais de umidade relativa e precipitação, ao longo dos meses do ano, exibindo no mesmo gráfico os diferentes modelos nos dois cenários de emissão de gases de efeito estufa.

A ferramenta usada para a visualização e processamento dos dados foi a linguagem de programação Python no ambiente de desenvolvimento Colab, ferramenta gratuita disponibilizada pelo Google, que permitiu o trabalho colaborativo em um mesmo arquivo compartilhado. Em conjunto com a linguagem de programação, foram usadas as bibliotecas principais Xarray e Matplotlib. A biblioteca Xarray permitiu a manipulação eficiente dos dados multidimensionais extraídos de arquivos NetCDF, visando a geração de gráficos representativos e cálculos estatísticos, facilitando a leitura e análise dos dados, simplificando operações como extração de variáveis, seleção de intervalos de tempo de interesse e cálculo de estatísticas descritivas, tais como: quantidade de outliers, médias e valores máximos e mínimos. A utilização da biblioteca Matplotlib permitiu a criação de diferentes tipos de gráficos, incluindo boxplot, histogramas e análise do comportamento sazonal, proporcionando uma visualização dos padrões presentes nos dados.

Além disso, foi realizado o processamento dos modelos, com cálculos de médias mensais e anuais, fundamentais para a compreensão de padrões sazonais durante o ano. Na sequência, foi calculada a média aritmética dos modelos com os resultados das médias mensais e anuais, visando fornecer uma visão geral do comportamento dos dados.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. PRECIPITAÇÃO**

Na Tabela 2 são apresentados os valores máximos e *outliers* das projeções da variável precipitação dos cinco modelos climáticos. O valor mínimo foi o mesmo para todos os modelos, com 0 mm/dia e o valor máximo chegou a 675,6 mm/dia, no modelo MRI-ESM2, no período 2090-2100, cenário SSP5-8.5. Os *outliers* das projeções dos modelos indicaram uma alta variabilidade na distribuição desses dados para o período histórico (2003-2013), por volta de 10%, porém com pequenas variações entre os modelos. Para o período futuro (2090-2100), os *outliers* foram maiores do que para o período histórico e variaram de 10,4% a 14,4% (Tabela 2).

Comparativamente aos registros do período histórico, os valores máximos e *outliers* nos cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5 são, em geral, maiores, indicando uma tendência de maior precipitação no período futuro, em ambos os cenários. A mudança do padrão de precipitação favorece a ocorrência de eventos climáticos extremos como enchentes e chuvas intensas, que prejudicam diversos setores, além de causar devastação e danos significativos à infraestrutura e à vida humana.

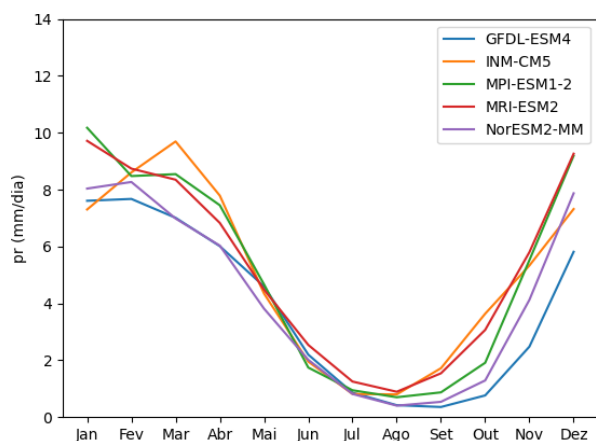
**Tabela 2.** Valores máximo (mm/dia) e *outliers* (%) da precipitação para o período histórico de 2003 a 2013 e futuro de 2090 a 2100, cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5, para os cinco modelos climáticos globais.

Modelo	Histórico 2003-2013		Futuro 2090-2100			
			SSP2-4.5		SSP5-8.5	
	Máximo (mm/dia)	<i>Outliers</i> (%)	Máximo (mm/dia)	<i>Outliers</i> (%)	Máximo (mm/dia)	<i>Outliers</i> (%)
GFDL-ESM4	395,42	10,77	609,12	12,33	524,32	14,41
INM-CM5	366,70	10,30	388,59	11,73	513,34	13,26
MPI-ESM1.2-HR	410,09	10,27	364,97	11,17	437,62	12,74
MRI-ESM2	410,09	10,64	502,28	10,35	675,55	11,07
NorESM2-MM	410,09	10,36	494,94	11,33	552,38	12,40

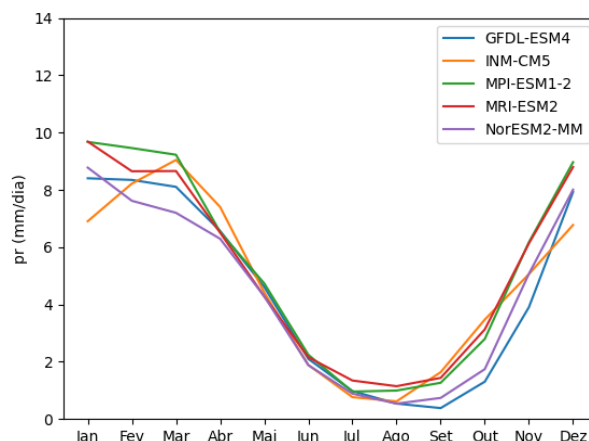
Obs.: Valores mínimos iguais a zero para todos os modelos e períodos.

As médias mensais dos modelos para precipitação estão apresentadas na Figura 1. Foi observado comportamento sazonal similar dos cinco modelos, com queda na precipitação de Janeiro a Julho-Agosto e posterior aumento nos meses subsequentes, até Dezembro, para todos os períodos considerados.

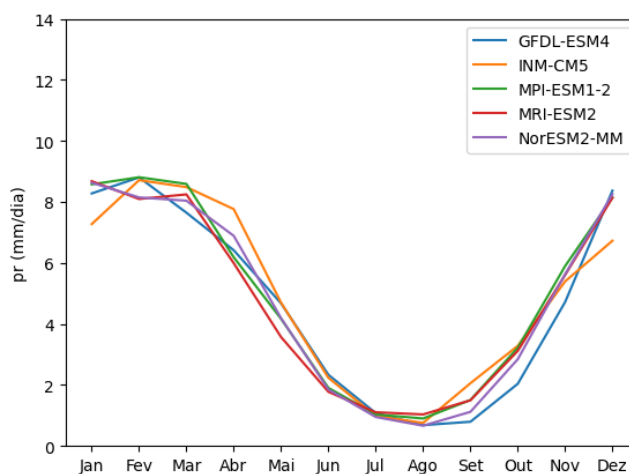
A partir de Agosto inicia a transição para o verão no Brasil. Durante essa estação, o clima é mais quente e úmido, o que implica em mudanças significativas na precipitação mensal. O aumento da temperatura no verão favorece uma maior evaporação de água nos oceanos, resultando em um aumento na umidade do ar. Além disso, com o aumento da temperatura da superfície terrestre são intensificados os processos de convecção atmosférica que favorecem a formação de nuvens de chuva e, conseqüentemente, a ocorrência de maior precipitação, tanto em quantidade, como em intensidade.



(a) Precipitação média mensal no cenário SSP5-8.5 (2090-2100)



(b) Precipitação média mensal no cenário SSP2-4.5 (2090-2100)



(c) Precipitação média mensal do período histórico (2003-2013)

**Figura 1.** Comportamento sazonal da precipitação das projeções dos modelos climáticos GFDL-ESM4, INM-CM5, MPI-ESM1-2, MRI-ESM2 e NorESM2-MM para o período futuro de 2090 a 2100, nos cenários (a) SSP5-8.5 e (b) SSP2-4.5, e (c) período histórico de 2003 a 2013.

### 3.2. UMIDADE RELATIVA

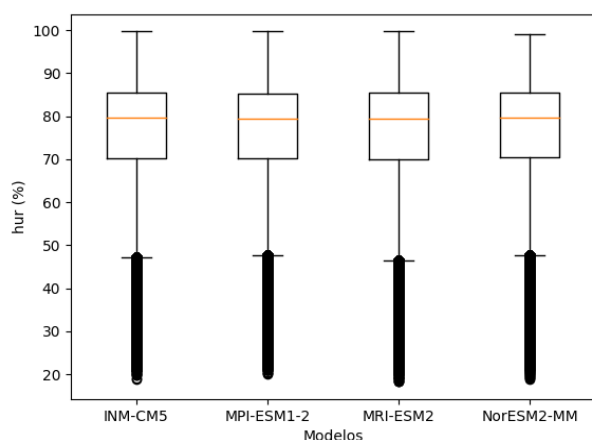
Na Tabela 3 são apresentados os valores mínimos e máximos e *outliers* das projeções da umidade relativa dos quatro modelos climáticos. As projeções dos modelos para umidade relativa apresentaram distribuição semelhante, com *outliers* baixos, variando de 2,1% a 3,6%. Com exceção do modelo MRI-ESM2, com valores entre -385,7% e 495,1%, de mínimo e máximo, respectivamente; os outros modelos climáticos tiveram valores entre 17,8%, de mínimo a 144,1%, de máximo.



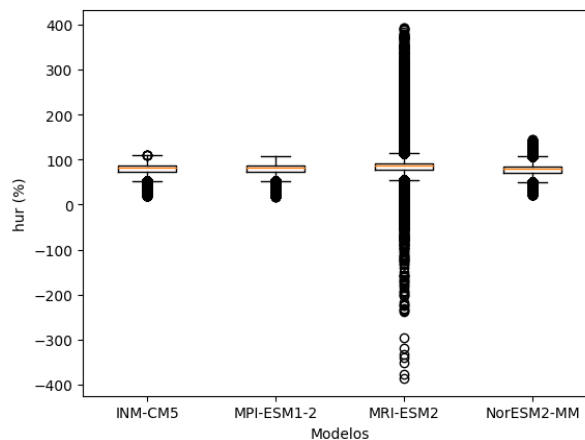
**Tabela 3.** Mínimo e máximo (%) e *outliers* (%) da umidade relativa para o período histórico de 2003 a 2013 e futuro de 2090 a 2100, cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5, para os quatro modelos climáticos globais.

Modelo	Histórico 2003-2013			Futuro 2090-2100					
				SSP2-4.5			SSP5-8.5		
	Mín. (%)	Máx. (%)	<i>Outliers</i> (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	<i>Outliers</i> (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	<i>Outliers</i> (%)
INM-CM5	18,80	99,68	2,29	17,77	103,24	2,52	18,73	109,52	2,78
MPI-ESM1.2-HR	20,12	99,68	2,14	19,94	110,44	2,78	17,95	106,78	3,40
MRI-ESM2	18,26	99,68	2,20	-363,46	495,10	3,62	-385,69	392,97	3,41
NorESM2-MM	18,80	99,03	2,45	17,74	122,96	2,77	21,99	144,13	3,24

Na Figura 2 são apresentados boxplots dos dados do período histórico de 2003 a 2013 e período futuro 2090-2100, cenário SSP5.8-5 para os quatro modelos climáticos globais. No período histórico, foram observados padrões similares para os quatro modelos, com relação ao percentual de *outliers* e nenhum valor fora do intervalo de [0,100]. Para o período de 2090 a 2100, cenário SSP5-8.5, o modelo MRI-ESM2 apresentou comportamento distinto dos outros três modelos (INM-CM5, MPI-ESM1-2 e NorESM2-MM), indicando que as projeções do modelo MRI-ESM2 apresentam baixo nível de habilidade na simulação da umidade relativa.



(a) 2003-2013



(b) 2090-2100, SSP5.8-5

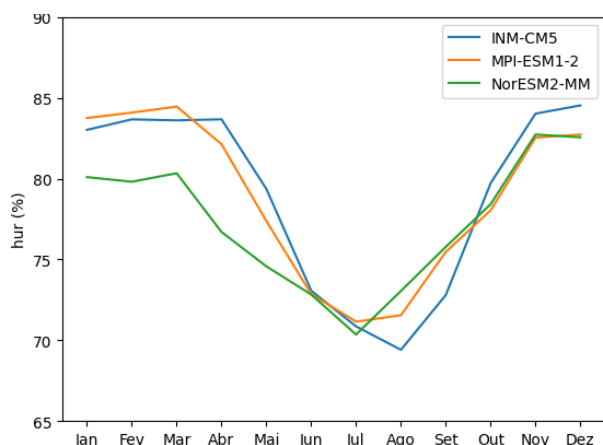
**Figura 2.** Boxplots de umidade relativa para os quatro modelos climáticos globais no (a) período histórico de 2003 a 2013 e (b) considerando o período de 2090 a 2100, cenário SSP5.8-5 (alta emissão de gases de efeito estufa).



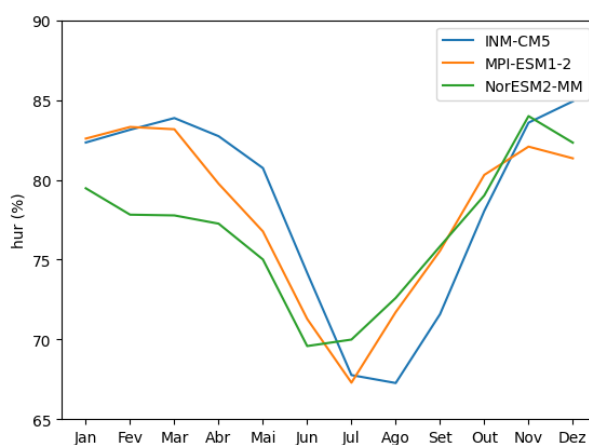
Destaque-se que as projeções dos quatro modelos apresentaram valores que extrapolam a faixa definida para a umidade relativa, de 0 a 100%. Supõe-se que essa condição é, provavelmente, decorrente da existência de resíduos presentes nos dados mesmo depois do pós-processamento por correção de viés das projeções desses modelos, indicando que nos dados brutos desses modelos do CMIP6 esses valores podem ser ainda mais discrepantes.

Segundo Ruosteenoja et al. (2017), truncar os valores excessivamente altos de umidade relativa não é suficiente para corrigir totalmente esses dados. Esses autores verificaram em áreas polares no inverno que 17 dos 29 modelos do CMIP5 apresentaram valores que excederam 100% de umidade relativa. As causas potenciais levantadas, para além das áreas polares, a partir de correspondências com grupos de modelagens e em suas próprias análises, foram: contradições na determinação da umidade específica e da temperatura do ar no nível próximo à superfície e a não linearidade da umidade específica saturada em função da temperatura. Ruosteenoja et al. (2017), evidenciaram também que a supersaturação presente em alguns modelos foi originada em seus próprios algoritmos; enquanto em outros modelos, ela foi formada em estágios posteriores de processamento.

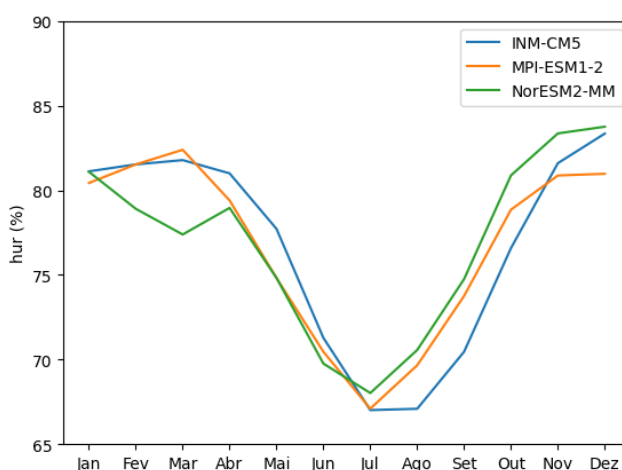
O comportamento sazonal das médias das projeções dos três modelos restantes para a umidade relativa é apresentado na Figura 3. Foi observado comportamento sazonal similar dos três modelos, com queda na umidade relativa de Janeiro a Julho-Agosto e posterior aumento nos meses subsequentes, até Dezembro, para todos os períodos considerados, de forma semelhante ao comportamento da precipitação, como esperado.



(a) Umidade relativa média mensal no cenário SSP5-8.5 (2090-2100)



(b) Umidade relativa média mensal no cenário SSP2-4.5 (2090-2100)



(c) Umidade relativa no período histórico (2003-2013)

**Figura 3.** Comportamento sazonal de umidade relativa das projeções dos modelos climáticos GFDL-ESM4, INM-CM5, MPI-ESM1-2, MRI-ESM2 e NorESM2-MM para o período de 2090 a 2100, nos cenários (a) SSP5-8.5 e (b) SSP2-4.5, e (c) período histórico. de 2003 a 2013.

Em geral, a avaliação da performance dos modelos para precipitação e umidade relativa por meio da análise estatística destacou que embora as projeções tivessem densidades semelhantes em sua distribuição, elas diferiram nos seus valores extremos (mínimos e máximos). A análise realizada indicou grande variabilidade de valores máximos e mínimos e de pontos exteriores (*outliers*) dos modelos. Os diferentes níveis de habilidade dos modelos em representar as variáveis climáticas de precipitação e umidade relativa para o Brasil, estão de acordo com o observado por Srivastava et al. (2020), que concluíram pela necessidade de se realizar uma análise de performance de modelo a modelo para seu emprego.



#### 4. CONCLUSÃO

Este trabalho fornece uma análise da performance das projeções de modelos climáticos para o Brasil, permitindo que sejam identificadas suas diferenças e similaridades. Há a necessidade de uma seleção criteriosa desses modelos, garantindo o uso de projeções confiáveis para o embasamento de formulações estratégicas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. É de extrema importância a produção de pesquisas futuras que explorem esses impactos para diferentes variáveis e setores e que sejam capazes de integrar dados mais precisos especialmente para o Brasil, que não possui um modelo climático próprio.

Apesar das limitações intrínsecas à modelagem climática, os modelos do CMIP6 oferecem oportunidades de avanço na ciência de mudanças climáticas permitindo uma melhor preparação da sociedade brasileira a partir da análise dessas projeções. A análise aprofundada dos resultados estatísticos para cada modelo serviu de base para a identificação de modelos mais realísticos para as variáveis selecionadas e a tomada de decisão quanto a inclusão de projeções específicas de modelos climáticos no cálculo de médias mensais e anuais. Os modelos para precipitação apresentaram níveis semelhantes de habilidades em projetar essa variável para o Brasil, com valores mínimos e máximos, *outliers* e distribuições semelhantes em seus dados. Dentre os quais para umidade relativa, foi removido do cálculo de médias o modelo MRI-ESM2.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Pelo apoio fornecido ao longo deste trabalho, agradeço ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

#### 6. REFERÊNCIAS

- BALLARIN, A. S. et al. CLIMBra: climate change dataset for Brazil. *Scientific Data*, v. 10, n. 47, 2023. DOI: 10.1038/s41597-023-01956-z.
- FAN, X. et al. Global surface air temperatures in CMIP6: historical performance and future changes. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 10, 2020. DOI: 10.1088/1748-9326/abb051.
- FIRPO, M. A. F. et al. Assessment of CMIP6 models performance in simulating present-day climate in Brazil. **Frontiers in Climate**, v. 4, p. 1-27, 948499, 2022. DOI: 10.3389/fclim.2022.948499.
- IPCC. Summary for policymakers. 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. Geneva: IPCC, 2023. p. 1-34. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. O comércio internacional e a sustentabilidade socioambiental no Brasil. **Comunicados do IPEA**, n. 79, p. 1-17, 2011. Disponível em: [https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/comunicado/110222\\_comunicadoipea79.pdf](https://portalantigo.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/comunicado/110222_comunicadoipea79.pdf). Acesso em: 02 maio 2024.
- MARAUN, D. Bias correcting climate change simulations: a critical review. **Current Climate Change Reports**, v. 2, p. 211-220, 2016. DOI: 10.1007/s40641-016-0050-x.



MASSON-DELMOTTE, V. et al. **Climate change 2021: the physical science basis**. Geneva: IPCC Sixth Assessment Report, 2021.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. Estatística Básica. 9. ed. São Paulo: Saraiva, 2017. 568 p.

RUOSTEENOJA, K. et al. Surface air relative humidities spuriously exceeding 100% in CMIP5 model output and their impact on future projections. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, n. 122, p. 9557-9568, 2017. DOI: 10.1002/2017JD026909.

SRIVASTAVA, A. et al. Evaluation of historical CMIP6 model simulations of extreme precipitation over contiguous US regions. **Weather and Climate Extremes**, v. 29, 2020. DOI: 10.1016/j.wace.2020.100268.

TORRES, R. R. et al. Socio-climatic hotspots in Brazil. **Climatic Change**, v. 115, p. 597–609, 2012. DOI: 10.1007/s10584-012-0461-1.

VOGEL, E. et al. An evaluation framework for downscaling and bias correction in climate change impact studies. **Journal of Hydrology**, v. 622, 2023. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2023.129693.

XAVIER, A. C. et al. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644–2659, 2021. DOI: 10.1002/joc.4518.