

## **XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS**

### **TENDÊNCIAS DETECTADAS E CENÁRIOS FUTUROS DE EXTREMOS CLIMÁTICOS NA AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA**

*Wanderson Luiz-Silva<sup>1</sup>; Anna Carolina Fernandes Bazzanela<sup>2</sup> & Claudine Pereira Dereczynski<sup>3</sup>*

**Abstract:** The objective of this study is to analyze the behavior of temperature and precipitation extremes in the Brazilian Legal Amazon (BLA) region in the current climate through the BR-DWGD database and to evaluate the projected changes at the end of the 21st century using 12 models from the Coupled Model Intercomparison Project – Phase 6 (CMIP6), under the Shared Socioeconomic Pathways scenario (SSP5-8.5). The results indicate a warming trend in the current climate throughout the ALB, which is more pronounced in the South (S) and Northeast (NE) sectors. In the future, warming will continue throughout the ALB, especially in the S and Northwest (NW) portions. In the S and NW, the highest maximum temperatures in the year will increase by about +7°C by 2100, relative to the present climate. Regarding precipitation extremes, there is a significant increase in consecutive wet days in the NW, currently the wettest part of the BLA. Specifically in the southeast BLA, there is a significant increase in consecutive dry days, which varies between +4 and +6 days/decade, while in the future, this increase will persist and also extend to the entire S sector, in addition to the reduction in total annual precipitation. In this sense, it is clear that in the future, the climate throughout the BLA will become warmer; however, the rainfall pattern will be different between regions: while in the NE and S, the climate will be drier, in the NW, the intensity of extreme rainfall will increase significantly at the end of the 21st century.

**Resumo:** O objetivo deste estudo é analisar o comportamento dos extremos de temperatura e precipitação na região da Amazônia Legal Brasileira (ALB) no clima presente através da base de dados BR-DWGD e avaliar as mudanças projetadas para o final do século 21 utilizando 12 modelos do Projeto de Intercomparação dos Modelos Acoplados – Fase 6 (CMIP6), sob cenário *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP5-8.5). Os resultados mostram uma tendência de aquecimento no clima presente em toda a ALB, sendo mais pronunciado nos setores Sul (S) e Nordeste (NE). No futuro, o aquecimento se manterá em toda a ALB, especialmente nas porções S e Noroeste (NO). No S e NO, as maiores temperaturas máximas no ano aumentarão em média +7°C até 2100, em relação ao clima presente. Em relação aos extremos de precipitação, nota-se um aumento significativo dos dias úmidos consecutivos no NO, porção atualmente mais úmida da ALB. Especificamente no sudeste da ALB, observa-se um aumento significativo dos dias secos consecutivos, que varia entre +4 a +6 dias/década, enquanto no futuro, essa elevação persistirá e se estenderá também para todo o setor S, além da redução da precipitação total anual. Nesse sentido, verifica-se que no futuro o clima em toda a ALB se tornará mais quente, no entanto, o padrão de chuvas será diferente entre as regiões: enquanto no NE e no S o clima será mais seco, no NO a intensidade das chuvas extremas aumentará expressivamente no final do século 21.

**Palavras-Chave** – Mudanças Climáticas; Precipitação; Temperatura

1) Departamento de Meteorologia – DMET, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. E-mail: wanderson@igeo.ufrj.br

2) Departamento de Meteorologia – DMET, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. E-mail: bazzanelaannacarolina@gmail.com

Departamento de Planejamento Energético, Comercialização de Energia e Regulação – DPC, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL

3) Departamento de Meteorologia – DMET, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. E-mail: claudine.dereczynski@igeo.ufrj.br

## 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia (AMZ) desempenha um papel climático importante em todo o planeta através do fornecimento de calor e vapor d'água para a atmosfera (Nobre *et al.*, 2009). Essa região abrange toda a floresta amazônica, que abriga cerca de 15% da biodiversidade global, sendo assim a região mais rica da Terra biologicamente, contribuindo para o funcionamento biogeoquímico do sistema terrestre (Marengo e Spinoza, 2016). Dada a sua importância, diversos estudos vêm investigando a relação entre as mudanças climáticas regionais e o desmatamento na AMZ.

Alguns estudos verificaram que as tendências observadas na precipitação são bastante heterogêneas na AMZ. Nas últimas décadas, nota-se um aumento na intensidade das chuvas no norte e uma redução no setor sul da região (Garcia *et al.*, 2018). Em relação à temperatura, um aumento é verificado em toda a extensão da AMZ, seguindo uma tendência de cerca de +0,2°C/década (Espinoza *et al.*, 2024).

A fim de verificar se essas tendências sobre a AMZ se propagarão no futuro, alguns estudos investigam as mudanças nos padrões de temperatura e precipitação através do uso de modelos climáticos globais. Contudo, ressalta-se que a Amazônia das próximas décadas pode ser ainda mais vulnerável do que os modelos climáticos supõem, uma vez que a mudança na cobertura e no uso da terra tem consequências ecológicas negativas (Perz *et al.*, 2008).

Desde 1995, o Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (*Coupled Model Intercomparison Project* – CMIP) tem organizado experimentos de modelos climáticos envolvendo grupos de modelagem climática internacional. Atualmente, o projeto CMIP se encontra em sua Sexta Fase (*The Sixth Phase of the Coupled Model Intercomparison Project* – CMIP6; O'Neill *et al.*, 2016), tendo sido utilizado no sexto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (2021). O estudo de Dias e Reboita (2021) destaca as melhorias dos modelos numéricos que integram o CMIP6 em relação à versão anterior, como a representação da precipitação na região tropical da América do Sul.

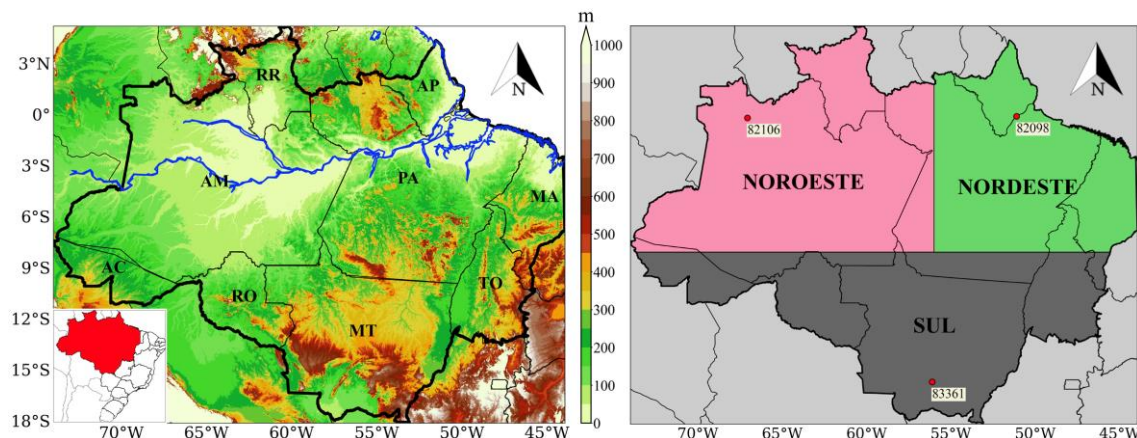
Aproximadamente 60% da AMZ se localiza no Brasil e ocupa 49% do território nacional. No entanto, há poucos estudos com foco nas projeções de extremos climáticos na Amazônia Legal Brasileira (ALB), o que reduz o nível de detalhamento da pesquisa. Ao considerar a extensão territorial da ALB, é importante refinar esse tipo de análise, respeitando as diferenças climáticas em cada um de seus setores. Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho é investigar as tendências de mudanças climáticas na região da ALB no clima presente e no clima futuro (2081-2100) através de indicadores de extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação.

## 2. DADOS E METODOLOGIA

### 2.1. Área de Estudo

A ALB é uma definição política atribuída pelo governo brasileiro à área da floresta Amazônica pertencente ao Brasil (Figura 1). Ela é composta por nove estados brasileiros: Acre (AC), Amapá (AP), Amazonas (AM), Mato Grosso (MT), Pará (PA), Tocantins (TO), Rondônia (RO), Roraima (RR), e oeste do Maranhão (MA). A ALB ocupa uma área de aproximadamente 5 milhões de quilômetros quadrados, respondendo por aproximadamente 70% da extensão espacial total das florestas tropicais do mundo.

Figura 1 – Área da ALB, delimitada pela linha preta grossa, sua topografia (colorido a cada 50 m) e localização do Rio Amazonas (em azul) à esquerda e as três subdivisões da área de estudo à direita: Noroeste (NO), Nordeste (NE) e Sul (S) da ALB. Fonte dos dados de topografia: *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).



## 2.2. Dados Observados

Neste trabalho adota-se como conjunto de dados observados os dados diários de temperaturas mínima e máxima do ar e precipitação do *Brazilian Daily Weather Gridded Data* (BR-DWGD; Xavier *et al.* 2022). Essa base de dados foi desenvolvida a partir da combinação das informações de estações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. O método de interpolação utilizado é o IDW - *Inverse Distance Weighted* e o ADW – *Angular Distance Weighting*. Além das variáveis temperatura do ar e precipitação, a plataforma disponibiliza também dados de evapotranspiração, radiação solar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Os dados do BR-DWGD abrangem o período de janeiro de 1961 até julho de 2020 (2022, no caso da precipitação) com uma resolução espacial de 0,1° de latitude por 0,1° de longitude.

## 2.3. Modelos CMIP6

Os modelos CMIP6 utilizados neste trabalho foram escolhidos com base no artigo de Bazzanella *et al.* (2024), que avaliou a performance de 28 modelos CMIP6 (28-CMIP6) sobre a América do Sul. Os autores identificaram os sete modelos que apresentam a melhor performance, denominado Top7-CMIP6-AS (ACCESS-ESM1-5, CMCC-ESM2, EC-EARTH3, MIROC6, MRI-ESM2-0, TaiESM1 e KACE-1-0-G) e os quatro modelos CMIP6 com pior performance sobre a América do Sul (AWI-ESM-1-1-LR, CAS-ESM2-0, IITM-ESM e NESM3). Essa seleção foi elaborada considerando a performance dos modelos para representar os campos de temperatura e precipitação, com ênfase nos modelos que obtiveram a melhor performance na simulação da precipitação no período do verão. Entretanto, os autores afirmam que o conjunto Top7-CMIP6-AS não apresentou melhorias significativas em relação ao conjunto 28-CMIP6.

Dessa forma, neste trabalho optou-se por utilizar o conjunto 28-CMIP6, excluindo apenas os quatro piores modelos apontados no estudo de Bazzanella *et al.* (2024). A partir dessa lista inicial de 24 modelos CMIP6, foi feita uma pesquisa em <https://esgf-data.dkrz.de/search/cmip6-dkrz/> a fim de identificar se os dados diários dos 24 modelos pré-selecionados estariam disponíveis para todos os períodos e cenários de interesse neste estudo. Nessa etapa da pesquisa identificou-se que apenas 12 modelos poderiam ser usados nesta pesquisa. Logo, neste trabalho, serão analisadas as projeções dos

indicadores de extremos climáticos para o final do século (2081-2100) sob o cenário SSP mais pessimista (SSP5-8.5) utilizando o conjunto desses 12 modelos.

## 2.4. Indicadores de Extremos Climáticos

Os indicadores de extremos climáticos utilizados nesta pesquisa foram elaborados pelo *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) da Comissão de Climatologia (CCI) da Organização Meteorológica Mundial – OMM. O conjunto dos 27 indicadores ETCCDI foi desenvolvido com base em dados diários de temperatura mínima, temperatura máxima e precipitação para identificação de tendências (Frich *et al.*, 2002). Originalmente, esta pesquisa analisou 20 índices de extremos climáticos, conforme a Tabela 1. A significância e a magnitude das tendências nas séries temporais destes índices foram calculadas através dos testes estatísticos de Mann-Kendall e da Curvatura de Sen, respectivamente (Sneyers, 1990).

Tabela 1 – Descrição dos Indicadores de Extremos Climáticos utilizados nesta pesquisa.

| ID       | Nome do Indicador                                | Definição  | Unidade |
|----------|--|--|---------|
| TMAXmean | Temp. Máxima (TX) Média                          | TX Média   | °C      |
| TMINmean | Temp. Mínima (TN) Média                          | TN Média   | °C      |
| DTR      | Amplitude Térmica Diária                         | Diferença Média Anual entre TX e TN  | °C      |
| TXx      | Máxima TX  | Maior temperatura máxima diária no ano   | °C      |
| TXn      | Mínima TX  | Menor temperatura máxima diária no ano   | °C      |
| TNx      | Máxima TN  | Maior temperatura mínima diária no ano   | °C      |
| TNn      | Mínima TN  | Menor temperatura mínima diária no ano   | °C      |
| TX90p    | Dias Quentes                                     | Nº de dias em que TX > Percentil 90  | dias    |
| TX10p    | Dias Frios                                       | Nº de dias em que TX < Percentil 10  | dias    |
| TN90p    | Noites Quentes                                   | Nº de dias em que TN > Percentil 90  | dias    |
| TN10p    | Noites Frias                                     | Nº de dias em que TN < Percentil 10  | dias    |
| WSDI     | Indicador de Duração das Ondas de Calor          | Contagem anual de dias com pelo menos 6 dias consecutivos quando TX > Percentil 90 | dias    |
| SU35     | Dias de Verão                                    | Contagem anual de dias quando TX > 35°C  | dias    |
| PRCPTOT  | Precipitação Total Anual                         | Precipit. (PRCP) total anual de dias com PRCP ≥ 1 mm                               | mm      |
| R95p     | Chuvas Intensas                                  | Precipitação total anual dos dias em PRCP > Percentil 95                           | mm      |
| RX5day   | Máximo acumulado de chuva em 5 dias consecutivos | Máxima PRCP em 5 dias consecutivos no ano  | mm      |
| SDII     | Intensidade da Precipitação                      | PRCPTOT dividido pelo nº de dias com PRCP ≥ 1 mm                                   | mm/dia  |
| R30mm    | Chuvas Severas                                   | Contagem anual de dias em que PRCP ≥ 30mm  | dias    |
| CDD      | Dias Secos Consecutivos                          | Número máximo de dias seguidos com PRCP < 1 mm                                     | dias    |
| CWD      | Dias Úmidos Consecutivos                         | Número máximo de dias seguidos com PRCP ≥ 1 mm                                     | dias    |

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Tendências Observadas

A Figura 2 apresenta as tendências dos indicadores associados aos valores extremos das temperaturas máximas e mínimas: TXx e TNx. Nesses campos é importante ressaltar que estão sendo selecionados os extremos de cada ano. Assim, por exemplo, TXx refere-se à média de 29 valores das maiores temperaturas máximas observadas em cada ano. Nota-se um aumento pronunciado de TXx nos setores oeste, leste e sudeste da ALB, se aproximando de +1°C/década, indicando uma tendência de que as maiores temperaturas máximas estão se elevando (Figura 2a). Observa-se que na região S da ALB os extremos quentes já se aproximam de 40°C ao longo da última década (Figura 2b), com



taxa média de aumento de  $+0,4^{\circ}\text{C}/\text{década}$  (Tabela 2). Em relação às tendências do indicador  $\text{TNx}$ , também há um sinal de aquecimento estatisticamente significativo em toda a extensão da ALB (Figura 2c). Nas porções oeste, norte e sul da área de estudo, a magnitude de aquecimento é de aproximadamente  $+0,4^{\circ}\text{C}/\text{década}$ , enquanto na porção leste, esse aquecimento é mais pronunciado, superando  $+0,8^{\circ}\text{C}$  por década em algumas localidades, como na região central do estado do Tocantins, no sudeste do Pará e no nordeste de Mato Grosso, que engloba a bacia do Rio Xingu. Tal elevação em  $\text{TNx}$  no decorrer das últimas décadas são observadas nas séries temporais exibidas na Figura 2d, já passando dos  $25^{\circ}\text{C}$  na última década. A Tabela 2 reforça que todos os indicadores de extremos de temperatura apresentam tendências significativas de elevação em toda a ALB no decorrer dos últimos anos. Vale destacar o aumento da frequência de dias quentes ( $\text{TX90p}$ ) em torno de  $+10$  dias/década em praticamente toda a ALB.

Figura 2 – Tendências observadas em  $^{\circ}\text{C}/\text{década}$  (à esquerda) e séries temporais em  $^{\circ}\text{C}$  calculadas nas regiões NO, NE e S da ALB (à direita) para o período 1961-2019 dos indicadores de extremos climáticos associados à temperatura do ar: (a) e (b)  $\text{TXx}$ , e (c) e (d)  $\text{TNx}$ . Nas tendências observadas, áreas sem pontilhado representam tendências estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95%.

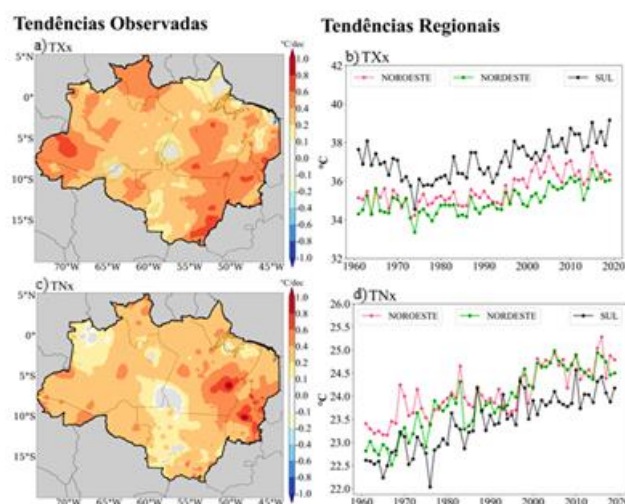


Tabela 2 – Magnitudes das tendências dos indicadores de extremos de temperatura do ar no período 1961-2019, considerando as regiões NO, NE e S da ALB. Valores em negrito denotam tendências estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95%.

| Indicadores       | NO           | NE           | S            | Unidade                        |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------|
| $\text{TMAXmean}$ | <b>+0,3</b>  | <b>+0,2</b>  | <b>+0,2</b>  | $^{\circ}\text{C}/\text{déc.}$ |
| $\text{TMINmean}$ | <b>+0,3</b>  | <b>+0,4</b>  | <b>+0,3</b>  | $^{\circ}\text{C}/\text{déc.}$ |
| DTR               | 0            | <b>-0,2</b>  | <b>-0,1</b>  | $^{\circ}\text{C}/\text{déc.}$ |
| $\text{TXx}$      | <b>+0,3</b>  | <b>+0,3</b>  | <b>+0,4</b>  | $^{\circ}\text{C}/\text{déc.}$ |
| $\text{TXn}$      | <b>+0,2</b>  | <b>+0,1</b>  | <b>+0,1</b>  | $^{\circ}\text{C}/\text{déc.}$ |
| $\text{TNx}$      | <b>+0,3</b>  | <b>+0,4</b>  | <b>+0,3</b>  | $^{\circ}\text{C}/\text{déc.}$ |
| $\text{TNn}$      | <b>+0,3</b>  | <b>+0,5</b>  | <b>+0,4</b>  | $^{\circ}\text{C}/\text{déc.}$ |
| $\text{TX90p}$    | <b>+10,8</b> | <b>+10,5</b> | <b>+8,1</b>  | dias/déc.                      |
| $\text{TX10p}$    | <b>-6,8</b>  | <b>-9,4</b>  | <b>-3,7</b>  | dias/déc.                      |
| $\text{TN90p}$    | <b>+14</b>   | <b>+11,9</b> | <b>+13</b>   | dias/déc.                      |
| $\text{TN10p}$    | <b>-14,6</b> | <b>-34,0</b> | <b>-16,9</b> | dias/déc.                      |
| WSDI              | <b>+2,3</b>  | <b>+2,2</b>  | <b>+1,7</b>  | dias/déc.                      |
| SU35              | <b>+4,3</b>  | <b>+3,6</b>  | <b>+8,0</b>  | dias/déc.                      |

Na Figura 3, são apresentadas as tendências dos indicadores de precipitação R95p e CDD. Climatologicamente, os maiores valores de R95p são observados na porção central, oeste e norte da ALB. As tendências observadas mostram uma predominância de redução dos acumulados anuais dos eventos de chuvas intensas na região de estudo (Figura 3a). A magnitude dessa tendência é mais acentuada na porção centro-oeste da ALB, com algumas áreas ultrapassando os -150 mm/década, região onde a intensidade dos eventos extremos de chuva é maior. De fato, a evolução temporal de R95p mediada nas três regiões da ALB mostra uma queda acentuada no decorrer das últimas décadas (Figura 3b), especialmente na região NO, onde a taxa média de decréscimo é de -62,3 mm/década (Tabela 3). Nos setores leste e sudeste da área de estudo, observa-se que algumas localidades apresentam uma sutil tendência de aumento, inferior a +25 mm/década. Em relação às tendências de CDD, há uma tendência significativa de aumento dos dias secos consecutivos no sudeste da ALB (Figura 3c), onde a magnitude da tendência alcança +4 dias/década, ou seja, provavelmente há um prolongamento da estação seca. Na região S da ALB, CDD apresentou aumento a partir da década de 1980, passando de 60 dias nos anos 1970 para 70 dias nos anos 2010 (Figura 3d). A Tabela 3 mostra que os dias úmidos consecutivos (CWD) também estão aumentando em praticamente toda a ALB, principalmente no NO, já considerada a região mais chuvosa da área de estudo.

Figura 3 – Tendências observadas (à esquerda) e séries temporais calculadas nas regiões NO, NE e S da ALB (à direita) para o período 1961-2022 dos indicadores de extremos climáticos associados à precipitação: (a) e (b) R95p, e (c) e (d) CDD. Nas tendências observadas, áreas sem pontilhado representam tendências estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95%.

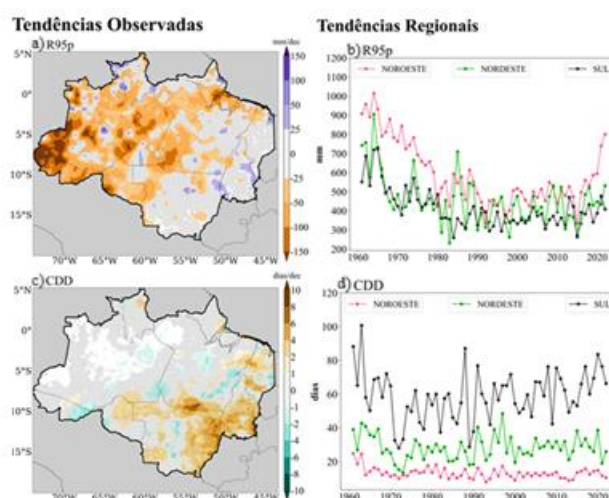


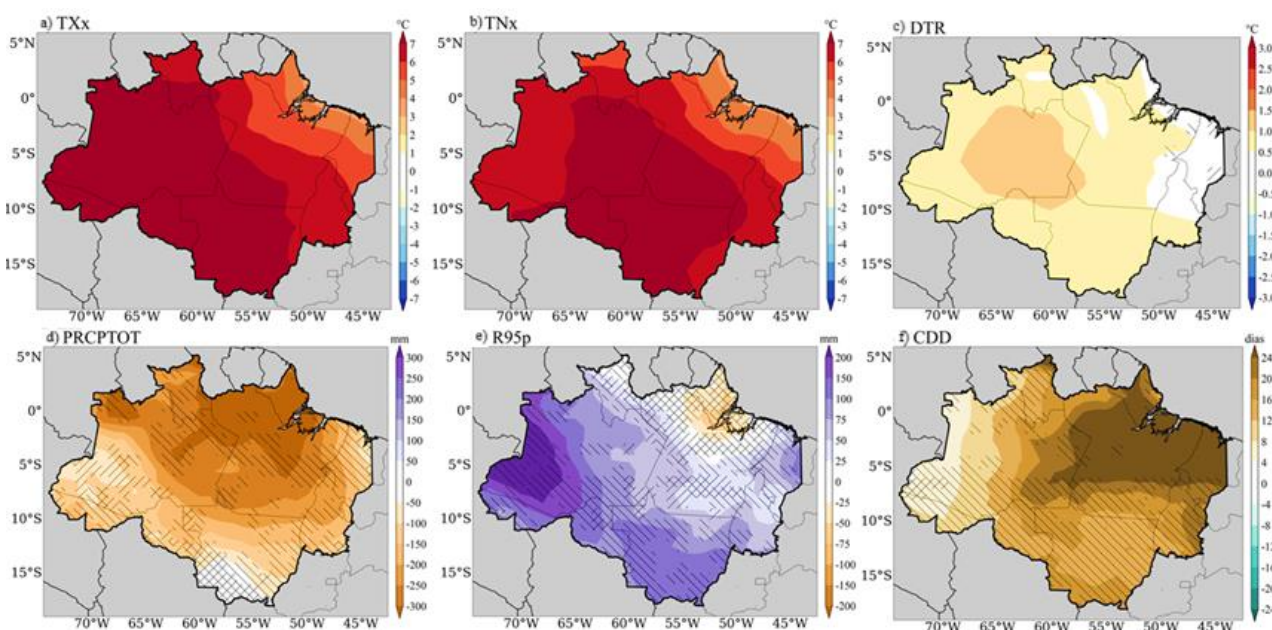
Tabela 3 – Magnitudes das tendências dos indicadores de extremos climáticos associados à precipitação no período 1961-2022, considerando as regiões NO, NE e S da ALB. Valores em negrito denotam tendências estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95%.

| Indicadores   | NO           | NE           | S            | Unidade     |
|---------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| PRCPTOT       | +3,0         | -0,7         | -4,0         | mm/déc.     |
| <b>R95p</b>   | <b>-62,3</b> | <b>-23,5</b> | <b>-27,3</b> | mm/déc.     |
| <b>RX5day</b> | <b>-2,6</b>  | -1,4         | <b>-2,3</b>  | mm/déc.     |
| <b>SDII</b>   | <b>-0,3</b>  | -0,1         | <b>-0,1</b>  | mm/dia/déc. |
| <b>R30mm</b>  | <b>-1,2</b>  | <b>-0,4</b>  | <b>-0,4</b>  | dias/déc.   |
| <b>CDD</b>    | <b>-0,4</b>  | +0,1         | +1,8         | dias/déc.   |
| <b>CWD</b>    | <b>+3,2</b>  | <b>+2,2</b>  | <b>+1,0</b>  | dias/déc.   |

### 3.2. Projeções para o Período 2081-2100

A Figura 4 apresenta as mudanças projetadas para o clima futuro em relação ao clima presente de alguns dos indicadores de extremos climáticos examinados nesta pesquisa. As projeções de TXx apontam para um aquecimento significativo em toda a ALB, com destaque para a porção central e os setores sul e oeste, região onde as projeções indicam um aumento mais pronunciado desses extremos de temperatura máxima (Figura 4a). Até o final do século 21, destaca-se um incremento entre +6 e +7°C em aproximadamente toda a ALB para TXx, com exceção do setor nordeste, onde a magnitude diminui gradativamente com a proximidade da costa. TNx segue um padrão bastante similar, com aumento acentuado que atinge valores entre +6 e +7°C em grande parte da ALB, com exceção do setor nordeste (Figura 4b). A porção S é a região com o maior incremento de extremos de temperatura mínima. As projeções da amplitude térmica são resposta ao aumento mais expressivo de TMAXmean em relação a TMINmean, isso porque as mudanças projetadas para o DTR até 2100 são significativas e superiores a +0,5°C em algumas áreas da ALB, com exceção do setor leste (Figura 4c). O aumento mais acentuado na amplitude térmica diária é projetado para o Estado do Amazonas, que engloba o setor NO da ALB, indicando um aumento por volta de +0,9°C nessa região (Figura 4.10f).

Figura 4 – Mudanças projetadas para o período 2081-2100 dos indicadores de extremos climáticos relacionados à temperatura (a) TXx, (b) TNx e (c) DTR e à precipitação (d) PRCPTOT, (e) R95p e (f) CDD, conforme o cenário SSP5-8.5 do IPCC. Áreas não hachuradas indicam mudanças robustas (mudanças estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95% e onde pelo menos 66% dos modelos concordam com a direção do sinal da mudança). Linhas tracejadas à esquerda indicam áreas onde a mudança projetada não é estatisticamente significativa. Linhas tracejadas à direita representam regiões sem concordância entre os modelos.



As projeções para o final do século 21 indicam uma redução na precipitação total anual (PRCPTOT) na porção central e norte da ALB, região onde os modelos concordam com o sinal da mudança, apesar de não haver significância estatística (Figura 4d). No caso de PRCPTOT, a diferença entre os setores norte-sul é bem evidente: quanto mais ao norte, maior é a redução nos volumes de chuva. Por outro lado, projeta-se um aumento na magnitude das chuvas mais intensas (R95p), entre +75 e +150 mm no setor oeste da ALB (Figura 4e), onde, na climatologia, os valores médios desse indicador já são mais elevados. No caso do CDD, fica evidente que há uma diferença longitudinal na distribuição espacial do indicador: áreas onde se projeta um aumento acentuado de CDD estão ao



leste da ALB, enquanto no oeste, além da concordância entre os modelos ser menor, o sinal da mudança é pouco expressivo em termos da magnitude (Figura 4f). No NE, o aumento de CDD é bastante significativo e alcança aproximadamente +20 dias até 2100.

#### 4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi feita uma investigação das tendências de mudanças climáticas na ALB. Na primeira etapa foi realizada uma análise das tendências verificadas no período 1961-2019 (1961-2021) para os extremos de temperatura do ar (precipitação) usando o conjunto de dados BR-DWGD. Na segunda etapa do trabalho foram examinadas as projeções de mudanças dos mesmos indicadores de extremos climáticos no clima futuro de longo prazo (2081-2100) em relação ao clima de referência (1995-2014), sob o cenário SSP5-8.5 a partir de dados de 12 modelos climáticos globais do CMIP6.

Acerca das tendências observadas nos extremos de temperatura, nota-se um aquecimento significativo em toda a ALB. Nos campos médios destaca-se a magnitude da tendência em TMINmean (+0,4°C/década no NE) que é maior em comparação à TMAXmean (+0,3°C/década no NO), o que se traduz na redução de DTR no NE. Nos indicadores de extremos, TXx e TNx aumentaram aproximadamente +0,5°C/década em grande parte da ALB. No caso dos indicadores de precipitação, as tendências não são tão uniformes e apresentam poucas áreas com sinal estatisticamente significativo. Nos setores norte e oeste da ALB, há um sinal significativo tanto de aumento quanto de redução de PRCPTOT. Em relação ao CDD, há uma tendência significativa de aumento de +4 a +8 dias/década na porção leste e sudeste. No indicador CWD, a tendência de aumento é significativa em diversas áreas do oeste e do norte da ALB.

No que se refere às mudanças projetadas nos extremos de temperatura, verifica-se que todos os indicadores apontam para um aquecimento acentuado e estatisticamente significativo ao longo do século 21 em toda a ALB. Nos indicadores de extremos de temperatura máxima (TXx e TXn), projeta-se um aumento mais pronunciado nas porções central, oeste e sul da ALB. As projeções dos indicadores de precipitação abrangem poucas áreas com significância estatística. Em relação à PRCPTOT, projeta-se uma redução em toda a região, e em maior magnitude no setor norte. Por fim, projeta-se um aumento significativo de CDD para o final do século em algumas áreas do centro-norte da ALB, e nas demais regiões, os modelos concordam com o sinal da mudança.

A Amazônia contém uma acentuada biodiversidade e uma função vital nos múltiplos usos dos recursos hídricos, como agricultura, energia e irrigação. Desse modo, é fundamental que as tendências observadas sejam continuamente analisadas, enquanto as projeções futuras devem sempre ser reavaliadas em função de novos cenários e modelos climáticos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAZZANELA, A.C.; DEREZYNSKI, C.; LUIZ-SILVA, W.; REGOTO, P. (2024) “Performance of CMIP6 models over South America”. *Climate Dynamics* 62, pp. 1501-1516.
- DIAS, C.G.; REBOITA, M.S. (2021) “Assessment of CMIP6 simulations over tropical South America”. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14(3), pp. 1282-1295.
- ESPINOZA, J.-C.; JIMENEZ, J.C.; MARENGO, J.A.; SCHONGART, J; *et al.* (2024) “The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features”. *Scientific Reports* 14, 8107.



FRICH, P.; ALEXANDER, L.V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; *et al.* (2002) “*Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century*”. *Climate Research* 19, pp. 193-212.

GARCIA, B.N.; LIBONATI, R.; NUNES, A.M.B. (2018) “*Extreme drought events over the Amazon basin: the perspective from the reconstruction of South American hydroclimate*”. *Water* 10(11), 1594.

IPCC (2021) “*Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*” [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

MARENGO, J.A.; ESPINOZA, J.C. (2016) “*Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts*”. *International Journal of Climatology* 36(3), pp. 1033-1050.

NOBRE, P.; MALAGUTTI, M.; URBANO, D.F.; ALMEIDA, R.A.F.; GIAROLLA, E. (2009) “*Amazon deforestation and climate change in a coupled model simulation*”. *Journal of Climate* 22(21), pp. 5685-5697.

O’NEILL, B.C.; TEBALDI, C.; VAN VUUREN, D.P.; EYRING, V.; *et al.* (2016) “*The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6*”. *Geoscientific Model Development* 9(9), pp. 3461-3482.

PERZ, S.; BRILHANTE, S.; BROWN, F.; CALDAS, M.; *et al.* (2008) “*Road building, land use and climate change: prospects for environmental governance in the Amazon*”. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363(1498), pp. 1889-1895.

SNEYERS, R. (1990) “*On the statistical analysis of series of observations*”. World Meteorological Organization (WMO), Technical Note 143, 192.

XAVIER, A.C.; SCANLON, B.R.; KING, C.W.; ALVES, A.I. (2022) “*New improved Brazilian daily weather gridded data (1961-2020)*”. *International Journal of Climatology* 42(16), pp. 8390-8404.

## AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao auxílio do Programa de Apoio a Docente Recém-Doutor Antonio Luis Vianna (ALV) 2023/2024 da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) por meio do Edital CEPG N° 565 de 11 de abril de 2023 e Processo N° 23079.222807/2023-98. Os recursos de tal projeto são gerenciados pela Fundação COPPETEC, sediada na Cidade Universitária da UFRJ.