

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE DA TENDÊNCIA DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA ATMOSFÉRICA NO BRASIL

José Micael Ferreira da Costa¹; Cleiton da Silva Silveira²; Alexandre Cunha Costa³;

Antonio Duarte Marcos Junior⁴ & Suellen Teixeira Nobre Gonçalves⁵

Abstract: There are evidences that the climate on the planet has been undergoing variations over the years, resulting in climate events that are becoming increasingly extreme, such as heavy raining. The objective of this study was to verify the behavior and the tendency of heavy rain in Brazil, and the possible correlations with the atmosphere temperature. The methodology utilizes Climate Extremes Index (CEI), and in each one of them were applied Mann-Kendall Test (MKT) and Sen's Slope (SS), were applied to evaluate the statistical significance of the trends in climate extremes, as well as measure the magnitudes, respectively. Then, it was calculated Pearson's Correlate Coefficient (PCC) between indexes. The total period of analysis was between 1991 to 2022. The MKT and SS results presented tendencies of extreme raining increase in the South, North, parts of the Northeast and Southeast coastline, and the trend of decrease in the Midwest, Southeast and North. There are, too, trend of increase in the maximum temperature (TX) and the minimum temperature (TN) in the whole country. The PCCs were significant, between total/extreme rainfall and temperature, as follows: Northeast and Southeast (negative PCCs for TX); North and South (positive PCCs for TN). There are some areas where the SS and PCCs presented non-linear interdependence between these climatic variables. Therefore, the changes on the temperatures climate pattern can contribute to the extreme precipitation events trends to increase in different areas of Brazil.

Resumo: Existem evidências de que o clima no Planeta vem sofrendo variações ao longo dos anos, as quais têm gerado eventos climáticos que estão se tornando cada vez mais extremos, como os de chuvas intensas. O objetivo deste estudo foi verificar o comportamento e a tendência das chuvas extremas no Brasil, e suas possíveis correlações com as tendências da temperatura atmosférica. A metodologia utilizou Índices de Extremos Climáticos e em cada um deles foi aplicado o Teste de Mann-Kendall (TMK) e a Declividade de Sen (DS), para avaliar a significância estatística das tendências dos extremos climáticos, assim como mensurar as magnitudes, respectivamente. Em seguida, foi calculado o Coeficiente de Correlação de Pearson (CCP) entre Índices. O período total de análise foi de 1991 a 2022. Os resultados da TMK e DS mostraram tendência de aumento das chuvas extremas nas regiões Sul, Norte, partes do Nordeste e na faixa litorânea do Sudeste, e tendência de diminuição no Centro-Oeste, Sudeste e Norte. Também houve tendência de aumento da temperatura máxima (TX) e temperatura mínima (TN) na maior parte do país. Os CCPs foram

1) Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Fortaleza, CE: jmicaelcosta@alu.ufc.br;

2) Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Fortaleza, CE: cleitonsilveira@ufc.br;

3) Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável (IEDS), Redenção, CE: cunhacos@unilab.edu.br;

4) Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Fortaleza, CE: duarte.junior@alu.ufc.br;

5) Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Fortaleza, CE: suellen.nobre@alu.ufc.br.

significativos, entre as chuvas totais/extremas e as temperaturas, do seguinte modo: regiões Nordeste e Sudeste (CCPs negativas para TX); Sul e Norte (CCPs positivas para TN). Houve então locais onde as DSs e os CCPs apresentaram interdependência não linear entre essas variáveis climáticas. Assim, a mudança no padrão climático das temperaturas pode estar contribuindo para a tendência de aumento dos eventos extremos de precipitação em várias regiões do Brasil.

Palavras-Chave – Chuvas intensas; Temperaturas elevadas; Mudanças Climáticas.

1 INTRODUÇÃO

A variabilidade espacial e temporal da precipitação é base para diferentes áreas de pesquisa, como: planejamento territorial, agricultura, recursos hídricos, energia, desastres naturais e saúde pública (Freire *et al.*, 2023; Costa *et al.*, 2022; Chagas *et al.*, 2022). Em decorrência do aquecimento global, observa-se um aumento na frequência, distribuição e intensidade dos eventos extremos de precipitação. Os mesmos são caracterizados por precipitações intensas, muito acima da média histórica de uma região, e podem ser consideradas elevadas (acima do percentil 95) e extremas (acima do percentil 99) de acordo com sua distribuição de frequências. Tais eventos desencadeiam a ocorrência de alagamentos, inundações e movimentos de massa úmida. Sua intensificação acarreta riscos para a segurança da população, danos à infraestrutura, interrupções no fornecimento de água e energia, agravos na saúde, impactos econômicos, destruição de áreas agrícolas e florestais, e um agravamento das desigualdades sociais (Rocha, 2021; Cardoso *et al.*, 2020; Moreira *et al.*, 2020).

À nível global, a magnitude da precipitação extrema aumentou (Donat *et al.*, 2016). Houve o crescimento médio de 5,9% a 7,7% do máximo de precipitação anual diária, que corresponde ao aumento teórico de Clausius-Clapeyron (6-7% / °C) na capacidade de retenção de umidade da atmosfera devido a temperaturas mais altas (Sun *et al.*, 2021; Fowler *et al.*, 2021). No Brasil, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) relata que, no ano de 2017, aproximadamente três milhões de pessoas foram impactadas por inundações e alagamentos (ANA, 2018). Cada região do país enfrenta desafios específicos em relação a sua capacidade de lidar com os impactos dos eventos extremos. Isso ocorre devido a diferenças geográficas, socioeconômicas e ambientais, que influenciam as deficiências de cada localidade na preparação e na resposta a esses eventos, como aponta o estudo de Perez *et al.* (2020).

O objetivo deste estudo foi verificar o comportamento e evolução dos eventos extremos de precipitação no Brasil, identificando possíveis padrões na distribuição geográfica, tendências em suas séries históricas e possíveis correlações com as tendências da temperatura atmosférica.

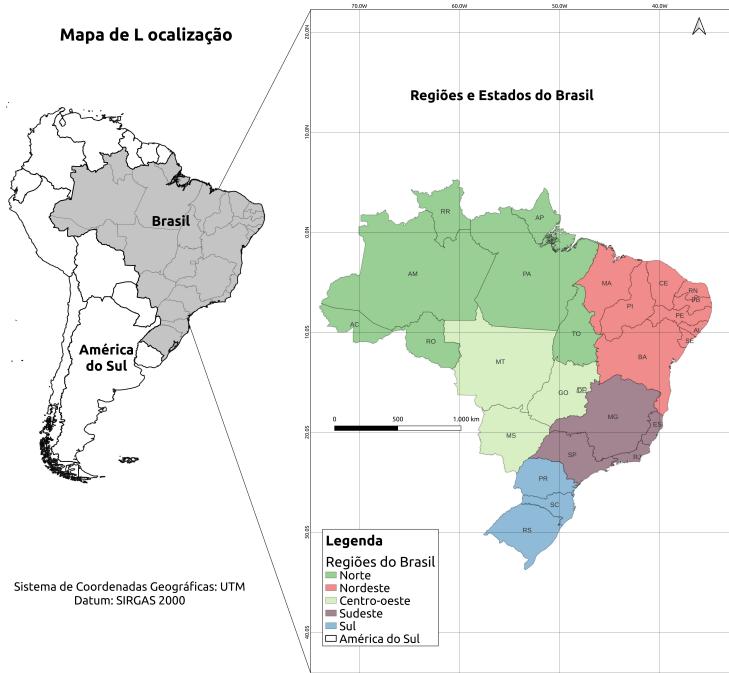
2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde ao território brasileiro (Figura 1), o maior país da América do Sul. Com uma extensão territorial de 8,5 milhões de quilômetros quadrados, o Brasil ocupa a quinta posição entre os maiores países do mundo em termos de área (Brasil, 2022).

O país está dividido em cinco regiões geográficas distintas: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul. Cada região possui características distintas em termos de clima, solo, pluviosidade, fauna, flora, cultura, economia e relevo. O Brasil conta com 26 estados federados e um Distrito Federal, onde está localizada a capital do país, Brasília (Brasil, 2022; Cavalcanti, 2016).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.



2.2 Dados

O Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD) é um conjunto de dados meteorológicos em escala diária para o Brasil [resolução de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$], o qual fornece dados de precipitação (Pr, mm); temperatura máxima e mínima (Tmax, Tmin: $^{\circ}\text{C}$); radiação solar (Rs: MJ/m^2); umidade relativa (UR: %); velocidade do vento a 2 metros (u2: m/s) e evapotranspiração potencial (ETo: mm). Os dados foram compilados por Xavier *et al.* (2022), e sua série temporal atual corresponde ao período de 1961-2022, para a Pr, e entre os anos de 1961-2020 para as demais variáveis meteorológicas.

Neste estudo, foram utilizados os dados de Pr para os 32 anos mais recentes disponíveis, entre os anos de 1991-2022. Já os dados de Tmax e Tmin utilizados foram para o período de 1991-2020 (30 anos). Este mesmo período foi usado para a Pr ao correlacioná-la com as temperaturas.

2.3 Índices de Avaliação da Precipitação Extrema e da Temperatura Máxima e Mínima

Nesta etapa, foram adotados os Índices de Extremos Climáticos (IEC) relacionados à Avaliação da Precipitação Elevada e Extrema (APEE) e Avaliação das Temperaturas Máxima e Mínima (ATMM), aplicados a todo o território brasileiro, conforme estudos propostos e aplicados em diferentes regiões do mundo, como os de: Zhu *et al.* (2022); Regoto *et al.* (2021); Yaduvanshi *et al.* (2021); Yao *et al.* (2021); Manton *et al.* (2001). A Tabela 1 exibe tais índices, assim como suas siglas, definições e unidades de medida utilizadas para cada análise.

A PRTOT foi obtida através da média entre os valores acumulados de precipitação ao longo de cada ano analisado. Ou seja, foi feita a climatologia de cada região do país, para que se entenda a distribuição espacial pluviométrica em toda a área de estudo adotada.

O ISID foi feito utilizando-se da quantificação dos dias com precipitação (DPR) (chuvas maiores ou iguais a 1 mm), e através deles foi realizado a média diária da precipitação ocorrida nesses dias chuvosos. Foi possível encontrar também a intensidade média das chuvas, expressa em milímetros por dia.

A PDCE-P95 e PDCE-P99, estão relacionadas aos percentis de precipitação obtidos pela série histórica de DPR. Baseado nisso, foram então calculados o P95 e o P99, que segundo Manton *et al.*

(2001) estão relacionados às chuvas elevadas e extremas, respectivamente. A PDCE-95 e a PDCE-99 são a média (ou proporção) entre as chuvas elevadas ($\geq P95$) ou extremas ($\geq P99$) e toda a precipitação ocorrida em um ano. Em seguida, foi realizada a média entre os valores destes somatórios anuais realizados.

A métrica TX-M foi obtida através da média anual simples entre os valores diários de temperatura máxima. A mesma lógica foi aplicada à métrica TN-M, que foi obtida através da média anual simples entre os dados diários de temperatura mínima.

A ATD, por sua vez, relacionou os dados diários das temperaturas máximas e mínimas através da diferença entre seus valores, obtendo assim o quanto as temperaturas variaram ao longo de cada dia dentro o período proposto.

Tabela 1 - Índices de extremos climáticos, com suas nomenclaturas, definições e unidades.

| SIGLA | NOME | DEFINIÇÃO | UNIDADE |
|---------------------------------------|---|--|----------|
| Precipitação | | | |
| 1) PRTOT | Precipitação Total | Precipitação anual acumulada | (mm/ano) |
| 2) ISID | Índice Simples de Intensidade Diária | Precipitação média em dias chuvosos | (mm/dia) |
| 3) PDCE-P95 | Proporção de Dias com Chuvas Elevadas (P95) | Porcentagem da precipitação total anual de dias com precipitação \geq percentil 95 | (%) |
| 4) PDCE-P99 | Proporção de Dias com Chuvas Extremas (P99) | Porcentagem da precipitação total anual de dias com precipitação \geq percentil 99 | (%) |
| Temperaturas Máximas e Mínimas | | | |
| 1) TX-M | Temperatura Máxima (TX) Média | Média anual entre as temperaturas máximas diárias | (°C/ano) |
| 2) TN-M | Temperatura Mínima (TN) Média | Média anual entre as temperaturas mínimas diárias | (°C/ano) |
| 3) ATD | Amplitude Térmica Diária | Média anual entre as diferenças das temperaturas máximas e mínimas diárias | (°C/ano) |

2.4 Análise de tendências: Teste de Mann-Kendall e Declividade de Sen

A análise de tendência foi realizada para todos os índices de APEE e ATMM, usando o Teste de Mann-Kendall (TMK), juntamente com a Declividade de Sen (DS). Segundo Yue e Wang (2004), a aplicação da estatística do teste de Mann-Kendall a uma amostra de “n” variáveis aleatórias, independentes e distribuídas de forma idêntica, é realizada por meio da Equação (1) e (2):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(X_j - X_i) \quad (1)$$

onde, S = são os valores da série temporal em intervalos de tempo iguais; i e j = os índices de tempo; n = número de elementos da série temporal. E ainda:

$$sgn(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & se (X_j - X_i) > 0; \\ 0 & se (X_j - X_i) = 0; \\ -1 & se (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

De acordo com o teste de hipótese nula (H_0), que pressupõe não haver tendência, isto é válido para o teste de Mann-Kendall quando os valores de p são inferiores aos valores críticos (chamados de alfa) – neste caso alfa = 0,05 (usado para obter nível de significância de 95%). Ou seja: $p < \text{alfa}$, não tem tendência; $p \geq \text{alfa}$, há tendência. Mais detalhes podem ser vistos em Yue e Wang (2004).

O estimador de Sen (Q) é geralmente utilizado como complemento ao teste de Mann-Kendall. Este estimador fornece a magnitude das tendências detectadas (Sen, 1968). Segundo Sen (1968), esse valor é estimado através da Equação (3):

$$Q_{ij} = \frac{X_j - X_i}{j - i}, \text{ com } i < j \quad (3)$$

em que, “Xi” e “Xj” estão relacionados aos valores da variável em estudo nos momentos “i” e “j”.

2.5 Correlação de Pearson

O Coeficiente de Correlação de Pearson (CCP) é uma métrica estatística que mede a força e a direção de uma relação linear entre duas variáveis aleatórias. Historicamente, é a primeira medida formal de correlação e ainda é uma das mais utilizadas (Zhou *et al.* 2016). O CCP de duas variáveis X e Y é formalmente definido como a covariância entre estas duas variáveis (a qual indica o nível em que as mesmas variam juntas) divididas pelo produto de seus desvios padrão (que atua como fator de normalização), e pode ser definido de forma equivalente por:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \sum (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

onde, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N x_i$ denota a média de x ; $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N y_i$ denota a média de y ; o coeficiente r_{xy} varia de -1 a 1 e é invariante às transformações lineares de qualquer uma das variáveis.

Desse modo, é possível identificar se as variáveis estão positivamente, negativamente ou não correlacionadas, em um intervalo de +1 (diretamente relacionadas) a -1 (inversamente relacionadas), com 0 denotando a ausência de relação entre as variáveis, respectivamente (Adler e Parmryd, 2010). Para a análise das correlações, utilizou-se a classificação definida por Hinkle *et al.* (2003), conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Regra prática para interpretação do intervalo do coeficiente de correlação.

| Intervalo de Correlação | Interpretação |
|--|---------------|
| ±0,9 a ±1,0 (<-0,9 ou >0,9) | Muito alta |
| ±0,7 a ±0,9 (-0,7 a -0,9 ou 0,7 a 0,9) | Alta |
| ±0,5 a ±0,7 (-0,5 a -0,7 ou 0,5 a 0,7) | Moderada |
| ±0,3 a ±0,5 (-0,3 a -0,5 ou 0,3 a 0,5) | Baixa |
| ±0,0 a ±0,3 (-0,3 a 0,3) | Muito baixa |

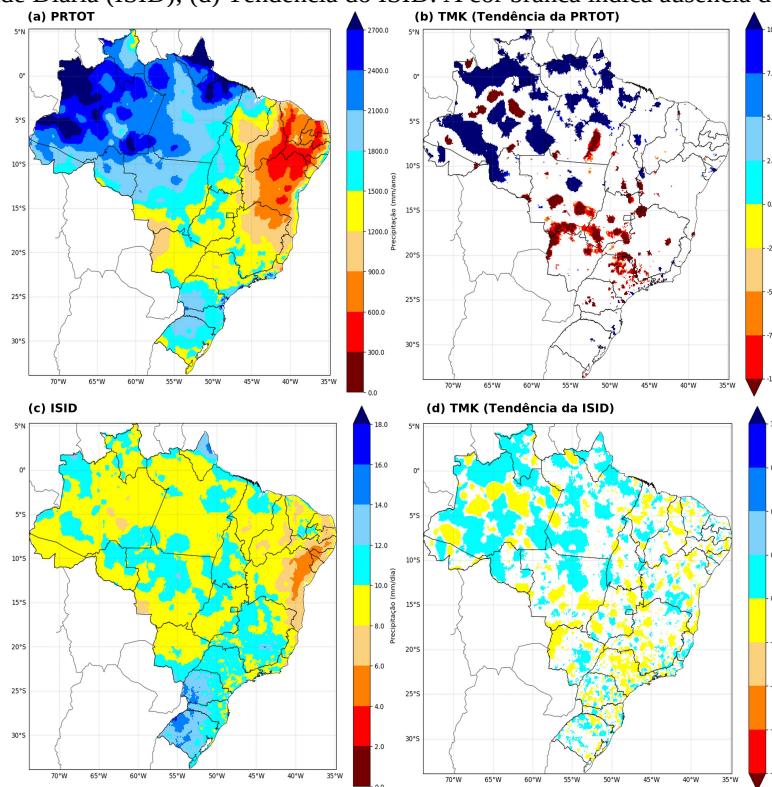
3. RESULTADOS

3.1 Precipitação Total (PRTOT) e o Índice Simples de Intensidade Diária (ISID)

Os valores médios das precipitações totais anuais acumuladas (PRTOT) são apresentados na Figura 2a. A região Norte possui os maiores acumulados anuais de precipitação, enquanto que a região Nordeste apresenta os menores. A Figura 2b, seus valores sugerem que há tendência positiva em grande parte da região Norte, e tendência negativa em parte da região Centro-Oeste e diferentes locais do Sudeste.

O ISID (Figura 2c) mostra que as regiões com menores e maiores precipitações diárias são o Nordeste e o Sul, respectivamente. A DS correspondente à ISID é apresentada na Figura 2d e demonstra haver sinal de tendência positiva principalmente nas regiões Norte, Sul. O Nordeste e Centro-Oeste apresentam tanto áreas com tendência positiva quanto negativa, contudo áreas com tendência negativa são superiores.

Figura 2 - Mapa do Brasil contendo: (a) Precipitação Total (PRTOT); (b) Tendência da PRTOT; (c) Índice Simples de Intensidade Diária (ISID); (d) Tendência do ISID. A cor branca indica ausência de tendência.

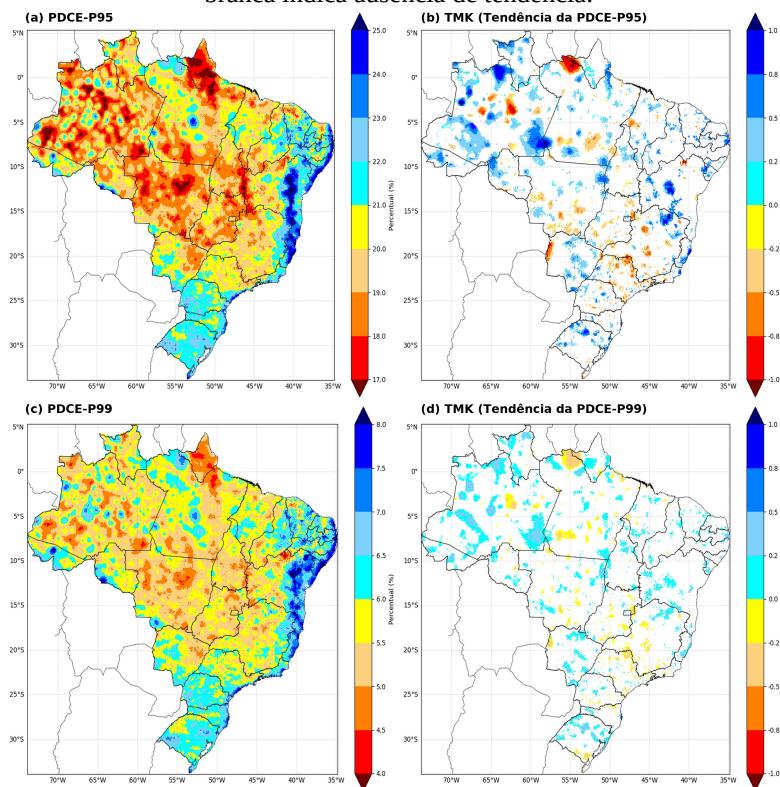


3.2 Proporção de Dias com Chuvas Elevadas (PDCE-P95) e Proporção de Dias com Chuvas Extremas (PDCE-P99)

A proporção de dias com chuvas elevadas (PDCE-P95) é exposta na Figura 3a. Os resultados sugerem que os estados das regiões Norte e Centro-Oeste, possuem os índices percentuais mais baixos. O Sul foi, no geral, a região com o maior percentual médio, tendo quase todo seu território com números acima dos 21%. A DS obtida para a PDCE-95 anual (Figura 3b) mostra tendência de aumento da PDCE-95 nas regiões Norte, Nordeste e Sul, e tendência de diminuição nas regiões Centro-Oeste e Sudeste.

A Figura 3c apresenta a proporção de dias com chuvas extremas (PDCE-P99). Verifica-se que o Sul foi, no geral, a região com o maior percentual médio. A DS da PDCE-P99 (Figura 3d), mostra a maior parte do país com tendências positivas, com maior frequência nas regiões Norte, Nordeste e Sul. A tendência negativa destas chuvas foi maior detectada em algumas porções dos estados do Pará, Goiás, Minas Gerais e São Paulo.

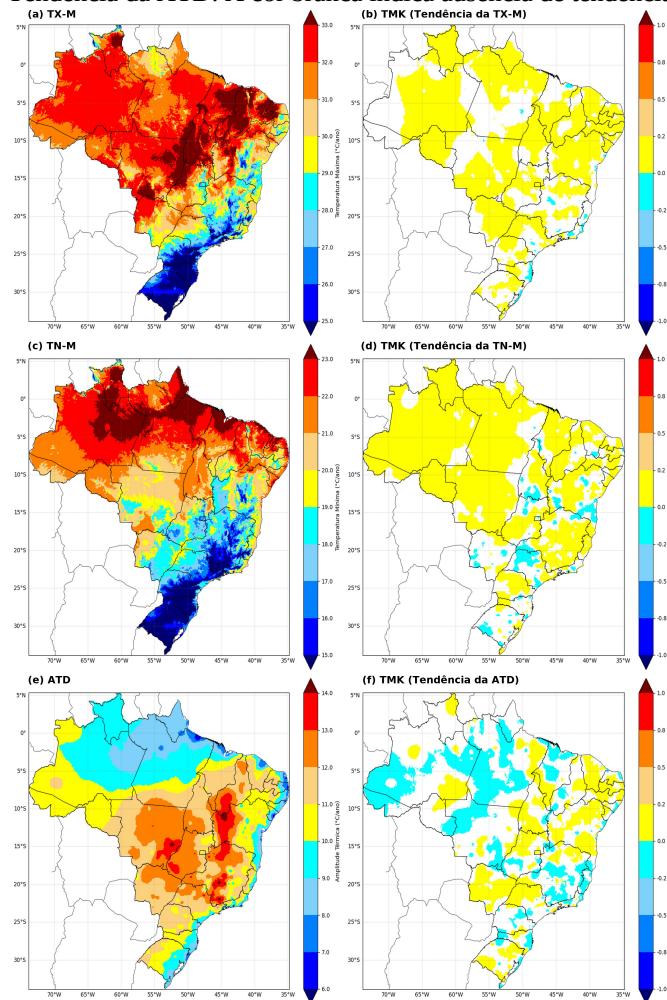
Figura 3 - Mapa do Brasil contendo: (a) Proporção de Dias com Chuvas Elevadas ($\geq P95$) (PDCE-P95); (b) Tendência da PDCE-P95; (c) Proporção de Dias com Chuvas Extremas ($\geq P99$) (PDCE-P99); (d) Tendência da PDCE-P99. A cor branca indica ausência de tendência.



3.3 Temperatura Máxima Média (TX-M), Temperatura Mínima Média (TN-M) e Amplitude Térmica Diária (ATD)

A temperatura máxima média (TX-M), retratada na Figura 4a, indica que as maiores temperaturas máximas ocorrem entre as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. A DS da TX-M que está na Figura 4b, indica uma tendência positiva para a maior parte do Brasil, principalmente no Nordeste. A temperatura mínima média (TN-M) da Figura 4c mostra que as maiores temperaturas mínimas estão nas regiões Norte e Nordeste. As demais regiões possuem temperaturas mais amenas, principalmente no Sul. A Figura 4d apresenta a DS, a qual mostrou haver tendência de aumento da TN-M em toda a região Norte, em grande parte do Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste. A Figura 4e mostra a amplitude térmica diária (ATD), que foi menor nas regiões litorâneas de todo o Brasil. As maiores ATDs foram registradas na parte mais central do país. Na Figura 4f, a DS obtida para as ATDs indicam sinal positivo no Nordeste e Centro-Oeste, sinal negativo no Norte e Sudeste, e ambos sinais no Sul.

Figura 4 - Mapa do Brasil contendo: (a) Temperatura Máxima (TX) Média (TX-M); (b) Tendência da TX-M; (c) Temperatura Mínima (TN) Média (TN-M); (d) Tendência da TN-M; (e) Amplitude Térmica Diária (ATD); (f) Tendência da ATD. A cor branca indica ausência de tendência.

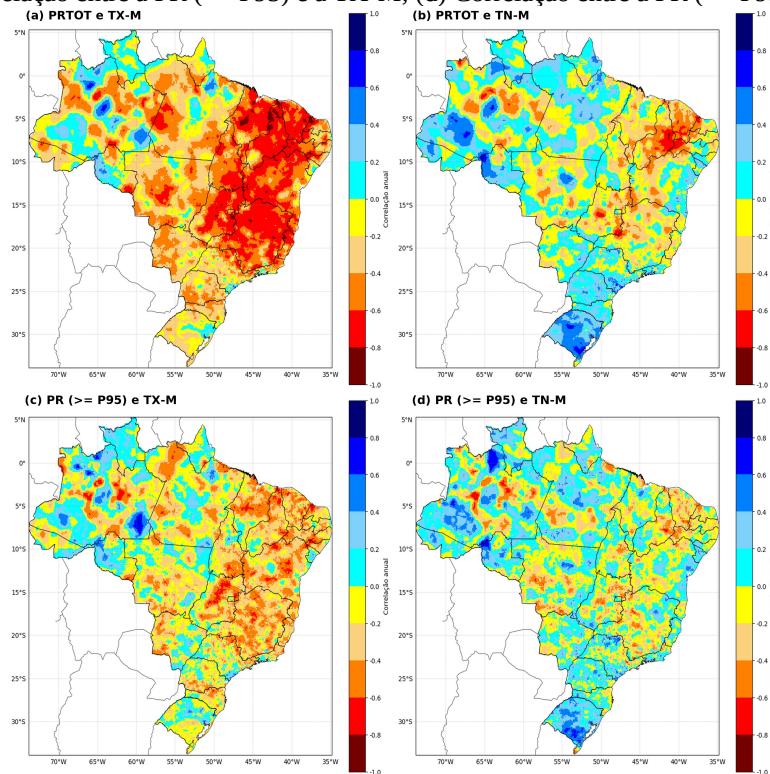


3.4 Correlação e comparação de Tendências, entre a Avaliação da Precipitação Elevada e Extrema (APEE) e Avaliação das Temperaturas Máxima e Mínima (ATMM)

A primeira correlação foi feita entre a PRTOT e a TX-M (Figura 5a), com uma correlação negativa na maior parte do país, o que indica que as variáveis analisadas são inversamente interdependentes. O Norte foi a região que mais apresentou correlações tanto negativas como positivas. A segunda análise foi feita entre a PRTOT e a TN-M (Figura 5b), e os resultados sugerem que em parte do Nordeste houve maiores correlações negativas. A região Sul foi a que apresentou no geral mais valores positivos de correlação.

Também foi calculada a correlação entre TX-M com as chuvas maiores ou iguais ao percentil 95 ($\geq P95$) (Figura 5c) as quais abrangem o índice PDCE-P95. As correlações mais positivas (entre 0,4 e 0,8: classificação baixa a alta) ocorreram com maior frequência nos estados Amazonas e Rondônia. Já a correlação negativa (entre -0,4 e -0,8) é mais presente em partes dos estados do Nordeste. A correlação entre a TN-M e as chuvas relacionadas ao P95 (Figura 5d) indica correlação positiva no Sul do país, com valores que chegam a estar entre 0,6 e 0,8 (classificação moderada a alta). Por outro lado, a correlação negativa foi maior em partes do Amazonas (classificação moderada a alta).

Figura 5 - Mapa do Brasil contendo: (a) Correlação entre a PRTOT e a TX-M; (b) Correlação entre a PRTOT e a TN-M; (c) Correlação entre a PR (\geq P95) e a TX-M; (d) Correlação entre a PR (\geq P95) e a TN-M.



4. CONCLUSÃO

Em geral, os resultados deste estudo mostraram tendência de aumento das temperaturas máximas e mínimas médias na maior parte do país. As tendências e correlações entre as chuvas e temperaturas mostraram redução das precipitações extremas no Centro-Oeste e Sudeste, e em partes do Norte; aumento das precipitações extremas no Sul e Norte, e em partes do Nordeste e Sudeste, com maior concentração nos seus litorais. Isso pode estar indicando um possível aumento do vapor no ar, mediante aumento das temperaturas, e o transporte do mesmo para outras regiões do país através da circulação atmosférica, intensificando a formação de nuvens e consequentemente as chuvas extremas, tanto nos locais onde se tem o aumento da temperatura como para outros onde a umidade é transportada.

Isto aponta para uma provável mudança em andamento no clima do país, a qual pode estar relacionada às mudanças climáticas globais, decorrentes principalmente pelas emissões de gases do efeito estufa (GEE), como aponta o AR6 do IPCC (IPCC AR6, 2023). Isso possivelmente está contribuindo para o aumento significativo na frequência, distribuição e intensidade dos eventos extremos de precipitação, e deverá ser melhor investigado em trabalhos futuros. Locais com maior aglomerado populacional estão sendo mais afetados com o aumento desses eventos extremos, devido a alta concentração de poluentes que também contribuem para o processo de condensação, assim como a formação das chamadas “ilhas de calor”, o aumento do escoamento superficial devido a menor taxa de infiltração no solo, e o mau uso e ocupação do mesmo, que colabora com o processo de alagamentos, enchentes e até desertificação.

Portanto, é importante adotar estratégias de adaptação, como o fortalecimento de sistemas de alerta precoce, investimento em infraestrutura resiliente, proteção de áreas de recarga de aquíferos e ações de conservação ambiental para enfrentar os desafios iminentes relacionados aos eventos extremos de precipitação em todas as regiões do Brasil.

AGRADECIMENTOS

À UFC, ao LRH, ao grupo de pesquisa MODELHI e à coordenação do programa POSDEHA pelo apoio institucional, à CAPES pela concessão das bolsas de pesquisa científica, e o apoio financeiro dos projetos: FUNCAP, Processo: PS1-0186-00326.01.00/21 e CNPq, Processo: 306380/2023-4.

REFERÊNCIAS

- ADLER, J.; PARMRYD, I. (2010). "Quantifying colocalization by correlation: the Pearson correlation coefficient is superior to the Mander's overlap coefficient". *Cytometry Part A*, 77 (8), pp. 733-742. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.20896>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (2018). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual*. ANA, Brasília.
- BRASIL (2022). Ministério das Relações Exteriores. *Geografia*. Disponível em: [<https://www.gov.br/mre/pt-br/embaiada-bogota/o-brasil/geografia>]. Acesso em: 12 mai. 2024.
- CARDOSO, C.D.S.; QUADRO, M.F.L.D.; BONETTI, C. (2020). "Persistência e abrangência dos eventos extremos de precipitação no Sul do Brasil: Variabilidade espacial e padrões atmosféricos". *Revista Brasileira de Meteorologia*, 35, pp. 219-231. <https://doi.org/10.1590/0102-7786352031>.
- CHAGAS, V.B.; CHAFFE, P. L.; BLÖSCHL, G. (2022). "Process controls on flood seasonality in Brazil". *Geophysical Research Letters*, 49(5), pp. e2021GL096754. <https://doi.org/10.1029/2021GL096754>.
- CAVALCANTI, I.F. (2016). *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 463 p.
- COSTA, A.C.; GOMES, T.F.; MOREIRA, R.P.; CAVALCANTE, T.F.; MAMEDE, G.L. (2022). "Influence of hydroclimatic variability on dengue incidence in a tropical dryland area". *Acta Tropica*, pp. 106657. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2022.106657>.
- DONAT, M.G.; LOWRY, A.L.; ALEXANDER, L.V.; O'GORMAN, P.A.; MAHER, N. (2016). "More extreme precipitation in the world's dry and wet regions". *Nature Climate Change*, 6 (5), pp. 508-513. <https://doi.org/10.1038/nclimate2941>.
- FOWLER, H.J. et al. (2021). "Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes". *Nature Reviews Earth & Environment*, 2 (2), pp. 107-122. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00128-6>.
- FREIRE, L.L.; COSTA, A.C.; NETO, I.E.L. (2023). "Effects of rainfall and land use on nutrient responses in rivers in the Brazilian semiarid region". *Environmental Monitoring and Assessment*, 195 (6), pp. 652. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11281-y>.
- HINKLE, D.E.; WIERSMA, W.; JURS, S.G. (2003). "Applied statistics for the behavioral sciences", 5^a ed.; Houghton Mifflin: Boston, MA, EUA.
- MANTON, M.J. et al. (2001). "Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961–1998". *International Journal of Climatology*, 21(3), pp. 269-284. <https://doi.org/10.1002/joc.610>.
- MOREIRA, R.P.; COSTA, A.C.; GOMES, T.F.; DE OLIVEIRA FERREIRA, G. (2020). "Climate and climate-sensitive diseases in semi-arid regions: a systematic review". *International Journal of Public Health*, 65, pp. 1749-1761. <https://doi.org/10.1007/s00038-020-01464-6>.
- PEREZ, L.P.; RODRIGUES-FILHO, S.; MARENKO, J.A.; SANTOS, D.V.; MIKOSZ, L. (2020). "Climate change and disasters: analysis of the Brazilian regional inequality". *Sustainability in Debate*, 11(3), pp. 260-296. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33813>.
- REGOTO, P.; DERECZYNSKI, C.; CHOU, S.C.; BAZZANELA, A.C. (2021). "Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil". *International Journal of Climatology*, 41(11), pp. 5125-5142. <https://doi.org/10.1002/joc.7119>.
- ROCHA, V.M. (2021). "Um breve comentário a respeito do IPCC AR6". *Entre-Lugar*, 12(24), pp. 396-403. <https://doi.org/10.30612/rel.v12i24.15253>.
- SEN, P.K. (1968). "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau". *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), pp. 1379-1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>.
- SUN, Q.; ZHANG, X.; ZWIERS, F.; WESTRA, S.; ALEXANDER, L.V. (2021). "A global, continental, and regional analysis of changes in extreme precipitation". *Journal of Climate*, 34 (1), pp. 243-258. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0892.1>.
- 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. <https://doi.org/10.1002/joc.7731>.
- YADUVANSHI, A.; NKEMELANG, T.; BENDAPUDI, R.; NEW, M. (2021). "Os extremos de temperatura e precipitação mudam de acordo com os níveis atuais e futuros de aquecimento global nas zonas climáticas indianas". *Extremos de Tempo e Clima*, 31, pp. 100291. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100291>.
- YAO, J.; CHEN, Y.; CHEN, J. et al. (2021). "Intensification of extreme precipitation in arid Central Asia". *Journal of Hydrology*, 598, pp. 125760. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125760>.
- YUE, S.; WANG, C. (2004). "The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series". *Water Resources Management*, 18(3), pp. 201-218. <https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000043140.61082.60>.
- ZHOU, H.; DENG, Z.; XIA, Y.; FU, M. (2016). "A new sampling method in particle filter based on Pearson correlation coefficient". *Neurocomputing*, 216, pp. 208-215. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2016.07.036>.
- ZHU, W.; WANG, S.; LUO, P. et al. (2022). "A quantitative analysis of the influence of temperature change on the extreme precipitation". *Atmosphere*, 13(4), pp. 612. <https://doi.org/10.3390/atmos13040612>.