






COMPORTAMENTO SAZONAL DAS PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS MÁXIMAS ANUAIS NO BRASIL

Seasonal behavior of maximum annual rainfall in Brazil


*Comportamiento estacional de las precipitaciones máximas
anuales en Brasil*

Álvaro José Back  

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri)
ajb@epagri.sc.gov.br

Gabriel da Silva Souza  

Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc)
eng.agrimensorgabriel@gmail.com

Sérgio Luciano Galatto  

Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc)
sga@unesc.net

Resumo: As mudanças na sazonalidade das chuvas extremas têm trazido implicações na rotina da sociedade, no funcionamento dos sistemas de infraestrutura hídrica e tem exigido novas estratégias da gestão pública na adaptação às mudanças climáticas. Diversas pesquisas na literatura tem abordado métodos para caracterizar a sazonalidade de eventos extremos; porém muitos destes métodos são um tanto limitados na capacidade de discernir a diversidade de tipos de distribuição para datas extremas de precipitação. Este estudo propôs a determinação do índice de concentração sazonal de eventos máximos anuais (r) com duração de um a dez dias no território brasileiro. Foram utilizados dados de 873 estações pluviométricas da Rede Hidrometeorológica Nacional, que apresentavam no mínimo 40 dados de chuvas máximas anuais no período de 1990 a 2022. Os menores valores de r são observados na região sul, com valores inferiores a 0,2, indicando que não existe uma época do ano definida para ocorrências de eventos de chuvas máximas anuais. Os maiores valores de r (0,5 a 0,8) são encontrados nas regiões do nordeste e norte brasileiros, especificamente no litoral dos estados do Ceará, Piauí, Maranhão, Pará, Amapá e Rondônia. Valores de r entre 0,7 a 0,8 foram encontrados no sudeste das regiões litorâneas do Espírito Santo e Rio de Janeiro, e no estado de Minas Gerais e na divisa de São Paulo com Minas Gerais.

Palavras-chave: Chuvas. Eventos extremos. Distribuição espacial e temporal. Variabilidade.

Abstract: Changes in the seasonality of extreme rainfall have had implications for the routine of Society, the functioning of water infrastructure systems and have required new strategies on the part of public management in adapting to climate change. Several studies in the literature have addressed Methods to characterize the seasonality of extreme events; however many of these Methods are somewhat limited in their ability to discern the diversity of distribution types for extreme precipitation dates. This study proposed the determination of the seasonal concentration index of maximum annual events (r) lasting from one to ten days in the Brazilian territory. Data from 873 rainfall stations from the National Hydrometeorological Network were used, which presented at least 40 data on maximum annual rainfall from 1990 to 2022. The lowest r values are observed in the southern region, with values below 0.2, indicating that there is no defined time of year for maximum annual rainfall events to occur. The highest values of r (0.5 to 0.8) are found in the northeast and northern regions of Brazil, specifically on the coast of the states of Ceará, Piauí, Maranhão, Pará, Amapá and Rondônia. Values of r between 0.7 and 0.8 were found in the southeast in the coastal regions of Espírito Santo and Rio de Janeiro, as well as in the state of Minas Gerais and on the border of São Paulo and Minas Gerais.

Keywords: Rains. Extreme events. Spatial and temporal distribution. Variability.

Resumen: Los cambios en la estacionalidad de las precipitaciones extremas han tenido implicaciones en la rutina de la sociedad, en el funcionamiento de los sistemas de infraestructura hídrica y han requerido nuevas estrategias de la gestión pública en la adaptación al cambio climático. Varios estudios en la literatura han abordado métodos para caracterizar la estacionalidad de eventos extremos; sin embargo, muchos de estos métodos son algo limitados en su capacidad para discernir la diversidad de tipos de distribución para fechas de precipitación extrema. Este estudio propuso la determinación del índice de concentración estacional de eventos máximos anuales (r) con duración de uno a diez días en territorio brasileño. Se utilizaron datos de 873 estaciones pluviométricas de la Red Hidrometeorológica Nacional, que presentaron al menos 40 datos de precipitación máxima anual en el periodo de 1990 a 2022. Los valores más bajos de r se observan en la región sur, con valores inferiores a 0,2 lo que indica que no existe una época del año definida para que se presenten eventos de máxima precipitación anual. Los valores más altos de r (0,5 a 0,8) se encuentran en las regiones noreste y norte de Brasil, específicamente en la costa de los estados de Ceará, Piauí, Maranhão, Pará, Amapá y Rondônia. Se encontraron valores de r entre 0,7 y 0,8 en el sureste de las regiones costeras de Espírito Santo y Rio de Janeiro, y en el estado de Minas Gerais y en el límite de São Paulo y Minas Gerais.

Palabras clave: Lluvias. Eventos extremos. Distribución espacial y temporal. Variabilidad.

Submetido em: 02/01/2024

Aceito para publicação em: 02/02/2025

Publicado em: 05/02/2025

1. INTRODUÇÃO

As chuvas extremas têm distribuição irregular, tanto temporal quanto espacialmente e causam grandes prejuízos, originando erosão no solo, inundações, prejuízos à agricultura e perda de colheitas (Bonfim *et al.*, 2020).

A influência das chuvas extremas varia conforme as características locais, das atividades realizadas na região. Amorim *et al.* (2020) afirmam que os eventos extremos de precipitação podem causar grandes transtornos, tais como interdição de trechos de rodovias nacionais e estaduais por rompimentos de asfalto, alagamentos, deslizamento de encostas, entre outras ocorrências que afetam diretamente a população.

Borma *et al.* (2013) ressaltam que eventos extremos de chuva alteram significativamente a vazão dos rios. Essas alterações são frequentemente muito prejudiciais para o ritmo de vida da população amazônica, que vive, em grande parte, às margens dos rios. Limberger e Silva (2016) relacionam as chuvas extremas na Região Amazônica com o aumento da incidência de doenças, a dificuldade de acesso às escolas e de remanejamento das famílias em casos de enchentes, prejuízos na atividade de pesca, na prática de culturas agrícolas de subsistência, no transporte, no escoamento da produção e na distribuição de água potável.

O conhecimento da sazonalidade da precipitação extrema ao longo do tempo propicia a compreensão da sua variabilidade e permite estabelecer estratégias para mitigar riscos naturais intensificados pelas mudanças climáticas (Pryor e Schoof, 2008).

Na literatura, são encontrados vários estudos realizados que relacionam um aumento na recorrência de eventos de chuvas intensas, e as consequências destes eventos a prejuízos econômicos nas áreas urbana e rural, e a perdas humanas devido aos riscos naturais associados às mudanças climáticas (Parajka *et al.*, 2009; Zwiers *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2014; Zou e Ren, 2015; Niyogi *et al.*, 2017). As mudanças observadas na frequência e intensidade das chuvas têm relação com as alterações do uso do solo, da intensificação do processo de urbanização e do aumento das emissões de gases do efeito estufa (Pielke *et al.*, 2011; Rodell *et al.*, 2018).

Vários outros estudos desenvolvidos em países de diversos continentes como nos Estados Unidos da América (EUA), China, países na União Europeia e na América do Sul

buscam identificar mudanças na série histórica de precipitação total anual e na variedade de métodos para estimar frequência e intensidade de precipitação extrema (Kunkel, Andsager e Easterling, 1999; Sun *et al.*, 2006; Back, 2006; Schultz *et al.*, 2007; Quadros, Queiroz e Boas, 2011; Pan *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2012; Anandhi e Nanjundiah, 2015; Mallakpour e Villarini, 2017; Iliopouou, Koutsoyiannis e Montanari, 2018; Ferreira *et al.*, 2021; Gründemann *et al.* 2023; Kumar, Ahmed e Karkala, 2023). A esse respeito são encontrados poucos estudos que avaliam as séries temporais de observações históricas ou simulações de modelos relacionados à circulação geral no contexto de mudanças na sazonalidade ou na distribuição sazonal da precipitação (Wang e Zwiers, 1999; Laurent e Cai, 2007; Dhakal *et al.*, 2015); Strohmenger *et al.*, 2022). Estudos mais recentes apontam as limitações destes modelos (Wainwright *et al.*, 2021; Xie *et al.*, 2023).

Os efeitos de eventos de precipitação extrema nas diferentes estações do ano, causam impactos na infraestrutura urbana (Dhakal *et al.*, 2015; Oliveira e Lima, 2019). Em regiões frias, a infraestrutura de manejo das águas pluviais; como por exemplo, em bueiros, nas estações de inverno e primavera sofrem bloqueios devido ao gelo, enquanto nas estações de verão e outono, devido aos eventos de chuva intensa, acabam tendo acúmulo de detritos e arbustos, reduzindo o fluxo de água transportado (Dhakal *et al.*, 2015).

Pryor e Schoof (2008) realizaram um estudo direcionado para avaliar as mudanças na sazonalidade da precipitação diária no território dos EUA. Os autores adotaram o método do percentil de precipitação anual acumulada para observar as mudanças no dia médio do ano em percentis selecionados ao longo de três períodos (1911-1940, 1941-1970 e 1971-2000). Verificaram que, em algumas regiões dos EUA, ocorreu um padrão espacial nas diferenças de 20-30 dias na média de dias do ano no 50º percentil da precipitação total anual.

Aljoda e Dhakal (2023) descrevem em seu trabalho que em muitos casos, as mudanças na sazonalidade podem ser atribuídas às alterações nos modos distributivos de tempo de eventos extremos de precipitação, como enfraquecimento, fortalecimento, surgimento ou dissipação de modos durante diferentes estações ou combinação de dois ou mais destes casos.

Neste contexto, observam-se poucas pesquisas que buscam compreender o comportamento da precipitação de eventos extremos na sazonalidade e sua relação na distribuição do tempo. Portanto, alguns pesquisadores têm empregado o conceito de

estatística circular, que é uma abordagem prática para a avaliação da sazonalidade de eventos extremos (Dhakal *et al.*, 2015; Mallakpour e Villarini, 2017; Aljoda e Dhakal, 2023). Segundo os autores, a estatística circular tem a capacidade de fornecer uma melhor compreensão de variáveis modeladas como processos aleatórios o tempo de um evento dentro de um ciclo.

Os métodos estatísticos circulares (Dhakal *et al.*, 2015) são ferramentas adequadas nas questões ambientais. Segundo os autores, os dados circulares aparecem naturalmente em uma ampla gama de aplicações sempre que condições atmosféricas e/ou meteorológicas são avaliadas, por exemplo, a análise da direção do vento, pois este elemento desempenha um papel substancial na circulação atmosférica.

A estatística circular é um ramo da estatística que trata de direções, onde variáveis aleatórias são representadas por ângulos medidos em relação a algum ponto inicial e sentido de rotação (Jammalamadaka e Sengupta, 2001; Oliveira, Crujeiras e Rodríguez-Casal, 2012). Essa estatística possibilita analisar dados que podem ser representados como pontos na circunferência de um círculo unitário, por exemplo, o momento da precipitação extrema com um ciclo de 365 ou 366 dias (Pewsey, Neuhauser e Ruxton, 2013). O uso criterioso de estatísticas circulares fornece uma melhor compreensão das variáveis ambientais modeladas como processos circulares aleatórios (Dhakal *et al.*, 2015; Aljoda e Dhakal, 2023).

Bayliss e Jones (1993) e Burn (1997) utilizaram a abordagem circular para avaliação da sazonalidade de eventos hidrológicos extremos, considerando o data média e variabilidade de ocorrência de eventos extremos. Lee *et al.* (2012) empregaram a abordagem da estatística circular para determinar a regionalização de precipitação extrema na Coreia do Sul.

O uso da abordagem circular não paramétrica, segundo Dhakal *et al.* (2015), oferece uma alternativa adaptativa e robusta. Para os autores, a estatística circular não paramétrica permite entender com maior precisão a representação de picos sazonais bem como avaliar o comportamento das mudanças na sazonalidade ao longo do tempo. Os resultados obtidos, segundo os autores, são relevantes tanto para estudos de alterações hidroclimáticas como nas aplicações na engenharia para adaptação de infraestruturas existentes.

Aljoda e Dhakal (2023) utilizaram a estatística circular não paramétrica para avaliar a

sazonalidade em datas de precipitação máxima diária anual e suas mudanças temporais no período 1950-2019 em 583 estações em toda a região leste dos EUA. Os autores identificaram quatro grupos diferentes de sazonalidade de precipitação máxima diária anual: i) Grupo 1 - onde as datas do calendário anual da precipitação máxima diária anual eram concentradas em apenas uma temporada no ano; ii) Grupo 2 - com dois modos significativos separados ocorrendo em duas estações diferentes (região nordeste); iii) Grupo 3 - igual ao grupo anterior mas com três modalidades distribuídas em três temporadas (regiões Centro, Centro-Norte, Leste e Sul); iv) Grupo 4 - com quatro modalidades em quatro temporadas diferentes.

Na China, Gu *et al.* (2017), utilizando dados de precipitação diária de 728 estações com 55 anos de série histórica e empregando a estatística circular não paramétrica, constataram que a sazonalidade média está relacionada com a mudança na temperatura do verão (junho-julho-agosto) no Leste Asiático. A intensidade mais elevada da sazonalidade está no nordeste, norte e centro-norte da China; a sazonalidade mais fraca foi encontrada no sudeste da China. A sazonalidade circular uniforme da precipitação extrema não foi detectada nas estações de estudo.

Dentro dessa perspectiva, este artigo busca avaliar a sazonalidade das precipitações máximas anuais com duração de um a dez dias no território brasileiro e identificar as épocas de maior ocorrência de eventos extremos anuais de precipitação. Espera-se que os resultados obtidos sejam relevantes tanto para estudos de mudanças hidroclimáticas quanto para auxiliar a gestão pública na adaptação dos sistemas de infraestrutura devido aos eventos de chuvas extremas.

2. METODOLOGIA

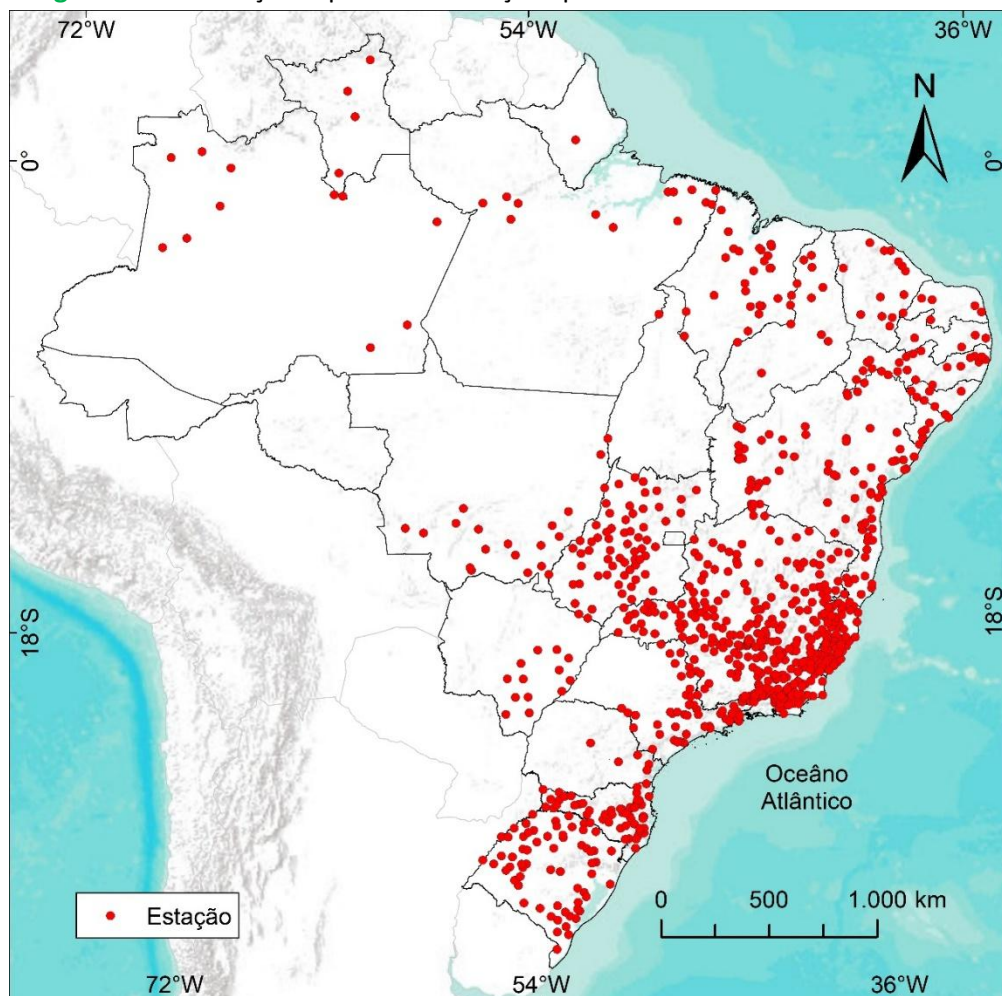
2.1. Estações Pluviométricas

Foram utilizadas as estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) com dados de 1970 a 2022. No estudo foram consideradas as 873 estações pluviométricas distribuídas no território brasileiro (Figura 1) que apresentavam no mínimo 40 anos de dados nas séries de máxima anuais.

Pode-se observar que, na região Norte e parte do Centro-Oeste do Brasil, apresentam

menor número de estações pluviométricas que atenderam aos critérios estabelecidos para este estudo.

Figura 1 - Distribuição espacial das estações pluviométricas utilizadas no estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

2.2. Cálculo da ocorrência de eventos de precipitação máxima anual

Para examinar a regularidade das séries de ocorrência de eventos de precipitação máxima anual, foi aplicada a análise de sazonalidade descrita por Burn (1997). Cada data foi substituída por um ângulo calculado pela Equação 1:

$$(1) \quad \theta_i = j_i \frac{2\pi}{NDA}$$

Em que:

θ é o ângulo (em radianos).

J é o dia do ano de ocorrência do evento (1 para 1º de janeiro, 365 para 31 de dezembro (ou 366) no caso de ano bissexto).

NDA é o número de dias do ano (365 ou 366 para ano bissexto).

A série obtida sobre o círculo unitário onde cada termo pode ser descrito em coordenadas polares como um vetor $(\cos \theta_i, \sin \theta_i)$, onde θ_i indica a direção expressa em radianos. Seguindo a abordagem de Burn (1997), as coordenadas cartesianas são expressas pelas Equações 2 e 3:

$$(2) \quad x_i = \cos \theta_i$$

$$(3) \quad y_i = \sin \theta_i,$$

Dessa forma, pode-se calcular os valores médios pelas equações 4 e 5.

$$(4) \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos (\theta_i)$$

$$(5) \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin (\theta_i)$$

A direção média resultante é dada pela equação 6:

$$(6) \quad \bar{\theta} = \arctan \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right), \text{ sendo } 0^\circ \leq \bar{\theta} \leq 360^\circ$$

O módulo médio é dado pela equação 7:

$$(7) \quad \bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2}$$

O valor de “ r ” também é denominado de índice de concentração de sazonalidade do vetor de Burn, podendo assumir valores entre 0 e 1 ($0 \leq r \leq 1,0$). Quando r tende para zero, não há uma única estação dominante e a ocorrência de evento extremo pode chegar a

qualquer momento do ano. A data de ocorrência de eventos extremos é regular, à medida que o módulo se aproxima mais da unidade, sendo $r = 1$, e é um valor virtual indicando que eventos extremos ocorrem no mesmo dia.

Em ambiente computacional, por meio do *software* ArcGis 10.8 (Esri, 2019), os dados de precipitação extrema determinados neste estudo foram tratados, distribuídos e espacializados em todo o território brasileiro. A interpolação das informações foi realizada por método de Krigagem ordinária, sendo esse o mais indicado para a interpolação de dados de precipitação com muitas amostras, bem como para áreas maiores (Santos, Cunha e Castro, 2016; Silvestre, Flores e Sant'Anna, 2016). A interpolação da Krigagem ordinária resultou na geração de arquivos raster - que por sua vez - correspondeu à estimativa para áreas desprovidas no território brasileiro por meio de dados conhecidos.

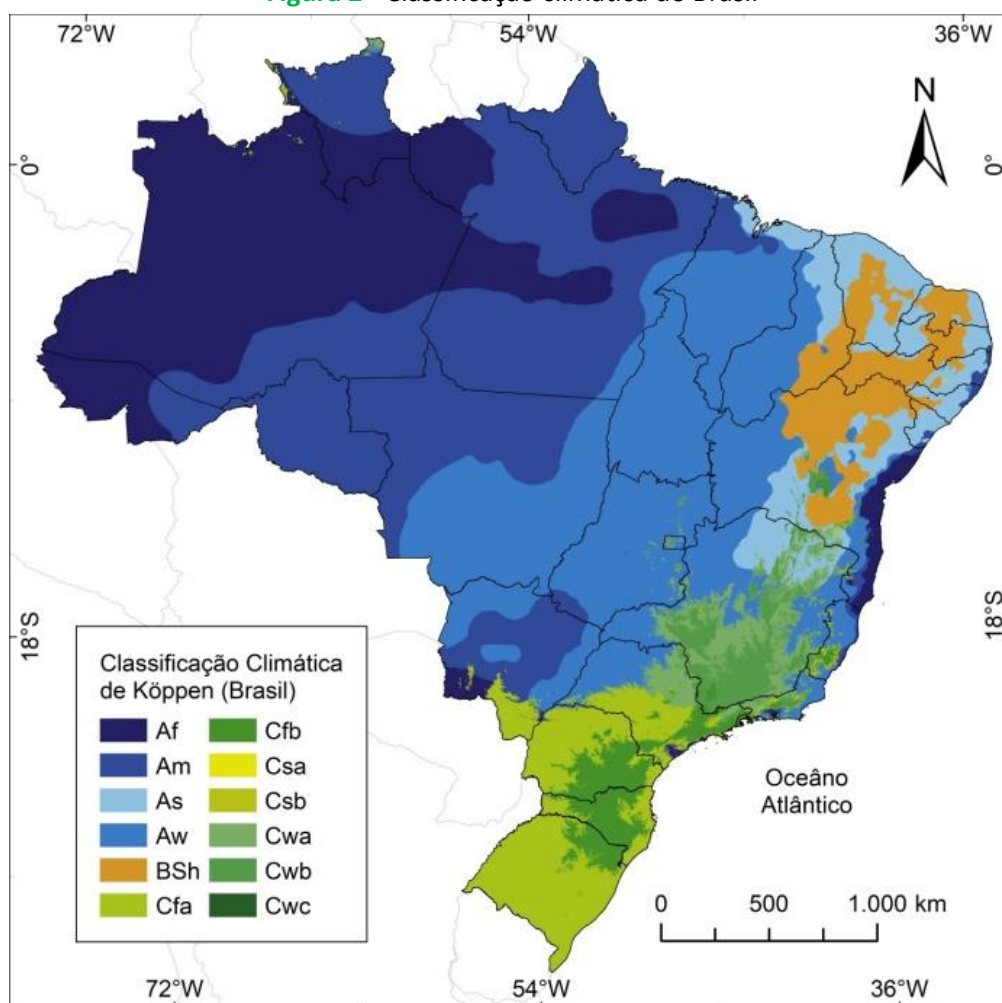
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Brasil apresenta variabilidade climática que incluem três zonas climáticas (A, B e C) e nove tipos climáticos (Af, Am, As, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa e Cwb) (Figura 2) diferenciados até o segundo nível na classificação de Köppen, com precipitação pluviométrica média anual variando de 410mm a 3.620mm, distribuídas nas regiões dos tipos climáticos BSh e Af, respectivamente (Galatto, Souza e Back, 2023).

Reboita *et al.* (2012) descrevem os fatores que afetam a precipitação na América do Sul, destacando que a essa variável climática não é distribuída regularmente no tempo e espaço. Os autores destacam que o máximo de precipitação migra da região centro-oeste do Brasil durante o verão para o norte do equador durante o inverno, destacando ainda que a região centro-oeste do Brasil é seca durante o inverno.

Na Figura 3 constam os valores do índice de concentração sazonal dos eventos máximos anuais (r) e os respectivos meses de ocorrência de chuva máxima com duração de um a três dias. Para as chuvas com duração de um dia, observa-se que o valor variou de 0,015 a 0,853 (Figura 3 - R1), com forte variação espacial, relacionada com os tipos climáticos (Figura 2). As chuvas com duração de dois (Figura 3 - R2) e três (Figura 3 - R3) dias apresentaram " r " variando de 0,006 a 0,889 (R2) e 0,018 a 0,887 (R3).

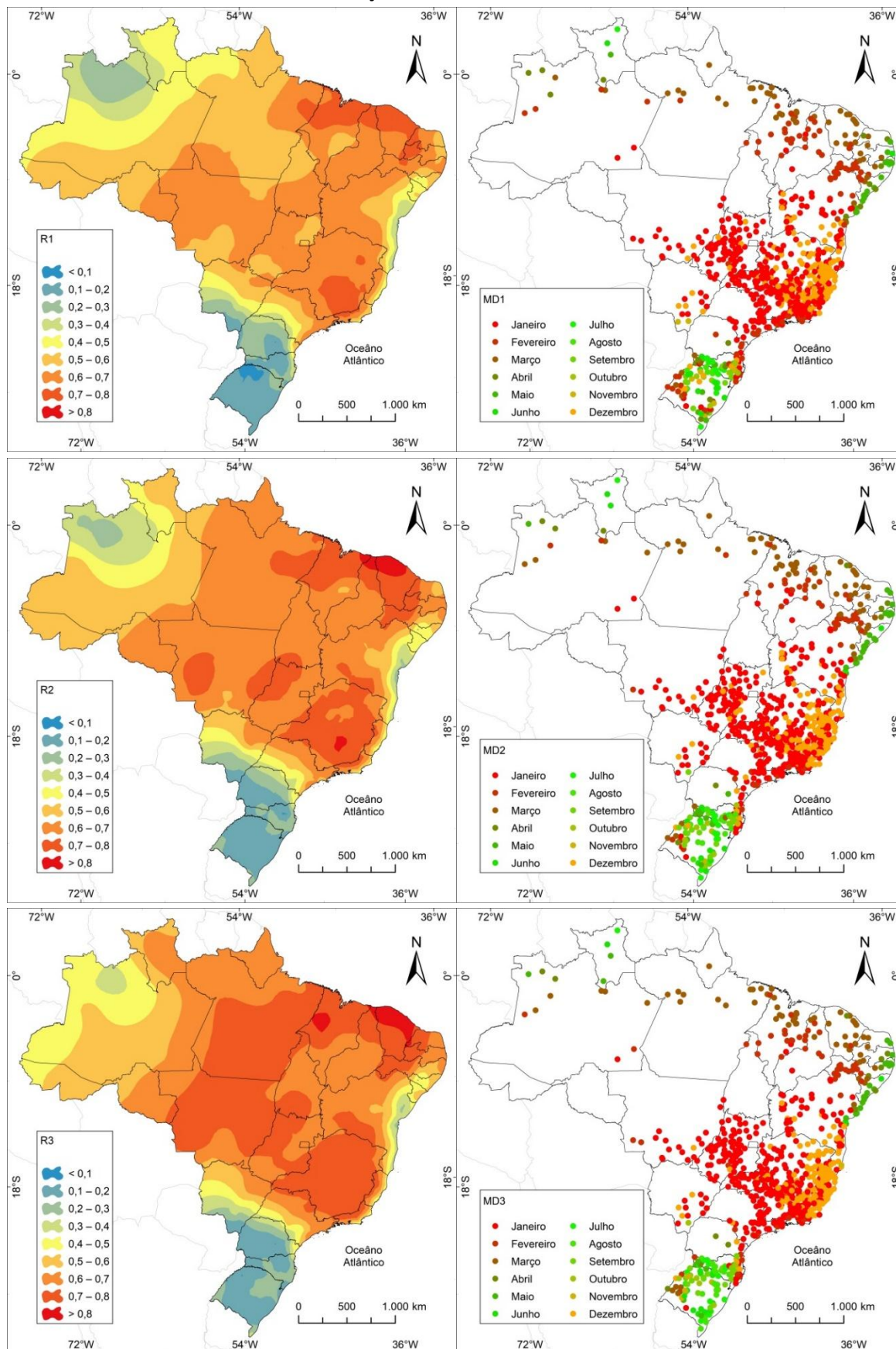
Figura 2 - Classificação climática do Brasil



Fonte: Adaptado de Galatto, Souza e Back (2023).

Os menores valores de “r” são observados na região Sul, onde predominam valores inferiores a 0,2 (Figura 3 - R1), indicando que, nessas regiões, não existe uma época do ano predominante para as ocorrências dos eventos de chuvas máximas anuais. Esta constatação está de acordo com a observação de Bonfim *et al.* (2020), que afirmaram que, na região Sul do Brasil, os eventos extremos, como tempestades, podem ocorrer em qualquer época, ocasionando chuvas intensas e localizadas que acabam, às vezes, elevando, significativamente, o total mensal de precipitação de uma determinada localidade. Também Amorim *et al.* (2020) destacam que a Região Sul do Brasil não apresenta uma estação chuvosa bem definida; e portanto, podem ocorrer ao longo do ano na região.

Figura 3 - Índice de concentração sazonal dos eventos máximos anuais e os meses de ocorrência de chuva máxima com duração de um a três dias no território do Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na região sul, o clima caracteriza-se do tipo Cfa e Cfb (Subtropical úmido sem estação seca definida). Nesse aspecto, o trabalho de Reboita *et al.* (2012) ressalta que a Região Sul do Brasil tem precipitação bem distribuída ao longo do ano e com totais pluviométricos uniformes, sendo que os totais são maiores no Oeste do Sul do Brasil, na fronteira com o Paraguai. Os autores destacam diferentes sistemas atmosféricos atuantes na região como os sistemas frontais, ciclones, os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), as linhas de instabilidade e os sistemas convectivos alongados persistentes.

Podemos observar que, no litoral de Santa Catarina e Paraná, os valores de “r” encontrados neste estudo são ligeiramente maiores ($0,2 < r < 0,4$) quando comparados com a região oeste destes dois estados, indicando maior concentração de eventos. Bonfim *et al.* (2020) destacam que, do Planalto ao Oeste, as chuvas de inverno são mais volumosas que em áreas próximas ao litoral. Essa diferença explicada pela influência da Baixa do Chaco -um sistema de baixa pressão que se forma entre a Bacia Amazônica e o norte da Argentina nos meses chuvosos - na organização de condições de tempo mais instáveis, associadas às frentes frias.

Estudos realizados por Cardoso, Quadro e Bonetti (2020) apontam a persistência de eventos extremos na região sul da Brasil, classificando como chuva intensa (caracterizada pela curta duração) e chuva persistente (caracterizado pela maior duração) e concluíram que o verão é a estação preferencial para ocorrência. Resultados semelhantes foram encontrados por Nunes e Silva (2013) e Rodrigues (2015) que analisaram eventos de precipitação de caráter persistente e propícios a ocorrência de inundações, encontrando um maior número de casos no setor leste de Santa Catarina, durante os meses de verão. Para os casos de chuva intensa, o número de casos ocorre de forma bem distribuída no sul do Brasil, com um maior número de casos no litoral norte de Santa Catarina e no Litoral Paranaense.

Marcelino *et al.* (2014) destacam que as inundações graduais observadas em Santa Catarina estão associados à presença de sistemas meteorológicos que possuem características estacionárias, resultando em vários dias com chuva persistente na região. Essas, muitas vezes, geram outros tipos de desastres como os escorregamentos, pois o excesso de precipitação por um determinado período satura o solo, gerando condições necessárias ao desencadeamento deste tipo de desastre natural.

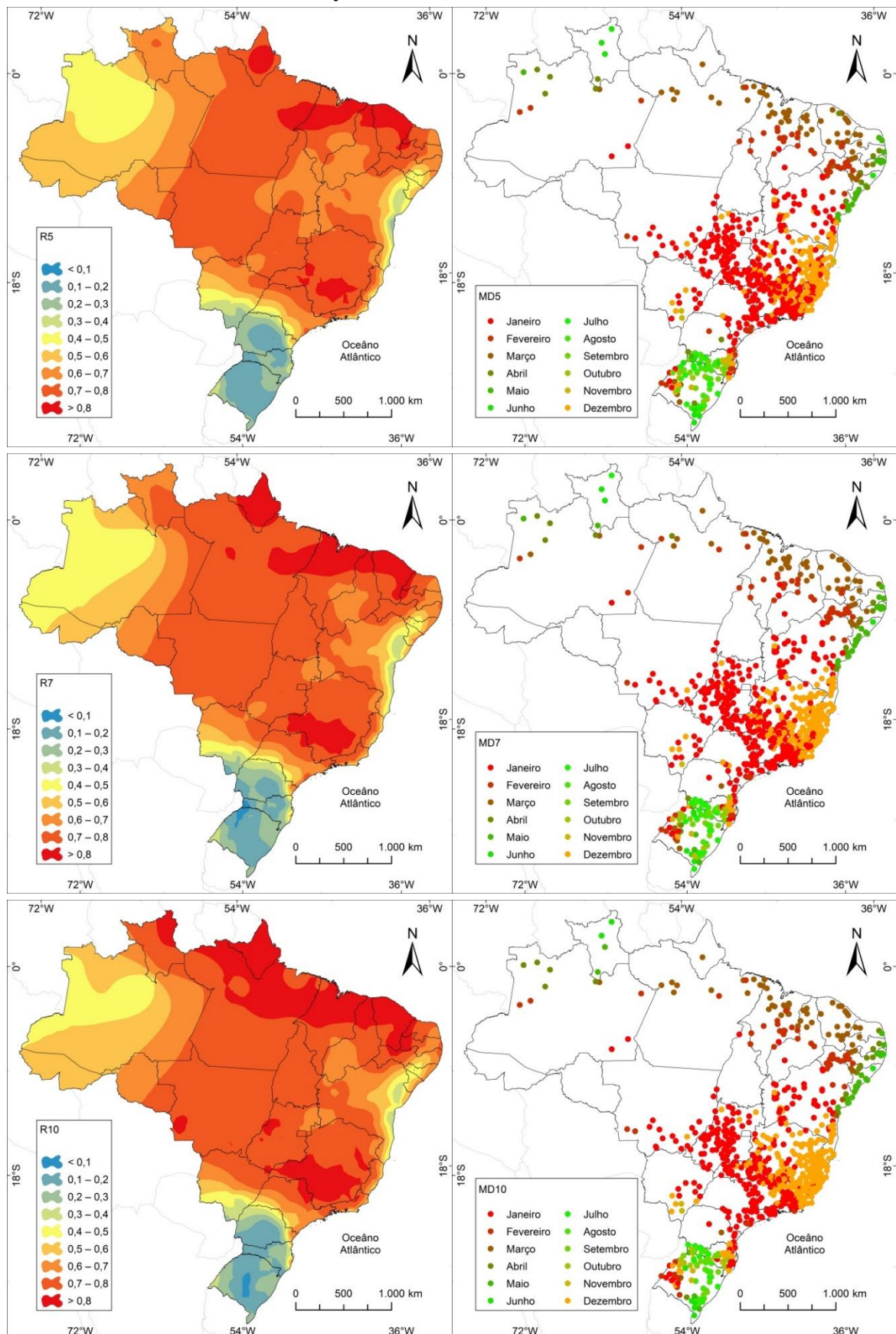
Em relação aos maiores valores de índice de concentração sazonal dos eventos máximos anuais (r) para um a três dias, observa-se que estão distribuídos no litoral dos estados do Ceará e Piauí, boa parte dos estados do Maranhão, Pará, Mato Grosso e Minas Gerais, no litoral de Espírito Santo e do Rio de Janeiro, no interior de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, e em pequena porção de Goiás.

Estudos realizados por Araújo *et al.* (2008), para identificação de eventos de chuvas intensas de um, dois, três, quatro e cinco dias, mostraram concentração de valores máximos no leste da sub-bacia do Baixo Paraíba, Sul da sub-bacia do rio Taperoá e Centro-Norte da sub-bacia do Alto Paraíba, no Nordeste Brasileiro. A análise da variação temporal revelou que os meses de maiores ocorrências de chuvas intensas na referida bacia foram os de janeiro, fevereiro, março e abril. Nóbrega (2012) citam que os eventos de chuvas intensas entre os meses de outubro a abril que atingem o nordeste brasileiro têm influência dos sistemas de grande escala, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e o Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAS).

Na Figura 4 estão representados os valores de " r " para durações de cinco, sete e dez dias. Para as chuvas com duração de cinco dias observa-se que o valor variou de 0,023 a 0,905 (Figura 4 - R5), com forte variação espacial. As chuvas com duração de sete (Figura 4 - R7) e dez (Figura 4 - R10) dias apresentaram valores variando de 0,003 a 0,902 (R7) e 0,011 a 0,905 (R10), respectivamente.

Com relação ao mês de ocorrência, observa-se que, no Litoral e Oeste de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, prevalecem os meses de verão, e na região central destes estados prevalecem os meses de inverno. Essa maior variação na época de ocorrência se explica em parte, pelos baixos valores de " r ", indicando que a chuva máxima pode ocorrer em qualquer época do ano. Outro fator também é o de que na ocorrência de frequências bimodais, e a metodologia usada com a estatística circular pode indicar um ângulo médio resultante que não tem correspondência com a realidade. Assim, para as regiões com baixos valores de " r " deve-se interpretar e utilizar a data média de ocorrência com ressalvas. Dhakal *et al.* (2015) ressaltam que, para locais com mais de uma moda de sazonalidade (bimodal ou multimodal), as informações das estatísticas circulares podem ser incompletas ou inconclusivas.

Figura 4 - Índice de concentração sazonal dos eventos máximos anuais e os meses de ocorrência de chuva máxima com duração de cinco, sete e dez dias no território do Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na Região Sudeste do Brasil predominam valores de “r” entre 0,5 e 0,7. No estado de São Paulo os menores valores são observados na divisa com o Paraná ($0,3 < r < 0,4$), e os maiores estão no norte do estado de São Paulo, com valores de 0,6 a 0,8. No estado de Minas Gerais, observa-se predomínio absoluto de valores entre 0,5 e 0,8.

Observa-se que a época média de ocorrência dos eventos extremos anuais corresponde aos meses de dezembro e janeiro (Figura 4). Reboita *et al.* (2012) destacam que a Região Sudeste do Brasil, onde os totais pluviométricos são máximos no verão e mínimos no inverno, tem influência de alguns sistemas atmosféricos que contribuem para a precipitação ao longo de todo o ano, como a passagem de frentes frias, ciclones costeiros, linhas de instabilidade tropicais e pré-frontais e a circulação de brisa.

Na Região Nordeste observa-se maiores variações no índice de concentração sazonal, com valores de “r” entre 0,3 e 0,4 no litoral da Bahia até valores de 0,6 a 0,7 no oeste do estado da Bahia e valores entre 0,7 e 0,8 no litoral dos estados de Ceará, Piauí e Maranhão. Com relação à época de ocorrência, é possível perceber uma variação espacial, com o predomínio de eventos extremos nos meses de inverno no litoral e no verão para as estações pluviométricas localizadas mais a oeste. Reboita *et al.* (2012) destacam que nos climas BSh e As do Nordeste do Brasil, os totais pluviométricos são baixos, mas com um ciclo anual mostrando máximos de precipitação no verão e outono, e mínimos no inverno. A leste desta região, também é influenciada pela passagem de sistemas frontais e ondas no escoamento de leste que podem provocar altas taxas de precipitação.

Fernandes *et al.* (2019) descrevem que, no Nordeste brasileiro, atuam vários sistemas atmosféricos de grande escala que influenciam no regime de chuvas, sendo os meses de atuação desses dois sistemas de novembro a fevereiro. Ocorrem ainda os Sistemas Frontais (SF), sendo um importante sistema produtor de precipitação, atuando basicamente na região sul do nordeste brasileiro. Sua atuação ocorre nos meses de novembro a fevereiro e tem o seu máximo de precipitação em novembro e janeiro; a ZCIT considerada como o principal sistema produtor de chuva no norte do nordeste brasileiro, atuando de fevereiro a maio; e por fim os Distúrbios de Leste (DL), que atuam desde o norte do Rio Grande do Norte até a Bahia, no período de maio a agosto.

Na região amazônica também se observa variação dos valores no índice de concentração sazonal, com valores inferior a 0,2 no oeste do estado do Amazonas,

umentando no sentido leste até valores entre 0,6 e 0,7, na divisa com o estado do Mato Grosso. A região amazônica tem um regime de precipitação tipo monção bem definido. As principais diferenças das características climáticas médias entre as estações de verão e inverno correspondem ao posicionamento e intensidade do jato subtropical de altos níveis em cada um dos hemisférios e, na faixa tropical, ao deslocamento meridional da célula de Hadley, da convecção local e da ZCIT. Durante o verão, um centro de intensa atividade convectiva se situa sobre o sudeste da Bacia Amazônica, favorecendo altos índices pluviométricos nesta região (Carvalho *et al.*, 2010). Limberger e Silva (2016) descrevem a variabilidade climática da chuva na Bacia Amazônica brasileira e os principais sistemas atmosféricos atuantes, em que citam que o pico de chuva varia entre os períodos de novembro a janeiro, no sudeste da Bacia Amazônica, até maio a julho, na extremidade norte da bacia.

A região Centro-Oeste situada entre os domínios climáticos quentes e úmidos, tem influência de diferentes fatores geográficos do clima, o que se evidencia na expressiva variação térmica entre o inverno e o verão, acompanhada de uma considerável variabilidade sazonal da umidade (Barros e Balero, 2012). Recebe influência da ação das Massas Equatorial Continental (Ec), Tropical Atlântica (Ta), Tropical Continental (Tc) e Polar Atlântica (Pa).

Nessa região, observam-se variações no índice de concentração sazonal, com valores de “r” entre 0,3 e 0,4 na divisa de Mato Grosso do Sul com o Paraguai até valores de 0,6 a 0,8 no norte de Mato Grosso do Sul aos estados de Mato Grosso, Tocantins e Goiás, seguida de uma pequena região com valores entre 0,7 e 0,8 nas divisas de Goiás e Mato Grosso, e no Mato Grosso com a Bolívia.

Em relação ao mês de ocorrência, observa-se que, na Região Centro-Oeste, prevalecem os meses de novembro a janeiro. Esse resultado condiz com o regime das precipitações nessa região tipicamente tropical, com máxima no verão e mínima no inverno. Em quase todo o centro-oeste brasileiro, mais de 70% do total de chuvas acumuladas durante o ano se precipita de novembro a março (Alves, 2009).

O regime de chuvas na Região Centro-Oeste ocorre quase em função dos sistemas de circulação atmosférica, atribuindo pouca importância à influência da topografia sobre a distribuição da precipitação ao longo do espaço geográfico, que apresenta um núcleo mais

chuvoso ao norte do Mato Grosso, onde os índices pluviométricos são elevados (>2750 mm anuais), com os valores decrescendo para leste e sul (Barros e Balero, 2012). Na área do extremo leste de Goiás e do Tocantins o regime cai a cerca de 1500 mm e no Distrito Federal os valores ficam entre 1500 e 1750 mm anuais.

Para durações maiores que um dia, observa-se que o índice de concentração sazonal apresenta ligeiros aumentos, com valores médios de 0,56, 0,59, 0,61, 0,63, 0,65 e 0,66 respectivamente para as durações de um, dois, três, cinco, sete e dez dias. No entanto, tal índice mantém o padrão de variação espacial observado para a duração de um dia. Eventos de longa duração são, geralmente, associados à presença de sistemas meteorológicos que possuem características estacionárias. Também é possível associar chuva de curta duração com chuvas convectivas, enquanto as chuvas de longa duração estão associadas a chuvas frontais.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresenta a aplicação da estatística circular para determinação do índice de concentração sazonal de eventos máximos anuais com duração de um a dez dias no território brasileiro. Foram analisadas as séries de precipitação máximas anuais, com no mínimo 40 anos, no período de 1970 a 2022.

Embora a baixa densidade de estações pluviométricas, em especial na Região Norte do Brasil, representa uma limitação do trabalho, o método adotado permitiu fornecer informações úteis sobre a distribuição de dados de eventos de precipitação máxima anual e à sua sazonalidade. A abordagem utilizada traz uma alternativa adaptativa para uma avaliação de mudanças na sazonalidade ao longo do tempo.

Foram determinados os valores de índice de concentração sazonal (r) de eventos extremos em todo o território brasileiro. Os menores valores de “ r ” foram observados na Região Sul, com valores inferiores a 0,2, indicando que, nessa região, os eventos extremos podem ocorrer em qualquer época do ano, ocasionando chuvas intensas e localizadas que acabam, às vezes, elevando, significativamente, o total mensal de precipitação de uma determinada localidade.

Os maiores valores de “r” (0,5 a 0,8) são encontrados nas regiões do Nordeste e Norte brasileiras, especificamente no litoral dos estados do Ceará, Piauí, Maranhão, Pará, Amapá e Rondônia. Valores de r entre 0,7 a 0,8 foram encontrados no sudeste nas regiões litorâneas do Espírito Santo e Rio de Janeiro, e no estado de Minas Gerais e na divisa de São Paulo com Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

ALJODA, A.; DHAKAL, N. Examining seasonality based on probabilistic Properties of extreme precipitation timing in the Eastern United States. **Atmosphere**, v.14, 366, 2023. <https://doi.org/10.3390/atmos14020366>.

ALVES, L. M. Clima da região Centro-Oeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. de A. et. al. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 15, p. 235-241.

AMORIN, A. C. B.; SCUDELARI, A. C.; CUNHA, C.; GONÇALVES, J. E.; Eventos extremos de precipitação no litoral do Paraná (Baía de Paranaguá). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 4, p.563-575, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778635404>

ANANDHI, A.; NANJUNDIAH, R.S. Performance Evaluation of AR4 Climate Models in simulating daily precipitation over the Indian region using skill scores. **Theor Appl Climatol**, v. 119, p. 551-556, 2015. DOI: 10.1007/s00704-013-1043-5.

ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S.; RIBEIRO, M. A. F.M.; SANTOS, A. S.; MEDEIROS, P.C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 162-169, 2008.

ARCGIS. Desktop Software. Versão 10.8: ESRI Inc., 2019. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/index>>. Acesso em: 6 de novembro de 2023.

BACK, Á. J. Relações Intensidade-Duração-Freqüência de chuvas intensas de Chapecó, Estado de Santa Catarina. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 575-581, 2006.

BAYLISS, A. C.; JONES, R. C. Peaks-Over-Threshold Flood Database: Summary Statistics and Seasonality, Report n. 121, **Institute of Hydrology**, Wallingford, U. K., 1993.

BARROS, J. R.; BALERO, C. S. A influência do clima e do tempo do Centro-Oeste do Brasil nas condições de voo na região. **DSPACE**, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/items/e126d0ea-c2c6-4421-a418-7460660f2f02>>. Acesso em 26/12/2023.

BONFIM, O. E. T.; SILVA, D.F.; KAYANO, M. T.; ROCHA, L. H. S. Análise dos Eventos Climáticos Extremos e de Suas Causas Climáticas para Redução de Riscos nas Bacias Hidrográficas Aguapeí e Peixe, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. Especial, 755 768, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778635500000>

BORMA, L. De S.; NOBRE, C. A. **Secas na Amazônia: causas e consequências**. Oficina de Textos, 2013.

BURN, D. H. Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures, **Journal of Hydrology**, v. 202 (1-4), p. 212-230, 1997. DOI:10.1016/s0022-1694(97)00068-1

CARDOSO, C. S.; QUADRO, M. F. L.; BONETTI, C. Persistência e Abrangência dos Eventos Extremos de Precipitação no Sul do Brasil: Variabilidade Espacial e Padrões Atmosféricos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, 219-231, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778635203>

CARVALHO, L. M. V.; SILVA, A. E.; JONES, C.; LIEBMANN, B.; DIAS, P.S.; ROCHA, H. R. Moisture transport and intraseasonal variability in the South America monsoon system. **Climate Dynamics**, v.36, p.1865-1880, 2010.

DHAKAL, N.; JAIN, S.; GRAY, A.; DANDY, M.; STANCIOFF, E. Nonstationarity in seasonality of extreme precipitation: A nonparametric circular statistical approach and its application. **Water Resources Research**, v. 51, n. 6, p. 4499-4515, 2015. DOI:10.1002/2014wr016399

DHAKAL, N.; THARU, B.; ALJODA, A. Changing seasonality of daily and monthly precipitation extremes for the contiguous USA and possible connections with large-scale climate patterns. **International Journal of Climatology**, p.1-20, 2023.

FERNANDES, T. C.; ANDRETTA, A. B.; RIBEIRO, D. R.; FERREIRA, L. G.; ROCHA, P. C.; DALL'AGLIO SOBRINHO, M. Regime hidrológico do Rio São Francisco. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 23., 2019, Foz do Iguaçu, Paraná. **Anais...** Porto Alegre, ABRHidro 2019, p. 1-9.

FERREIRA, F. L. V.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D.; TEIXEIRA, D. B. de S.; ALMEIDA, L. T. de. Time series trends of streamflow and rainfall in the Santo Antônio River Basin, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v.41, n.1, p.47-55, 2021.

GALATTO, S. L.; SOUZA, G. S.; BACK, Á. J. Index of rain aggressiveness and erosivity in different climate types in Brazil, **Concilium**, v. 23, n. 6, p. 170-183, 2023. DOI: 10.53660/CLM-1119-23D28.

GRÜNDEMANN, G. J.; ZORZETTO, E.; VAN DEGIESEN, N.; VAN DER ENT, R. J. Historical shifts in seasonality and timing of extreme precipitation. **Geophysical Research Letters**, v. 50, e2023GL10520, 2023. DOI <https://doi.org/10.1029/2023GL105200>

GU, X.; ZHANG, Q.; SINGH, V. P.; SHI, P. Changes in magnitude and frequency of heavy precipitation across China and its potential links to summer temperature. **Journal of Hydrology**, v. 547, p. 718-731, 2017. DOI:10.1016/j.jhydrol.2017.02.04

ILIOPOULOU, T.; KOUTSOYIANNIS, D.; MONTANARI, A. Characterizing and modeling seasonality in extreme rainfall. **Water Resources Research**, v. 54, p. 6242-6258, 2018. <https://doi.org/10.1029/2018WR023360>

JAMMALAMADAKA, S. R.; SENGUPTA, A. Topics in Circular Statistics. **Series on multivariate analysis**, v. 5, World Scientific Publishing, Singapore, 2001.

KUMAR, S.; AHMED, S. A.; KARKALA, J. Time series data and rainfall pattern subjected to climate change using non-parametric tests over a vulnerable region of Karnataka, India; **Journal of Water & Climate Change**, v. 14, n. 5, 1533, 2023.

KUNKEL, K. E.; ANDSAGER, K.; EASTERLING, D. R. Long-term trends in extreme precipitation events over the conterminous United States and Canada, **Journal Climate**, v. 12, 2515-2527, 1999. DOI:10.1175/1520-0442(1999)012<2515:LTTIEP>2.0.CO;2

LAURENT, R.; CAI, X.M. A maximum entropy method for combining AOGCMs for regional intra-year climate change assessment, **Climatic Change**, v. 82, p. 411-435, 2007. DOI: 10.1007/s10584-006-9197-0

LEE, J. J.; KWON, H.H.; KIM, T. W. Spatio-temporal analysis of extreme precipitation regimes across South Korea and its Application to regionalization, **Journal of Hydro-environment Research**, v. 6, n. 2, p. 101-110, 2012.

LIMBERGER, L.; SILVA, M. E. S. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. **Geosp - Espaço e Tempo** (Online), v. 20, n. 3, p. 657-675, mês. 2016. ISSN 2179-0892

MARCELINO, E. V.; GOERL, R. F.; PARIZOTO, D. G. V.; OLIVEIRA, C. A. F.; MURARA, P. G. Inundação brusca. In: **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: 59 período de 1980 a 2010**. HERRMANN, M.L.P. (org.), 2. ed. atual. e rev. Florianópolis: IHGSC/Cadernos Geográficos, 219 p., Cap. 6, p. 123-128, 2014.

MALLAKPOUR, I.; VILLARINI, G. Analysis of changes in the magnitude, frequency, and seasonality of heavy precipitation over the contiguous USA. **Theor. Appl. Climatol.** v. 130, p. 345-363, 2017. DOI: 10.1007/s00704-016-1881-z

NIYOGI, D.; LEI, M.; KISHTAWAL, C.; SCHMID, P. Urbanization impacts on the summer heavy rainfall climatology over the Eastern United States. **American Meteorological Society**, Earth Interactions, v. 21, n. 5, p. 1-17, 2017. <https://doi.org/10.1175/EI-D-15-0045.1>.

NÓBREGA, J. N. **Eventos extremos de precipitação nas mesorregiões do estado da Paraíba e suas relações com a TSM dos oceanos atlântico e pacífico**. 2012. 98f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2012.

NUNES, A. B.; DA SILVA, G. C. Climatology of extreme rainfall events in eastern and northern Santa Catarina State, Brazil: present and future climate. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 31, p. 413-425, 2013.

OLIVEIRA, P.T.; SANTOS E SILVA, C.M.; LIMA, K. C. Linear trend of occurrence and intensity of heavy rainfall events on Northeast Brasil. **Atmospheric Science Letter**, v. 15, 172-177, 2014. DOI: 10.1002/asl2.484

OLIVEIRA, D. H. M. C.; LIMA, K. C. What is the return period of intense rainfall events in the capital cities of the northeast region of Brazil? **Atmospheric Science Letters**, p. 1-11, 2019. DOI:10.1002/asl.934.

OLIVEIRA, M.; CRUJEIRAS, R. M.; RODRÍGUEZ-CASAL, A. Nonparametric circular methods for exploring environmental data. **Environmental and Ecological Statistics**, v. 20, n. 1, p. 1-17, 2012. DOI:10.1007/s10651-012-0203-6.

PAN A.; HOU A.; TIAN F.; NI G.; HU, H. A hydrologically-enhanced distributed urban drainage model and its application to Beijing City. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n. 6, p. 667-678, 2012.

PARAJKA, J.; KOHNOVÁ, S.; MERZ, R.; SZOLGAY, J.; HLAVČOVÁ, K.; BLÖSCHL, G. Comparative analysis of the seasonality of hydrological characteristics in Slovakia and Austria / Analyse comparative de la saisonnalité de caractéristiques hydrologiques en Slovaquie et en Autriche. **Hydrological Sciences Journal**, v. 54, n. 3, p. 456-473, 2009. DOI:10.1623/hysj.54.3.456

PEWSEY, A.; NEUHÄUSER, M.; RUXTON, G. D. **Circular Statistics in R**. Oxford: Oxford University Press, 2013. p.11-56.

PIRES, C. A. F.; REIS, J. T.; DULLIUS, Â. I. S; PRIESNITZ, M.C.; PEREIRA, M. J. Krigagem ordinária aplicada à precipitação pluviométrica nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Ciência e Natura**, v. 38 n. 3, p. 1303 – 131, 2016.

PIELKE, R. A.; PITMAN, A.; NIYOGI, D.; MAHMOOD, R.; MCALPINE, C.; HOSSAIN, F.; GOLDEWIJK, K.K.; NAIR, U.S.; BETTS, R.A.; FALL, S.; REICHSTEIN, M.; KABAT, P.; NOBLET, N.D. Land use/-land cover changes and climate: modeling analysis and observational evidence. **Climate Change**, v. 2, p. 828-850, 2011. <https://doi.org/10.1002/wcc.144>.

PRYOR, S. C.; SCHOOF, J. T. Changes in the seasonality of precipitation over the contiguous USA. **Journal of Geophysical Research**, v. 113(D21), D21108, p.1-15, 2008. DOI: 10.1029/2008jd010251

QUADROS, L. E.; QUEIROZ, M. M. F.; BOAS, M. A. V. Distribuição de frequência e temporal de chuvas intensas, **Acta Scientiarum Agronomy Maringá**, v. 33, n. 3, p. 401-410, 2011. DOI: 10.4025/actasciagron.v33i3.6021

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZIM, T.; ROCHA, R. P. Entendo o Tempo e Clima na América do Sul. **Terra e Didática**, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

RODELL, M.; FAMIGLIETTI, J. S.; WIESE, D. N.; REAGER, J. T.; BEAUDOING, H. K.; LANDERER, F. W.; LO, M. H. Emerging trends in global freshwater availability. **Nature**, v. 557, n. 7707, p. 651-659, 2018. DOI:10.1038/s41586-018-0123-1.

RODRIGUES, M. L. G. **Eventos de chuva orográfica em Santa Catarina: climatologia e simulações numéricas**. 2015. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SANTOS, H. S.; CUNHA, G.; CASTRO, J. R. Avaliação Qualitativa das Técnicas de Interpolação de Mínima Curvatura, Krigagem e Bidirecional na Formação de Imagens. **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana**, n. 4, p.2-16, 2016.

SCHULTZ, D. M.; MIKKONEN, S.; LAAKSONEN, A.; RICHMAN, M. B. Weekly precipitation cycles? Lack of evidence from United States surface stations, **Geophysical Research Letters**, v. 34, L22815, 2007. DOI:10.1029/2007GL031889.

SCHROEDER, A. J.; BASARA, J. M.; SHEPHERD, S. N. Insights into atmospheric contributors to urban flash flooding across the United States using an analysis of rawinsonde data and associated calculated parameters. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 55, n. 2, p. 313-323, 2016. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-14-0232.1>.

SILVESTRE, M. R.; FLORES, E. F.; SANT'ANNA NETO, J. L. Geoestatística aplicada à espacialização da precipitação. **Revista Formação**, v. 3; n. 23, p. 317-338, 2016.

STROHMENGER, L.; ACKERER, P.; BELFORT, B.; PIERRET, M. C. Local and seasonal climate change and its influence on the hydrological cycle in a mountainous forested catchment. **Journal of Hydrology**, v. 610, 127914, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127914>

SUN, Y.; SOLOMON, S.; DAI, A.; PORTMANN, R. W. How often does it rain?, **Journal Climate**, v. 19, p. 916-934, 2006. <https://doi.org/10.1175/JCLI3672.1>

XIE, B.; GUO, H.; MENG, F.; SA, C.; LUO, M. Historical Evolution and Future Trends of Precipitation Based on Integrated Datasets and Model Simulations of Arid Central Asia. **Remote Sensing**, v. 15, n.23, 2023 DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15235460>

YANG, L., VILLARINI, G., SMITH, J. A., TIAN, F., & HU, H. Changes in seasonal maximum daily precipitation in China over the period 1961-2006. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 7, p. 1646-1657, 2012. DOI:10.1002/joc.3539

ZWIERS, F. W.; ALEXANDER, L. V.; HEGERL, G. C.; KNUTSON, T. R.; KOSSIN, J. P.; NAVEAU, P.; NICHOLLS, N.; SCHAR, C.; SENEVIRATNE, S.I.; ZHANG, X. Clima Extremes: Challenges in estimating and understanding recent changes in the frequency and intensity of extreme climate and weather events. **Climate Science for Serving Society**, p. 339-389, 2013. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6692-1_13.

ZOU, X.; REN, F. Changes in regional heavy rainfall events in China during 1961-2012. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 32, p. 704-714, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00376-014-4127-y>.

WANG, X. L.; ZWIERS, F. W. Interannual variability of precipitation in an ensemble of AMIP climate simulations conducted with the CCC GCM2. **Journal of Climate**, v. 12, p. 1322-1335, 1999. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<1322:IVOPIA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<1322:IVOPIA>2.0.CO;2)

WAINWRIGHT, C.; MARSHAM, J. H.; ROWELL, D. P. FINNEY, D. L. BLACK, E. Future Changes in Seasonality in East Africa from Regional Simulations with Explicit and Parameterized Convection. **Journal of climate**, v. 34, p. 1367-1385, 2021.