

# CARACTERIZAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS EM MINAS GERAIS: UMA ABORDAGEM BASEADA NOS MÉTODOS DE BLOCK MAXIMA E PERCENTIS

*Caracterização Espaço-Temporal dos Extremos Pluviométricos em Minas Gerais: uma Abordagem Baseada nos Métodos de Block Maxima e Percentis*

**Jaqueline Vicente Matsuoka**

Doutorando do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade

Federal de Uberlândia – MG, Brasil

[jaqueline.matsuoka@ufu.br](mailto:jaqueline.matsuoka@ufu.br)

**Vanderlei de Oliveira Ferreira**

Docente do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia – MG, Brasil

[vanderlei.ferreira@ufu.br](mailto:vanderlei.ferreira@ufu.br)

**Vinicius Francisco Rofatto**

Docente do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia – MG, Brasil

[vinicius.rofatto@ufu.br](mailto:vinicius.rofatto@ufu.br)

Recebido: 10/06/2024

Aceito: 10/07/2024

## Resumo

Eventos climáticos extremos têm causado as principais catástrofes naturais dos últimos anos, como temperaturas extremas, secas e inundações. Esta pesquisa visa avaliar o desempenho de dois métodos estatísticos para caracterizar a distribuição espaço-temporal da frequência e intensidade de extremos de precipitação em Minas Gerais: a técnica do percentil convencional e a técnica de Block Maxima (BM). A pesquisa mostrou que os percentis diários convencionais revelam padrões sazonais e tendências climáticas, fornecendo uma análise granular, mas podem subestimar a frequência de eventos extremos mais intensos. Em contraste, os percentis com base nos BM focaram nos blocos de máximos mensais e anuais dos dados diários, destacando mudanças na intensidade e frequência de eventos extremos, eliminando ruídos de dias sem chuva e capturando anos e meses com maior sensibilidade. Na análise espacial, os percentis de BM destacam regiões com precipitação de grandes magnitudes superiores ao que já se considera extrema e que podem causar desastres ainda mais graves em relação à técnica convencional. Ou seja, a técnica do BM mostrou uma sensibilidade superior na identificação de extremos de grandes magnitudes, essencial para o planejamento de infraestrutura e na mitigação de desastres. A combinação de ambos os métodos oferece uma análise mais robusta e consistente na identificação de locais com potencial de grandes desastres, além de servir como base para estudos mais aprofundados em relação ao tempo de recorrência e análise de tendências com maior precisão e consistência. Esses resultados são cruciais para desenvolver estratégias eficazes de mitigação e adaptação.

**Palavras-chave:** Extremos Pluviométricos. Percentis. Block Maxima. Mudanças Climáticas. Mitigação de Desastres.

## Abstract

Extreme weather events have caused the major natural disasters of recent years, such as extreme temperatures, droughts, and floods. This research aims to evaluate the performance of two statistical methods for characterising the spatiotemporal distribution of the frequency and intensity of extreme precipitation in Minas Gerais: the conventional percentile technique and the Block Maxima (BM) technique. The study showed that conventional daily percentiles reveal seasonal patterns and climate trends, providing granular analysis but potentially underestimating the frequency of more intense extreme events. In contrast, percentiles based on BM focused on the monthly and annual maxima of daily data, highlighting changes in the intensity and frequency of extreme events, eliminating noise from dry days, and capturing years and months with greater sensitivity. In the spatial analysis, BM percentiles highlight regions with magnitudes of precipitation greater than those considered extreme, which could cause even more severe disasters than the conventional technique. In other words, the BM technique showed superior sensitivity in identifying high-magnitude extremes, essential for infrastructure planning and disaster mitigation. Combining both methods offers a more robust and consistent analysis in identifying locations with the potential for major disasters. It serves as a basis for further studies on recurrence times and trend analysis with greater precision and consistency. These results are crucial for developing effective mitigation and adaptation strategies.

**Keywords:** Extreme Precipitation. Percentiles. Block Maxima. Climate Change. Disaster Mitigation.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2003) os eventos climáticos extremos são os causadores das principais catástrofes naturais atuais; essa organização classifica os eventos extremos em duas categorias: eventos simples, definidos a partir de variações estatísticas, como temperaturas muito elevadas ou muito baixas; e eventos complexos, como secas, inundações e furacões. Para Barbosa e Rosa (2004), os eventos extremos são aqueles cujos valores têm magnitudes muito superior ou inferior ao valor médio, indo além da variabilidade normal. E para (Sarewitz; Pielke, 2001) esses eventos são caracterizados como uma ocorrência que apresenta uma incidência rara, se distanciando da média, variando em sua magnitude.

Os eventos extremos de precipitação têm aumentado em intensidade e frequência nos últimos 50 anos. Estudos recentes indicam que as mudanças climáticas estão exacerbando a ocorrência de eventos extremos de precipitação em várias partes do mundo, com regiões urbanizadas experimentando impactos mais severos (Donat *et al.*, 2016; Hosseinzadehtalaei *et al.*, 2020; Kharin *et al.*, 2013; Marengo *et al.*, 2024; Sun *et al.*, 2021; Wasko; Nathan, 2019; WMO, 2024; Zhang *et al.*, 2018). Este aumento tem impactos significativos em diversas áreas como meio ambiente, agricultura, infraestrutura e gestão

de recursos hídricos, tornando a análise e a caracterização desses eventos cruciais para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e adaptação.

O estado de Minas Gerais, está localizado na região Sudeste do Brasil, a qual inclui também os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo e possui uma área de aproximadamente 586.753 km<sup>2</sup>, sendo uma região de grande importância em termos de recursos hídricos e gestão de água (Abreu *et al.*, 2022).

O clima nessa região é caracterizado por sua diversidade, mas de forma geral, a região apresenta um clima tropical, com variações de acordo com a altitude, distância em relação ao oceano e atuação diferenciada de sistemas atmosféricos. É conhecida por ter estações distintas de chuva e seca, sendo bastante suscetível a eventos extremos, como secas, enchentes e deslizamentos de terra, que podem ser influenciados por fenômenos climáticos globais, como o El Niño e mudanças climáticas. Além disso, a região é afetada pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), um dos principais sistemas geradores de precipitação intensa e persistente, muitas vezes associadas a desastres naturais como deslizamentos de terra e inundações (Brasiliense *et al.*, 2018; Drumond *et al.*, 2021; Teixeira; Satyamurty, 2011).

Minas Gerais possui uma diversidade de paisagens, resultantes da combinação de processos relacionados a variados fatores fisiográficos. O estado é composto por serras, planaltos e superfícies de erosão, especialmente na interface entre o Cráton São Francisco e o Orógeno Araçuaí (Costa, 2021).

Os principais sistemas meteorológicos dinâmicos que afetam o estado de Minas Gerais, juntamente com os fatores estáticos, condicionam a significativa diversidade climática como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) que são responsáveis por eventos extremos de precipitação no estado (Abreu, 1998; Campos; Carvalho; Reboita, 2016; Reis *et al.*, 2018).

Além disso, como ocorre em todo o Brasil, Minas Gerais enfrenta desigualdades sociais e uma gestão inadequada de problemas socioambientais, o que pode colocar uma parcela considerável da população em risco. Muitos moradores vivem em áreas de encostas ou nas margens dos rios, em condições precárias de habitação, tornando-se especialmente suscetíveis a desastres naturais como enchentes e deslizamentos (Natividade *et al.*, 2016; Garcia; Torres, 2016).

O ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS (UFSC, 2012) indicam que, entre 1999 e 2021, Minas Gerais registrou diversos desastres hidrológicos e climatológicos,

sendo as mais comuns estiagens e secas (44,53%), seguidos por chuvas intensas (18,48%), enxurradas (15,03%), inundações (13,69%), movimentos de massa (4,16%) e alagamentos (2,47%). Apesar da maior frequência de estiagens e secas, os desastres mais letais foram as chuvas intensas, responsáveis por 30,34% dos óbitos, seguidas por enxurradas (26,9%), inundações (14,71%) e movimentos de massa (12,64%).

Diante desse contexto, a análise e caracterização das ocorrência de eventos extremos de precipitação se torna crucial, fazendo com que cada vez mais pesquisas sejam realizadas a fim de desenvolver estratégias que auxiliem na adaptação e mitigação aos impactos relacionados à crise hídrica (Reis *et al.*, 2024; Ribeiro *et al.*, 2016; Viola *et al.*, 2015), à agricultura (Sondermann *et al.*, 2022; Zilli *et al.*, 2020) e à infraestrutura, perdas materiais e sócio econômicas (Avila-diaz *et al.*, 2020; Dalagnol *et al.*, 2022; Nascimento *et al.*, 2023; Perez *et al.*, 2020).

Para analisar dados de precipitação diária e identificar os máximos utilizando técnicas estatísticas, é importante, porém entender as diferenças entre os métodos para que resultados confiáveis e consistentes sejam extraídos desses dados é fundamental. As técnicas de Block Maxima (BM) e Percentis são duas abordagens estatísticas muito utilizadas na análise de extremos, especialmente na modelagem de eventos extremos como chuvas intensas, temperaturas extremas (Ceresetti *et al.*, 2012; Sarailidis; Tsioungos, 2018; Van De Vyver, 2015; Vandeskog *et al.*, 2022; Zakaria; Ahmad Radi; Satari, 2017).

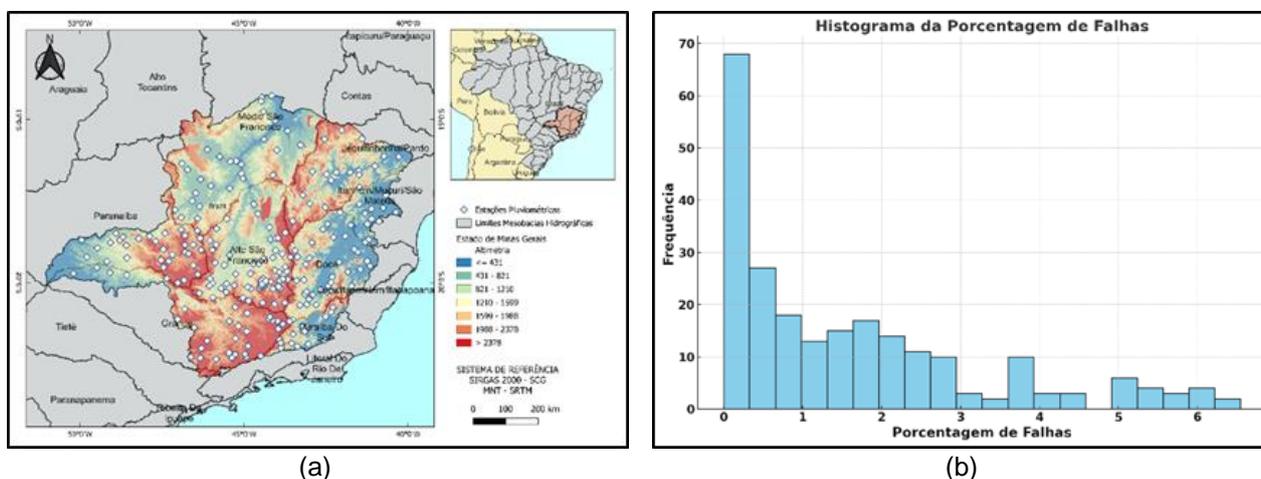
Assim, esta pesquisa tem como objetivo principal analisar e caracterizar os extremos de precipitação no estado de Minas Gerais, utilizando métodos estatísticos avançados para identificar e compreender os padrões espaciais e temporais desses eventos extremos. A análise é realizada em duas etapas principais: a identificação de máximos mensais e anuais por meio da técnica de Block Maxima, e a comparação de percentis calculados a partir de todos os dados diários com aqueles calculados a partir dos valores máximos mensais e anuais.

A realização da presente pesquisa visa proporcionar uma compreensão detalhada e abrangente da frequência, intensidade distribuição dos eventos extremos de precipitação em Minas Gerais, contribuindo para uma melhor compreensão de seus padrões, fornecendo informações úteis para tomadores de decisão e profissionais envolvidos na gestão e gerenciamento de desastres naturais, recursos hídricos e planejamento urbano, para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e adaptação. Além de comparar diferentes métodos de análise de extremos, fornecendo uma base sólida para futuras pesquisas associados a eventos climáticos extremos.

## 2. MATERIAL E MÉTODO

### 2.1 Área de estudo, seleção e distribuição dos postos pluviométricos

Para esta pesquisa, foram adquiridos dados de precipitação diária de 318 Postos pluviométricos distribuídos por todo o estado de Minas Gerais, fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), no formato Access, contendo as planilhas com totais diários, máximos e mínimos mensais, totais mensais, número de dias com chuva e um gráfico mostrando a pluviometria diária ao longo dos anos. Esses arquivos podem ser visualizados apenas no software HIDRO, também fornecido pela ANA. Assim através do gráfico. É possível verificar os postos que possuem falhas muito extensas e já descartá-las num primeiro momento, deixando apenas as que possuem pequenas falhas e que vão passar por uma avaliação mais criteriosa posteriormente. Após essa análise inicial, constatou-se que 86 apresentavam grandes lacunas nas séries temporais. Assim, foram efetivamente utilizados 232 postos. Os 86 postos com lacunas significativas foram excluídos, pois o objetivo era trabalhar com séries de dados de igual duração para todos os postos, abrangendo o período de 1977 a 2021, totalizando 44 anos.



**Figura 1** – (a) Distribuição dos postos pluviométricos (ANA) em Minas Gerais e (b) Histograma da distribuição do percentual de falhas por estação pluviométrica.

**Fonte:** Os Autores (2024)

Dos 232 postos restantes foram então selecionados apenas os postos que satisfizessem os seguintes critérios: estações com três meses ou mais de dados faltantes no inverno ou um mês ou mais no verão, o ano correspondente seria descartado. Caso o número de anos eliminados excedesse 10% dos dados da estação, esta seria excluída da pesquisa. Assim, após essa segunda varredura apenas 5 postos foram eliminados,

restando 232 postos, dos quais nenhum apresentou, mais que 7% de falhas nos dados, sendo que mais de 84% deles possuem menos de 3% de falhas e quase 10% deles possuem falhas entre 3% e 5%, como mostra a Figura 1 (b), garantindo a consistência do conjunto total dos dados e da série histórica.

É importante destacar que os valores nulos não foram preenchidos, utilizando-se os dados brutos dos postos para evitar a inserção de qualquer tipo de viés nas estimativas. Além disso, os valores de outliers não foram eliminados, uma vez que o principal objetivo da pesquisa é identificar e avaliar a frequência e a magnitude dos extremos, sendo estes precisamente os valores que se desviam significativamente da média.

## 2.2 Métodos Estatísticos: Block Maxima e Percentis

Para caracterizar a distribuição espaço-temporal dos extremos pluviométricos em Minas Gerais, utilizou-se dois métodos estatísticos: a técnica do percentil convencional e a técnica de Block Maxima (BM). A escolha dos percentis foi baseada na literatura existente e na prática comum em estudos climáticos. Os dados foram analisados mensalmente para identificar padrões sazonais e tendências de longo prazo.

Na análise de extremos de precipitação, as técnicas dos Percentis (P) e Block Maxima (BM) são dois métodos amplamente utilizados, cada um com suas particularidades e aplicabilidades específicas. Na análise de dados de precipitação, os percentis 95 e 99 são frequentemente utilizados para identificar dias com precipitação intensa, classificando-os como eventos extremos.

Os percentis 95 e 99, foram calculados da forma convencional, para os todos os dados pluviométricos diários. Essa técnica dos percentis é amplamente utilizada para a determinação de limiares de valores extremos de precipitação ou classes de precipitação, pois permitem uma análise detalhada da distribuição dos dados de precipitação, como demonstram diversos estudos nessa área (Abreu *et al.*, 2022; Amorim *et al.*, 2020; Silva; Marengo; Lemes, 2024; Lima; Armond, 2022; Néto; Santos, 2022; Teixeira; Satyamurty, 2011), tornando-se fundamental para diversas aplicações em climatologia, incluindo a previsão de eventos climáticos severos, planejamento de uso dos recursos hídricos e gestão de desastres. Assim é correto e imprescindível afirmar que os percentis calculados a partir de todos os dados diários fornecem uma visão ampla da distribuição diária da precipitação, enquanto os percentis calculados a partir dos máximos dos blocos mensais e anuais destacam a intensidade dos eventos extremos de precipitação. Ambos são úteis,

mas em contextos diferentes, dependendo da natureza da análise e do tipo de planejamento necessário.

A escolha dos percentis 95 e 99 para a análise de extremos pluviométricos baseia-se na literatura existente sobre a caracterização de eventos extremos. Estudos anteriores indicam que os percentis elevados são eficazes para identificar eventos raros e extremos, que são de grande interesse para a modelagem de riscos climáticos e planejamento de mitigação (Camuffo *et al.*, 2020; Papalexiou; Koutsoyiannis; Makropoulos, 2013). Percentis altos, como 95 e 99, são frequentemente usados em hidrologia e climatologia para capturar a variabilidade de eventos extremos, que não são visíveis em percentis mais baixos. O percentil 95 representa eventos que ocorrem com menor frequência, enquanto o percentil 99 captura eventos extremamente raros, proporcionando uma visão abrangente sobre a intensidade e frequência dos extremos de precipitação (Camuffo *et al.*, 2020). Esta abordagem permite uma análise detalhada das condições extremas que podem ter impactos significativos na infraestrutura, agricultura e gestão de recursos hídricos.

A técnica de Block Maxima é utilizada para capturar os eventos de precipitação extremos de grande magnitude dentro de intervalos de tempo definidos, concentrando-se nos valores máximos. Os valores máximos são extraídos para cada bloco de dados diários (mensal, anual) e podem ser modelados usando distribuições de valores extremos, como a DGVE (Distribuição Generalizada de Valores Extremos).

Nesta técnica é realizada a divisão do conjunto de dados em blocos de igual tamanho, como meses ou anos. Posteriormente é feita a seleção de máximos para cada bloco. O valor máximo é, então identificado e registrado. E finalmente é feita a análise dos máximos de cada bloco para entender a distribuição dos eventos extremos pluviométricos (Ceresetti *et al.*, 2012; Sarailidis; Tsioungkos, 2018; Van De Vyver, 2015; Vandeskog *et al.*, 2022; Zakaria; Ahmad Radi; Satari, 2017).

O método BM consiste em agrupar os dados em blocos de igual comprimento e ajustar os dados para o conjunto de máximos de bloco. Suponha que  $x_1, x_2, \dots, x_n$  é uma sequência de independentes e distribuído de forma idêntica com uma função de distribuição comum  $F(x)$ . A distribuição de a estatística de pedido máximo é dada segundo a Eq. (1):

$$M_n = \max\{X_1, X_2, \dots, X_n\} \quad (1)$$

Os dados máximos dos blocos são geralmente modelados usando a Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV), como Gumbel, Weibull e Fréche, (Zakaria; Ahmad Radi; Satari, 2017).

No contexto da distribuição de precipitação diária extrema, os percentis podem ser usados para determinar a frequência e a magnitude de eventos extremos de precipitação em relação aos dados observados, auxiliando na avaliação de riscos e na tomada de decisões em projetos de engenharia e planejamento hidrológico (Papalexiou; Koutsoyiannis; Makropoulos, 2013).

Os métodos de Block Maxima (BM) e percentis têm suas limitações inerentes. A técnica de BM, por exemplo, pode subestimar a frequência de eventos extremos quando usados blocos de tempo longos, como anuais, pois captura apenas o maior evento em cada bloco, potencialmente ignorando eventos significativos que ocorrem dentro do mesmo período (Hosseinzadehtalaei; Tabari; Willems, 2020). Para mitigar essa limitação, utilizamos blocos mensais além dos blocos anuais, permitindo uma captura mais granular dos extremos.

A abordagem baseada em percentis, embora eficaz para identificar extremos, pode ser sensível à escolha do período de referência e à variabilidade temporal dos dados. Para garantir robustez na análise, utilizou-se séries temporais longas (1977-2021) e verificou-se a consistência dos resultados através de testes de tendência e variabilidade (Marengo *et al.*, 2024).

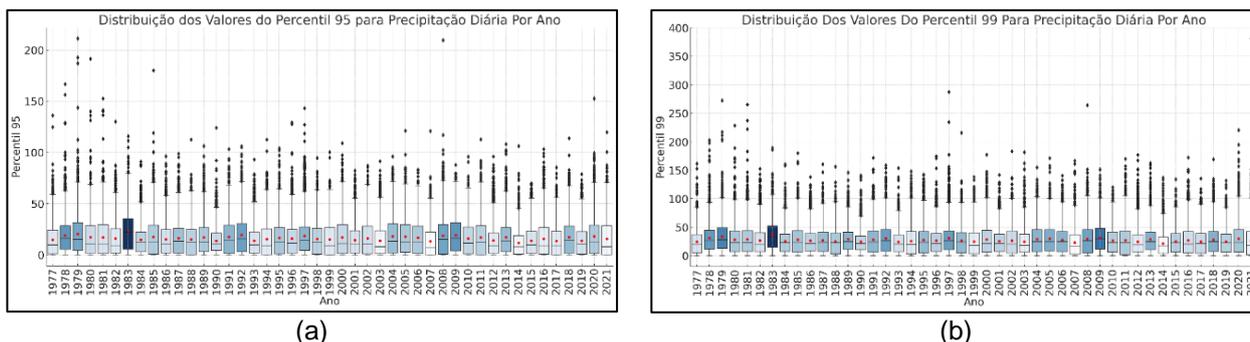
Outro aspecto considerado foi a representatividade espacial das estações pluviométricas. Para abordar essa questão, utilizou-se um grande número de estações (232), cobrindo todas as regiões de Minas Gerais, o que permitiu realizar uma análise espacial detalhada dos extremos de precipitação. Os dados foram analisados mensalmente para identificar padrões sazonais e tendências de longo prazo.

Para a presente pesquisa, os valores máximos foram identificados dentre todos os dias de todos os meses da série histórica de 1977 a 2021 (44 anos), por mês e ano, em cada estação pluviométrica. Isso corresponde à etapa do método BM, que é dividir a série temporal em blocos. Depois de identificar os valores máximos de cada bloco, foram então gerados os percentis 95 (P95) e 99 (P99) dos blocos de máximos já identificados. Esta etapa é uma análise adicional na estatística descritiva (percentis) dos valores máximos identificados. Portanto, essa metodologia incorpora o método Block Maxima e estende a análise ao calcular percentis dos valores máximos selecionados, fornecendo uma visão detalhada dos extremos em diferentes níveis de severidade. Nesse caso, tem-se valores abaixo dos quais 95% e 99% dos máximos mensais ou anuais estão. Estes valores são mais altos, pois se baseiam apenas nos valores extremos de precipitação, ou seja, apenas nos máximos dos blocos.

### 3. CARACTERIZAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DOS EXTREMOS PLUVIMÉTRICOS EM MINAS GERAIS

#### 3.1 Enfoque temporal pelo método dos percentis convencional

No enfoque geral, os percentis (95 e 99) foram calculados considerando todos os dados de precipitação diária disponíveis para cada estação. Eles representam o valor abaixo do qual 95% e 99% dos dados de precipitação diária se encontram.



**Figura 2** – Gráficos da distribuição anual do P95 (a) e P99 (b) para a precipitação no estado de Minas Gerais para a série histórica de 1977 a 2021.

**Fonte:** Os autores, 2024.

Os gráficos da Figura 2 (a e b) apresentam a distribuições anuais dos P95 e P99 respectivamente, da precipitação diária para todos os postos pluviométricos, as cores nos boxplots refletem a intensidade dos valores medianos, com tons de azul representando diferentes níveis de intensidade. Ambas as distribuições mostram um comportamento semelhante, porém o P95, mostra uma variabilidade menor em relação ao P99, mas não menos significativa de ano para ano.

**Tabela 1** – Média e desvio-padrão para os anos mais chuvosos.

Ano	Percentil	$\mu$ (mm/dia)	$\sigma$ (mm/dia)
1978	P95	18,881	16,677
1978	P99	31,041	25,257
1979	P95	20,439	19,862
1979	P99	33,343	27,003
1983	P95	22,837	18,19
1983	P99	36,019	26,359
1992	P95	19,496	18,425
1997	P99	30,903	26,556
2009	P95	19,285	16,581
2009	P99	31,8	23,757

**Fonte:** Autores, 2024.

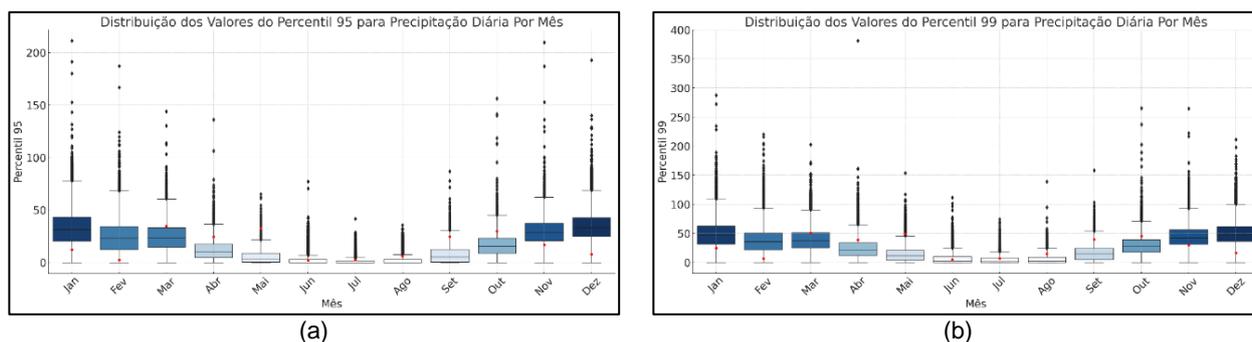
**Tabela 2** – Média e desvio-padrão para os anos com maior variabilidade pluviométrica diária.

Ano	Percentil	$\mu$ (mm/dia)	$\sigma$ (mm/dia)
1979	P95	20,439	19,862
1979	P99	33,343	27,003
1992	P95	19,496	18,425
2008	P95	18,459	18,993
2008	P99	29,469	26,619
2011	P95	17,07	18,705
2011	P99	27,211	26,694
2020	P95	18,212	19,258
2020	P99	29,933	28,764
2021	P99	25,91	26,565

Fonte: Autores, 2024.

Nas Tabelas 1 e 2, é possível verificar os anos mais chuvosos e os anos com maior variabilidade, respectivamente, em relação aos P95 e P99. A maior variabilidade em dados climáticos, especialmente em relação aos percentis de precipitação, indica que houve grandes flutuações nos valores de precipitação em um determinado período de tempo. Ou seja, anos com alta variabilidade nos percentis indicam que houve uma alta dispersão nos valores de precipitação. Isso pode ocorrer devido a vários fatores com eventos climáticos extremos, mudanças climáticas ou influências regionais. De acordo com a Defesa Civil de Minas Gerais, fortes chuvas associadas ao El Niño causaram enchentes e deslizamentos de terra em Minas Gerais, nesses anos. Com destaque para o ano de 1983, que teve um dos mais fortes eventos de El Niño do século XX. Os impactos mais significativos ocorreram entre setembro de 1982 e março de 1983. No Brasil, as chuvas intensas foram mais pronunciadas nos meses de verão, de dezembro de 1982 a fevereiro de 1983 (Cavalcanti *et al.*, 2016; Ropelewski; Hailpert, 1987).

Os anos de 1997, 2008 e 2020 mostram maiores flutuações, com picos significativos, alertando para ocorrência de precipitações ainda mais intensas em alguns locais. O El Niño de 1997-1998 também foi extremamente forte e seus efeitos foram sentidos de meados de 1997 até o início de 1998, assim como nos outros dois anos que sofreram com os fortes impactos do fenômeno (Grimm; Tedeschi, 2009; Nobre; Shukla, 1996; Silva; Kousky, 2012). Pesquisas nos últimos anos mostram exatamente esse comportamento, porém para algumas regiões isoladas (Campos *et al.*, 2016; Reboita *et al.*, 2017; Reis *et al.*, 2018; Silva; Escobar; Reboita, 2020).



**Figura 3** – Gráficos da distribuição mensal dos P95 (a) e P99 (b) para a precipitação no estado de Minas Gerais para a série histórica de 1977 a 2021.

**Fonte:** Autores, 2024.

Analisando as distribuições mensais dos percentis 99 e 95 diários, mostradas nos gráficos da Figura 3 (a e b) é possível obter uma visão detalhada sobre os padrões sazonais de precipitações extremas na região. Os meses de novembro a março apresentam os maiores valores de precipitação, indicando que as precipitações extremas são mais comuns principalmente durante o verão. Esse padrão pode ser explicado por fatores climáticos e meteorológicos que influenciam a precipitação no Estado de Minas Gerais. A estação chuvosa no Sudeste do Brasil, incluindo esse estado, ocorre tipicamente durante os meses de verão (dezembro a março), devido à influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e ao aquecimento das águas do Atlântico Sul, fator determinante que contribui para a alta precipitação e a variabilidade observada, levando a eventos extremos frequentes (Barros *et al.*, 2000; Silva Dias *et al.*, 2013). A alta frequência de precipitação extrema durante os meses de verão, também está relacionado com o aumento da temperatura do ar e maior disponibilidade de umidade (Marengo *et al.*, 2009; Holender; Santos, 2023). Essas condições favorecem a ocorrência de tempestades convectivas extremas.

Já os meses de junho, julho e agosto têm valores de precipitação significativamente mais baixos para os percentis 95 e 99, refletindo a estação seca na região. O inverno é caracterizado pela seca, com baixas precipitações e quase ausência de eventos extremos, resultado do comportamento e posição dos sistemas meteorológicos e a menor atividade convectiva. A primavera (setembro e outubro) e o outono (abril e maio) representam períodos de transição, com a primavera mostrando um aumento gradual nas precipitações, preparando-se para o verão chuvoso, e o outono apresentando uma redução gradual nas precipitações conforme o inverno seco se aproxima (Marengo *et al.*, 2009; Holender; Santos, 2023).

**Tabela 3** – Média e desvio padrão dos meses mais chuvosos e com maior variabilidade pluviométrica diária no percentis 95 e 99.

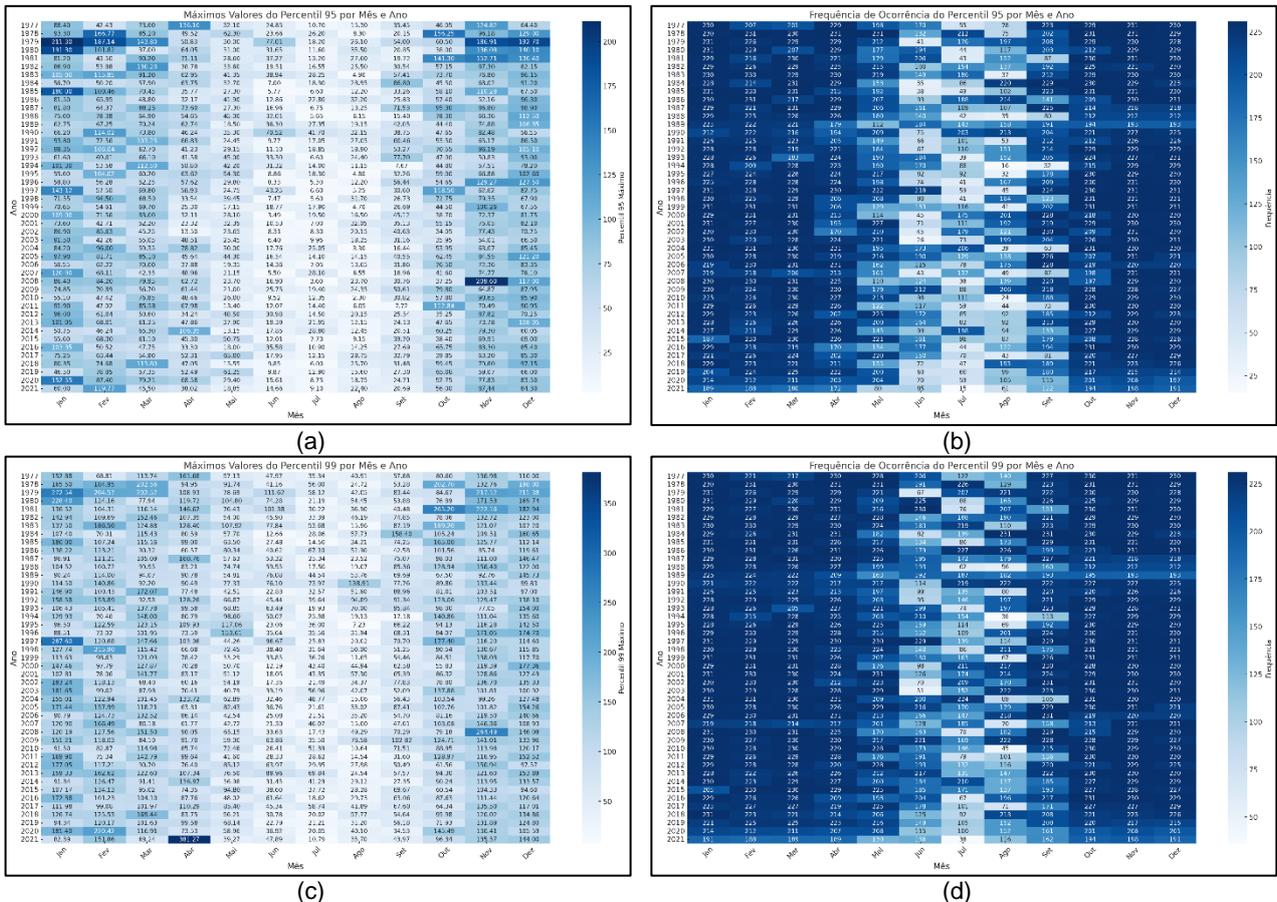
Mês	Percentil	Média (mm/dia)	$\sigma$ (mm/dia)
Dez	95	34,701	14,688
Jan	95	32,616	17,807
Nov	95	29,876	13,522
Mar	95	24,666	14,073
Fev	95	24,641	16,305
Out	95	16,731	11,365
Dez	99	50,932	21,243
Jan	99	49,147	25,481
Nov	99	45,125	20,123
Mar	99	39,615	21,039
Fev	99	38,768	23,324
Out	99	29,999	18,009

Fonte: Autores, 2024.

A amplitude dos valores é maior nos meses chuvosos (verão), destacando a variabilidade das precipitações extremas durante esse período, como mostram os valores da Tabela 3. Todos os meses listados na tabela como mais chuvosos (baseado na média dos percentis 95 e 99) também aparecem na lista de meses com maior variabilidade (baseado no desvio padrão dos percentis 95 e 99). Esses resultados indicam também que dezembro tende a ter os valores mais altos de precipitação, enquanto janeiro apresenta a maior variabilidade nos valores extremos de precipitação. De onde conclui-se que os meses mais chuvosos também apresentam maior variabilidade, corroborando com pesquisas sobre eventos extremos de precipitação em Minas Gerais, as quais mostram que os eventos de precipitação extrema são mais frequentes durante a estação chuvosa (Dalagnol *et al.*, 2022; Reis *et al.*, 2018).

Os mapas de calor mostrados na Figura 4 (a e b), mostram os anos e os meses, em que ocorreram *outliers* de maior magnitude e na Figura 4 (c e d) anos e meses, com maior frequência desses eventos nos percentis 95 e 99. Analisando ambos os mapas, é possível afirmar que os meses de janeiro fevereiro, novembro e dezembro são consistentemente os meses com os maiores valores de *outliers* para ambos os percentis 95 e 99, enquanto abril destaca-se no percentil 99 com o maior valor absoluto de *outlier*. Além disso, ambos os mapas mostram ainda que nos anos iniciais da série houve a ocorrência de extremos de maior magnitude, com várias ocorrências de *outliers* acima dos limites de concentração já descritos, indicando que alguns postos apresentam ocorrências de precipitação bem acima do que se considera extremo, principalmente na década de 70, com uma impressão de

estabilidade de longo dos anos. De acordo com os registros da Defesa Civil de Minas Gerais (SEDEC), nesses anos ocorreram chuvas intensas que causaram inundações e deslizamentos de terra em várias partes do estado, associadas ao fenômeno meteorológico El Niño. Em relação a frequência das ocorrências de extremos, os meses de primavera e verão mostram em média 230 ocorrências por ano, considerando os dados de todas as estações ao longo da série de 44 anos, reduzindo drasticamente esse número nos meses de inverno.



**Figura 4** – Mapas de calor da magnitude e frequência de extremos pluviométricos por meses e anos nos P95 (a e b) e P99 (c e d) no estado de Minas Gerais para a série histórica de 1977 a 2021. **Fonte:** Autores, 2024

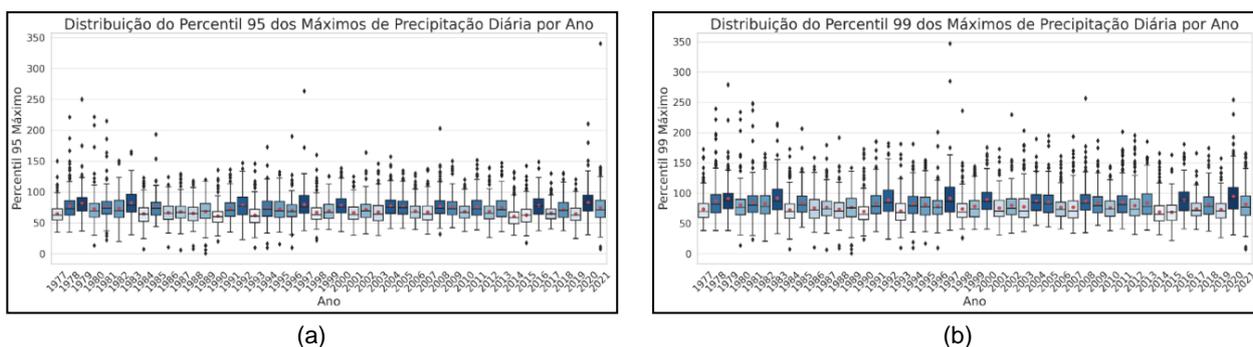
Com base nas análises dos percentis 95 e 99 ao longo dos anos, não é possível afirmar que exista uma tendência clara de aumento ou diminuição nas precipitações em todo o estado. Isso indica que os eventos extremos de precipitação diária não se tornaram significativamente mais frequentes ou menos comuns durante o período analisado. Entretanto, em algumas localidades específicas, observamos que esses eventos extremos têm se tornado mais intensos.

### 3.2 Enfoque temporal pelo método de Block Maxima

A abordagem empregada nesta etapa vai além da abordagem tradicional no cálculo dos percentis, ao criar uma série temporal dos percentis dos máximos, adicionando uma camada de análise que destaca os eventos mais extremos dentro dos períodos analisados. Focando nos extremos mais significativos, calcular os percentis apenas dos máximos oferece uma visão mais clara dos eventos mais severos, reduzindo a influência de variabilidades menos relevantes. Essa técnica proporciona uma estimativa mais robusta dos eventos extremos, essenciais para a análise de riscos e o planejamento de mitigação.

Para gerar os blocos de máximos nesta etapa, foram calculados os valores dos percentis 95 e 99 dos máximos por ano para cada posto pluviométricos. Da mesma forma, foram calculados os percentis 95 e 99 dos máximos para cada mês ao longo de toda a série histórica, resultando em blocos de valores de P95 e P99 para cada mês em cada um dos 232 postos.

Essa abordagem avançada proporcionou uma visão detalhada dos eventos de precipitação mais extremos, sendo crucial para modelar e prever eventos futuros com maior precisão. A utilização dos percentis dos máximos é especialmente útil para destacar os eventos mais extremos e significativos, de forma a refinar ainda mais os valores extremos, focando em eventos que ocorrem muito raramente e com grande intensidade. Assim, os valores mínimos não são mais apenas zeros (dias sem chuva), mas também mínimos significativos entre os máximos, eliminando a influência dos zeros devido à técnica de BM dos quantis.



**Figura 5** – Gráficos da distribuição anual dos P95 (a) e P99 (b) dos blocos de máximo da precipitação diária no estado de Minas Gerais para a série histórica de 1977 a 2021.

**Fonte:** Autores, 2024.

Pelos gráficos da Figura 5 (a e b) é possível observar claramente os resultados da aplicação da técnica de BM. Na etapa anterior, a análise dos valores anuais não evidenciou claramente a variabilidade dos eventos extremos. Em contraste, a abordagem atual, revela

uma maior granularidade e destaca quatorze anos com ocorrência intensa de extremos. Também foi possível identificar *outliers* abaixo dos valores mínimos, representando eventos de precipitação anormalmente baixos que ocorrem raramente. Eles podem indicar períodos de seca ou condições meteorológicas atípicas dentro do mês, ou ainda anomalias locais específicas de uma estação meteorológica ou região em particular que não se alinham com o padrão geral. Comparativamente, a análise anterior não identificava esses *outliers* negativos com tanta clareza.

**Tabela 4** – Média e desvio-padrão para os anos mais chuvosos dos blocos anuais de máxima para os percentis 95 e 99 da precipitação diária.

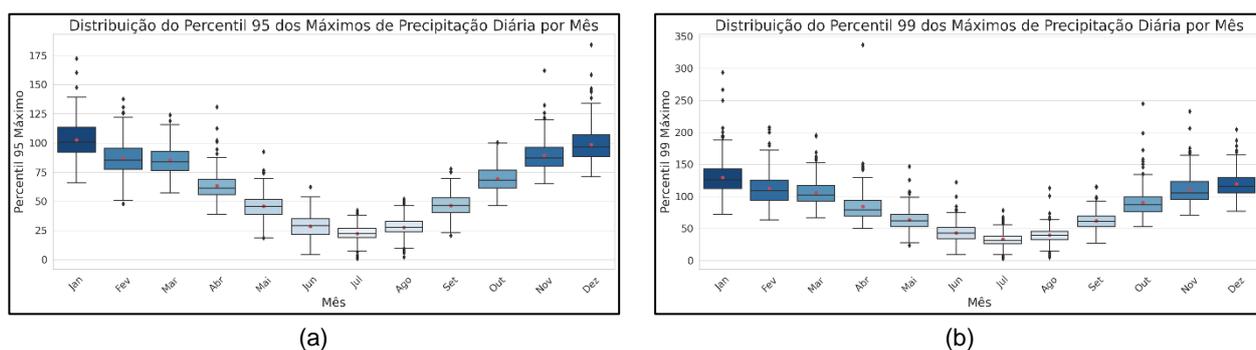
Ano	$\mu$ 95 (mm/dia)	$\sigma$ 95 (mm/dia)	$\mu$ 99 (mm/dia)	$\sigma$ 99 (mm/dia)
1979	81,590	21,553	91,067	27,051
1983	82,717	20,884	91,9622	27,204
1991	73,114	18,750	83,010	25,126
1994	74,132	19,452	83,095	23,841
1997	80,111	24,446	91,870	34,162
2000	78,584	17,590	89,586	24,042
2004	77,621	18,268	87,244	23,045
2005	76,607	18,322	85,459	24,639
2008	77,18	20,422	87,110	26,186
2009	75,834	17,209	83,818	22,534
2011	75,952	19,444	85,656	26,740
2013	74,406	19,416	83,941	25,592
2016	77,823	18,535	88,654	24,393
2021	74,342	29,140	83,49818807	40,635

Fonte: Autores, 2024.

Todos os anos mostrados na Tabela 4, mostraram médias elevadas, evidenciando o grande volume de chuvas, com destaque para os anos de 1979, 1983, 1997, 2000 e 2021, os quais também foram identificados com maior variabilidade tanto no P95 quanto no P99 dos valores máximos de precipitação, indicando grandes flutuações na intensidade das chuvas durante esses períodos, corroborando com pesquisas anteriores (Campos *et al.*, 2016; Reboita *et al.*, 2017; Reis *et al.*, 2018; Silva; Escobar; Reboita, 2020). Nesses anos o estado sofreu com a influência do fenômeno El Nino, de moderado a forte. De acordo com registros Cavalcanti *et al.*, 2016; Grimm; Tedeschi, 2009; Nobre; Shukla, 1996; Ropelewski; Hailpert, 1987; Silva; Kousky, 2012), as chuvas intensas causaram inundações e deslizamentos de terra em várias partes do estado como poder ser comprovado nos registros históricos e relatórios do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2ID, (SEDEC, 2024). A variabilidade e o aumento na intensidade e frequência dos eventos

de precipitação intensa em Minas Gerais podem estar relacionados a diversos fatores, especialmente às mudanças climáticas. Estudos indicam que as mudanças climáticas globais influenciam os padrões de precipitação, aumentando a frequência e intensidade dos eventos extremos. A literatura aponta que o aquecimento global impulsiona maior evaporação e, conseqüentemente maior quantidade de vapor d'água na atmosfera, resultando em precipitações mais intensas (Sun *et al.*, 2021; Trenberth, 2020).

Especificamente no Sudeste do Brasil, estudos indicam um aumento na intensidade e frequência de eventos de precipitação intensa, correlacionando esses eventos com mudanças nos padrões climáticos regionais (Marengo *et al.*, 2023; Marengo *et al.*, 2009; Silva Dias *et al.*, 2013). Modelos climáticos projetam que a tendência de aumento na intensidade dos eventos de precipitação intensa continuará nas próximas décadas, especialmente em regiões vulneráveis como Minas Gerais (Calvin *et al.*, 2023; Lee *et al.*, 2022).



**Figura 6** – Gráficos da distribuição mensal dos P95 (a) e P99 (b) dos blocos de máximo da precipitação diária no estado de Minas Gerais para a série histórica de 1977 a 2021.

**Fonte:** Autores, 2024.

As distribuições dos percentis 95 e 99 de precipitação diária por mês para toda a série histórica analisada utilizando BM, nos gráficos da Figura 6 (a e b), mostram os meses de dezembro a março (primavera e verão) com os maiores valores de precipitação diária, indicando a ocorrência frequente de eventos de chuva intensa, além de uma grande variabilidade. Esse comportamento heterogêneo dos extremos tanto entre os postos pluviométricos quanto entre os meses é um avanço em relação à técnica anterior convencional, a qual não foi capaz de capturar tal variabilidade de maneira tão clara. Nos meses de inverno, a variabilidade é consideravelmente menor, refletindo meses mais secos e com maior homogeneidade espacial, o que já havia sido indicado na análise anterior, porém agora com maior consistência e clareza.

A análise também identificou *outliers* abaixo dos valores mínimos,

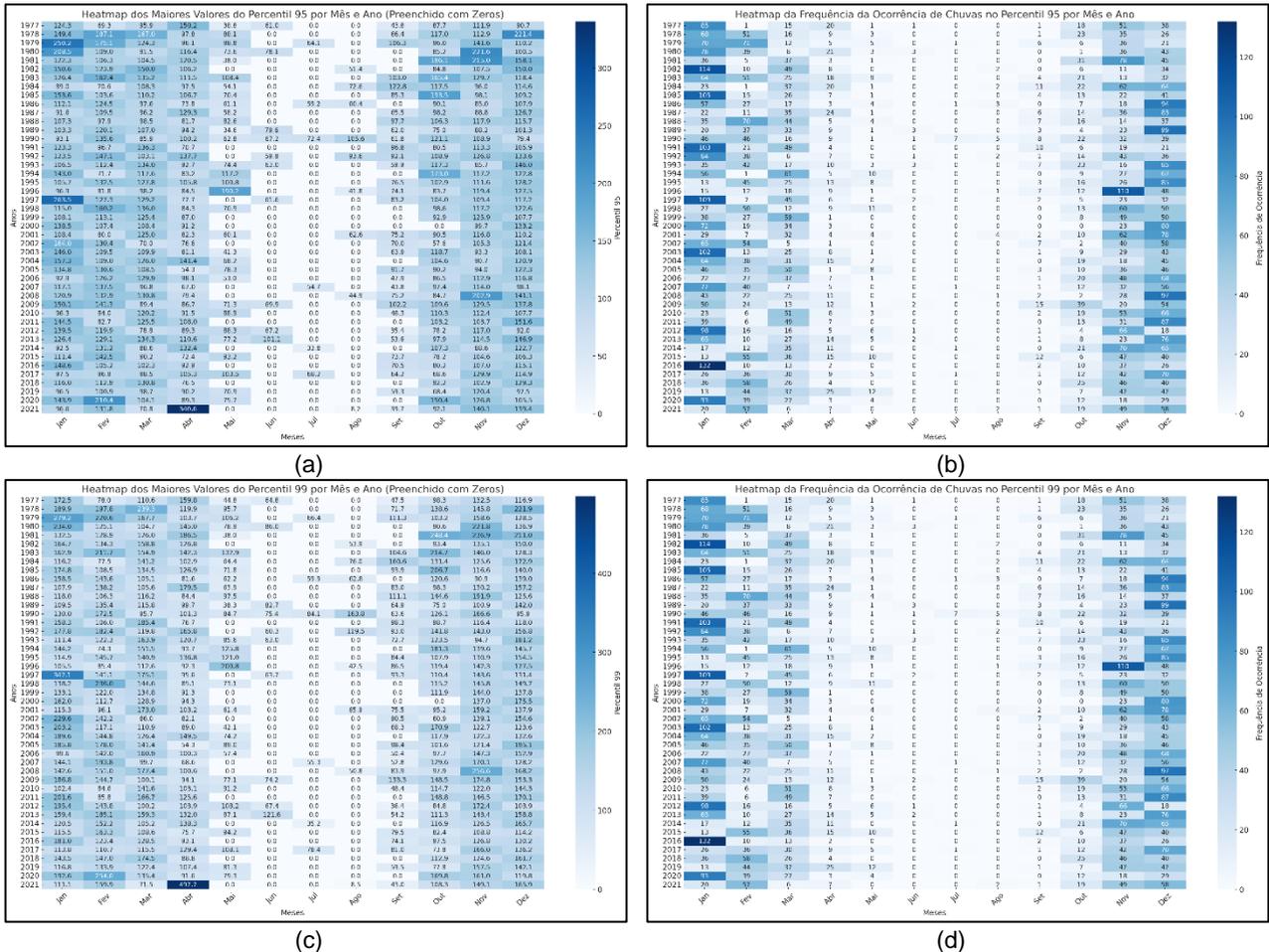
representando eventos de precipitação anormalmente baixa que ocorrem raramente. Eles podem indicar períodos de seca ou condições meteorológicas atípicas dentro do mês, ou ainda anomalias locais específicas de uma estação meteorológica ou região em particular que não se alinham com o padrão geral. Comparativamente, a análise anterior não identificava esses *outliers* negativos com tanta clareza.

**Tabela 5** – Média e desvio-padrão para os anos mais chuvosos dos blocos mensais de máxima para os percentis 95 e 99 da precipitação diária.

Mês	$\mu$ P95 (mm/dia)	$\sigma$ P95 (mm/dia)	$\mu$ P99 (mm/dia)	$\sigma$ P99 (mm/dia)
Jan	102,485	16,418	129,493	28,165
Fev	86,581	14,216	112,846	26,198
Abr	63,357	12,112	84,260	25,911
Out	69,449	11,285	90,418	23,132
Nov	89,183	12,861	110,937	23,075
Mar	85,361	11,966	106,317	21,624
Dez	98,620	15,354	119,740	20,965
Mai	45,727	10,829	63,692	16,746
Jun	28,583	10,723	43,212	14,919
Set	46,347	10,232	61,915	13,862
Ago	27,639	8,504	39,554	12,429
Jul	22,359	7,197	33,134	11,724

Fonte: Autores, 2024.

Na técnica convencional, o mês de abril não foi identificado como um mês chuvoso e nem com alta variabilidade, porém utilizando a técnica de BM, é possível destacar esse mês entre os meses de maior variabilidade, de acordo com a Tabela 5. O evento extremo capturado aqui, ocorreu no início de abril de 2004 em Belo Horizonte, atingindo também outras áreas de Minas Gerais por fortes chuvas que causaram enchentes e deslizamentos de terra. Mais precisamente entre os dias 3 e 7, com 56, 84, 120, 70 e 92 mm respectivamente por dia, acumulando mais de 400mm no total. Este evento resultou em danos significativos à infraestrutura, incluindo ruas alagadas, interrupções no trânsito, deslizamentos que afetaram residências e deslocamentos de pessoas. Esse fato pode ser comprovado pelos relatórios do S2ID (SEDEC, 2024) e do Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM, 2024) e pelas notícias na mídia como o jornal “O Estados de Minas” e o “O Tempo” que cobriram os efeitos do desastre.



**Figura 7** – Mapas de calor de magnitude e frequência da ocorrência de precipitação por meses e anos nos P95 (a) e P99 (b) por BM no estado de Minas Gerais para a série histórica de 1977 a 2021.

**Fonte:** Autores, 2024.

Em comparação com a técnica convencional, a técnica de BM demonstrou ser eficaz ao filtrar os dias secos (com valores de pluviosidade baixos ou zero) e considerar apenas os máximos no cálculo dos percentis, evidenciando seu potencial de refinamento. Esta técnica consegue identificar com maior precisão os anos e os meses com eventos de grandes magnitudes, os quais não puderam ser detectados anteriormente, conforme mostram os mapas da Figura 7 (a e c). Esses eventos se concentraram nos meses de primavera e verão, como era esperado.

Em relação à frequência das ocorrências por mês e ano, considerando todas as estações para a série, a técnica de BM mostrou uma sensibilidade superior ao método convencional, destacando apenas os anos e meses com ocorrência de eventos de grandes magnitudes e reduzindo consideravelmente a frequência nos demais períodos, como ilustrado na Figura 7 (b e d). Os meses de janeiro e dezembro concentraram o maior número de eventos de grandes magnitudes. Esses eventos podem estar correlacionados com os anos de ocorrência de El Niño, que geralmente se estendem entre os meses de outubro a

março, mas com maior intensidade em janeiro e fevereiro (Cavalcanti *et al.*, 2016; Grimm; Tedeschi, 2009; Nobre; Shukla, 1996; Ropelewski; Hailpert, 1987; Silva; Kousky, 2012).

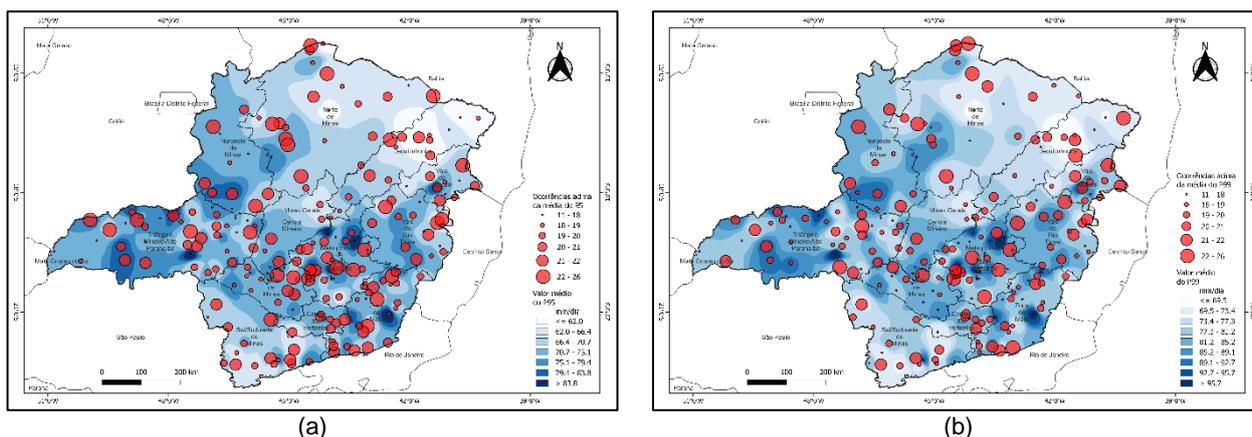
Nos meses de inverno (maio, junho e julho), a nova análise identificou eventos extremos para alguns anos da série, demonstrando a eficiência da técnica de BM em destacar esses eventos mesmo em meses tradicionalmente secos, o que não foi possível com a abordagem convencional. Durante o inverno no hemisfério sul, a região Sudeste do Brasil pode ser influenciada por sistemas frontais, frentes frias e áreas de baixa pressão, resultando em eventos de chuvas intensas e até extremos de precipitação (Carvalho; Jones; Liebmann, 2002).

Eventos de precipitação extrema, como os apresentados aqui, podem causar inundações significativas, deslizamentos de terra e outros desastres naturais. A infraestrutura local deve ser projetada para suportar essas condições extremas (Guedes *et al.*, 2023).

### **3.3 Análise da distribuição espacial dos extremos pluviométricos mensais**

A climatologia geográfica ou a geografia do clima, segundo (Neto, 2001), representam pilares na ciência geográfica ao colocarem o espaço como um elemento central. Tais abordagens possibilitam uma visão do espaço não apenas como um local onde ocorrem fenômenos meteorológicos e climáticos, mas também como um ambiente que estabelece conexões entre esses fenômenos, dinâmicas e processos, sendo sua existência relativa. Dessa forma, ao considerar o espaço como relativo, torna-se essencial compreender os fenômenos climáticos, como os eventos extremos de precipitação, partindo da premissa de que a existência do espaço e dos extremos está intrinsecamente ligada, conforme destacado por (Harvey, 2015).

Além disso, como trata a climatologia geográfica, o conceito de ritmo, que se refere à sequência regular dos diferentes tipos de tempo, ajuda a entender como os sistemas atmosféricos atuam em uma determinada região. Ao considerar o espaço de forma relativa, é possível ter uma visão abrangente dos fenômenos climáticos, analisando como a circulação atmosférica interage com o espaço geográfico. Essa abordagem ampla destaca a importância dessa relação para o estudo do clima e dos eventos meteorológicos.



**Figura 8** – Mapas da distribuição espacial do número de frequência (a) e da magnitude (b) da ocorrência de eventos extremos pluviométricos diários em Minas Gerais para a série histórica de 1977 a 2021.

**Fonte:** Autores, 2024.

Os mapas das Figura 8 (a e b), mostram a distribuição espacial da frequência e magnitude dos extremos pluviométricos, corroborando com as análises anteriores, sendo possível agora visualizar quais as regiões do estado são mais suscetíveis à ocorrência de eventos de grandes magnitudes e com que frequência eles ocorrem.

Assim, a análise da distribuição espacial dos eventos extremos de precipitação é essencial para compreender como a intensidades e a frequência desses eventos ocorrem em diferentes localidades do estado de Minas Gerais, para que assim seja possível integrar nas análises fatores como relevo, uso e cobertura do solo, além de ser possível visualizar como os fenômenos climáticos se comportam pelo espaço, auxiliando com maior precisão nas tomadas de decisão e nas medidas de mitigação de desastres.

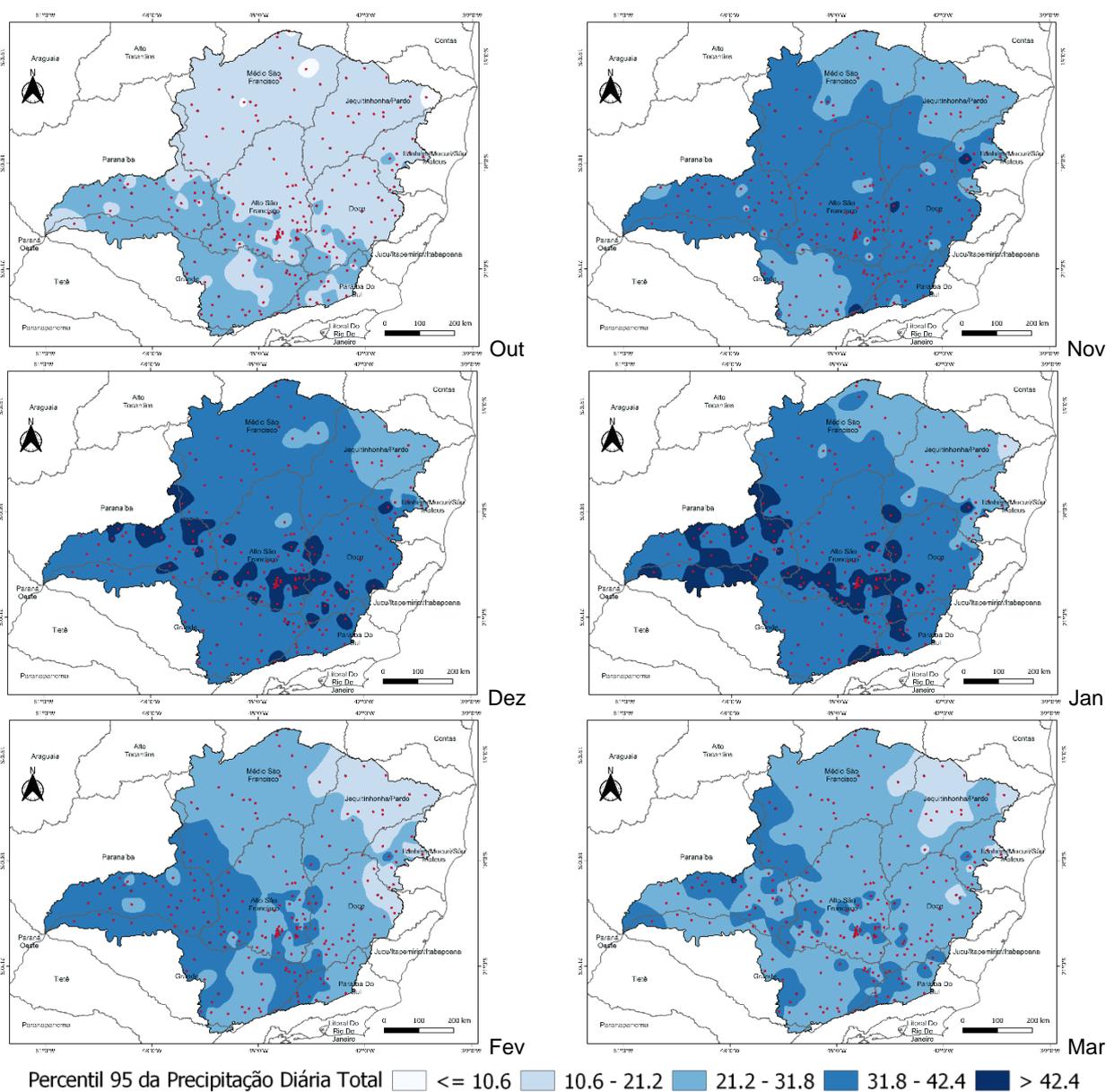
### 3.3.1. Avaliação das técnicas do percentil convencional x Block Maxima na identificação de áreas potencialmente atingidas por extremos pluviométricos

Como já discutido nas análises anteriores, os meses que apresentaram maior frequência e magnitude de eventos extremos, foram os meses de primavera e verão que vão de outubro a março, assim nesse tópico serão apresentados apenas os mapas que mostram a distribuição espacial das estações pluviométricas para os meses supracitados.

Os mapas da Figura 9 mostram a distribuição espacial do P95 de precipitação diária, para os meses de outubro a março para o estado de Minas Gerais, com precipitações diárias acima desse percentil entre 10 e 42 mm diários.

A variabilidade sazonal se mantém, mostrando os valores mais altos no P95 para os meses de novembro, dezembro e janeiro, com valores superiores a 42 mm diários. Espacialmente, os postos que apresentam tais valores estão distribuídos em algumas

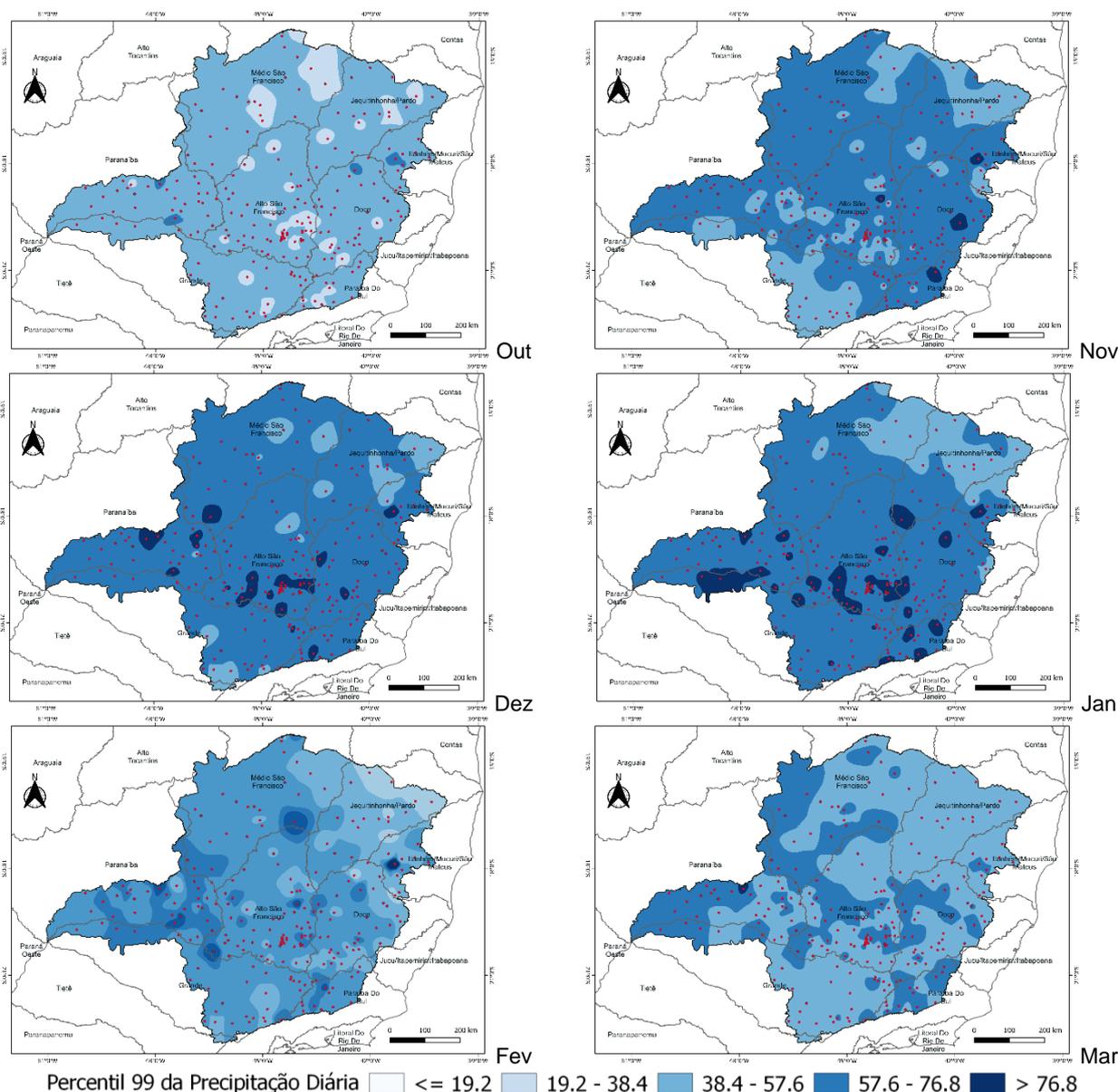
regiões do estado que abrangem principalmente o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Central Mineira, RMBH, Zona da Mata e Oeste de Minas formando uma espécie de ‘cinturão’. Os meses de fevereiro e março já não apresentam valores tão altos no P95, ficando abaixo dos 20 mm diários em boa parte do Jequitinhonha e Norte de Minas, abaixo dos 30 mm na faixa mais central do estado e um pouco acima dos 30 mm, principalmente na região do Noroeste, Triângulo Mineiro, Campo das Vertentes e RMBH. Sendo que em março a concentração de valores mais altos ficam cada vez mais concentradas em algumas estações, já mostrando que os extremos começam a diminuir, com a entrada do outono, estação seca.



**Figura 9** – Mapas da distribuição espacial do P95 convencional para a precipitação diária em Minas Gerais para a série histórica de 1977 a 2021.

**Fontes:** Autores, 2024.

Em novembro os valores superam a marca dos 35 mm diários em grande parte do estado, mas ainda não mostram concentrações de extremos, com um único posto mostrando valores acima dos 45 mm na RMBH. Dezembro então, inicia a formação do ‘cinturão’ de extremos que vai do Noroeste de Minas, uma parte do Triângulo Mineiro até a Zona da Mata.



**Figura 10** – Mapas da distribuição espacial do P99 convencional para a precipitação diária em Minas Gerais para a série histórica de 1977 a 2021.

**Fonte:** Autores, 2024.

Ao analisar o percentil 99 por mês para os postos pluviométricos do estado, Figura 10, tanto sazonal quanto espacialmente, é notável que a precipitação segue o mesmo comportamento do percentil 95, com maior incidência de extremos nos meses de outubro

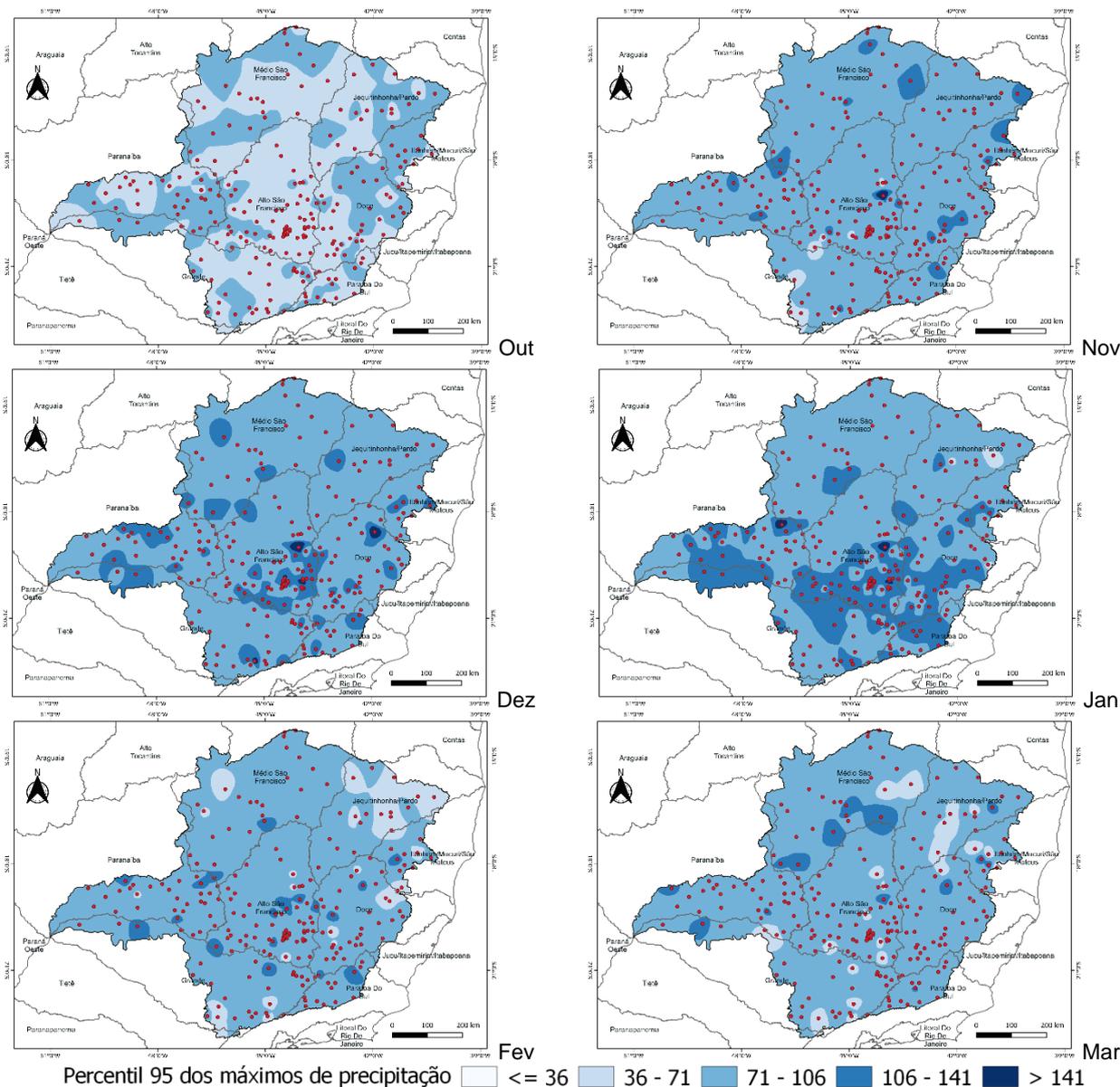
a março. No entanto, as intensidades dos eventos praticamente duplicam, por exemplo: em postos onde os P95 mostram chuvas em torno de 43 mm em janeiro passam a apresentar 85mm diários no P99, o mesmo ocorre no mês de março que no P95 mostra 35mm e no P99 superam os 65mm. Isso ocorre para todos os meses, com exceção dos meses de junho e julho, onde a amplitude pluviométrica reduz drasticamente, ficando em torno de 10 mm de diferença entre os percentis 95 e 99.

Os eventos de precipitação no percentil 99 dos valores máximos são mais raros e significativamente mais intensos do que os do percentil 95. Essa diferença é crucial para a compreensão e gestão dos riscos associados a eventos climáticos extremos no Brasil (Andrade; Lima, 2013; Costa *et al.*, 2015; Germano *et al.*, 2016)

Os mapas das Figuras 11 e 12 mostram a distribuição espacial dos percentis 95 e 99 respectivamente, calculados utilizando a técnica de BM para cada uma do mês ao longo da série histórica dos P95 e P99, calculados utilizando apenas os valores máximos de precipitação indicando os valores abaixo dos quais 95% e 99% dos máximos se encontram.

Enquanto os percentis diários tendem a ser menores porque consideram toda a gama de valores diários de precipitação, incluindo muitos dias com precipitação baixa ou zero, os percentis dos máximos geralmente apresentam valores maiores, pois consideram apenas os dias com precipitação máxima, que são, por definição, valores mais altos.

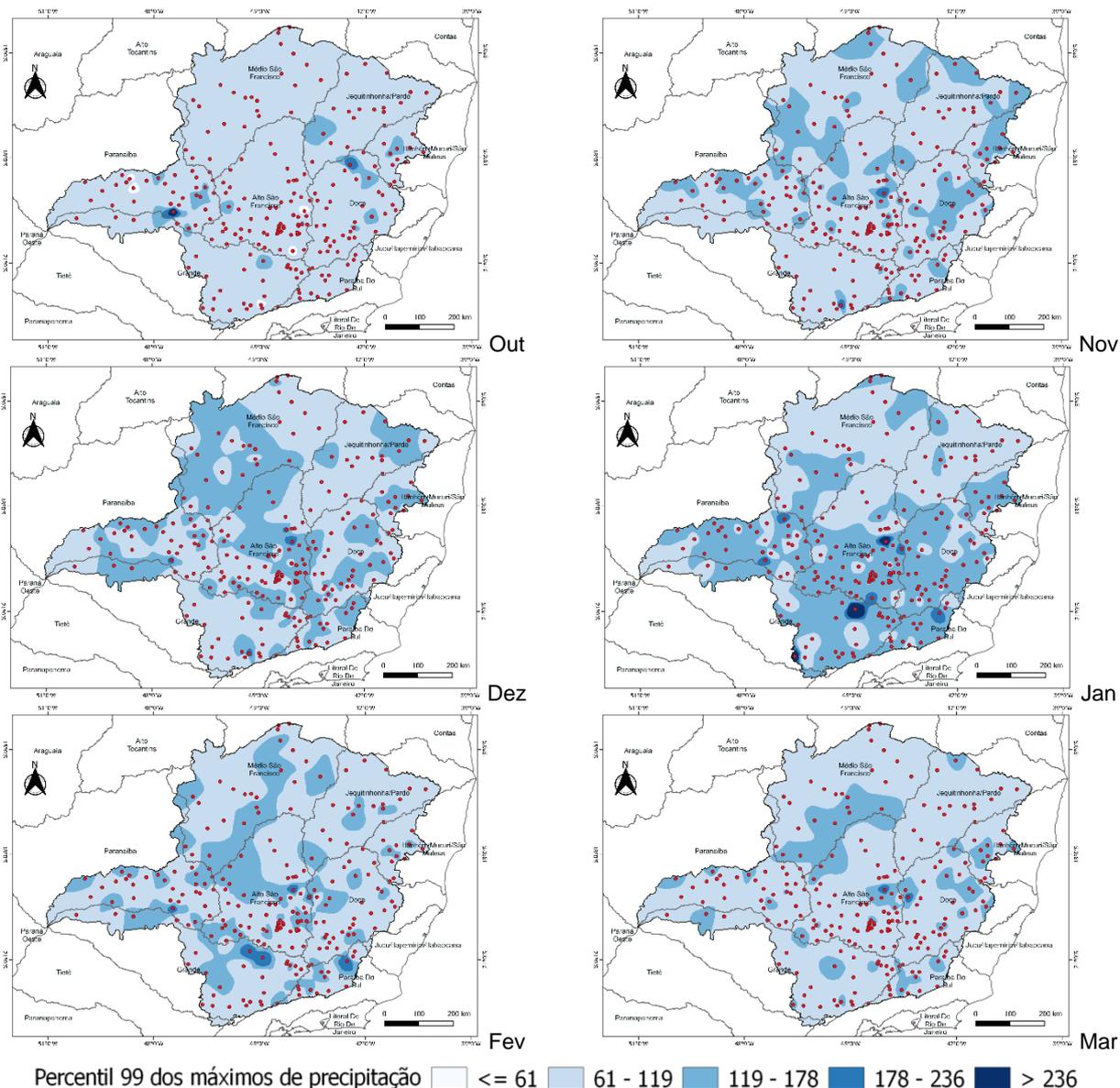
No P95 do bloco de máximos, Figura 11, os valores de precipitação variam de valores inferiores a 30 mm a maiores que 140mm. Tanto sazonalmente quanto espacialmente, os padrões se mantêm em relação aos percentis diários geral, porém para os meses mais chuvosos (outubro a março), o método de BM foi capaz de capturar eventos de magnitudes muito superiores aos mostrados anteriormente. Sendo possível identificar as áreas onde os máximos são consistentemente altos. No mês de janeiro por exemplo, a diferença entre a magnitude dos eventos extremos mais altos (partes em azul mais escuro nos mapas), identificados pelos dois métodos foi de mais de 100 mm para alguns postos. No mês de fevereiro essa amplitude diminui um pouco, mas se mantém considerável, entre 80 e 100 mm de diferença, assim como para março. Outubro mostra um comportamento espacial um pouco diferente entre os métodos, na análise dos P95 para os dados diários de forma geral, os eventos de maior magnitude ficam em torno dos 23 mm e se concentram na parte Sudoeste/Sul, Oeste, Zona da Mata, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e RMBH.



**Figura 11** – Mapas da distribuição espacial do P95 por BM para a precipitação diária em Minas Gerais para a série histórica de 1977 a 2021.

**Fonte:** Autores, 2024.

Já para os mapas com base no BM, os eventos de maior magnitude ficam em torno de 70, 80 e até 100 mm distribuídos por postos em todas as regiões do estado. Para o mês de novembro os valores variam de 40 e 50 mm mostrados no primeiro método a mais de 150 mm em alguns postos, o mesmo ocorre para o mês de dezembro com os valores extremos mostrados pelo segundo método, de BM, superando os 180mm.



**Figura 12** – Mapas da distribuição espacial do P99 por BM para a precipitação diária em Minas Gerais para a série histórica de 1977 a 2021.

**Fonte:** Autores, 2024.

Analisando o P99 para o mapa gerado com base no BM, Figura 12, é possível confirmar a consistência da magnitude dos extremos de alguns postos em relação ao método anterior. Os postos pluviométricos que no método convencional, mostraram valores extremos altos no P99 para os meses de janeiro, fevereiro e março, agora são destacados, mostrando quais deles de fato tiveram eventos extremos de grande potencial destrutivo, a diferença entre os valores obtidos nos dois métodos em janeiro por exemplo, superam os 200mm. Os meses de outubro, novembro e dezembro mostram grandes diferenças entre os valores de P99 identificados pelos dois métodos, em alguns postos a diferença ultrapassa os 150m.

#### 4. CONCLUSÕES

Os percentis calculados a partir dos dados diários utilizando o método dos percentis convencional, oferece uma visão abrangente da distribuição diária da precipitação, enquanto os percentis calculados a partir método de BM mensais e anuais destacam a intensidade dos eventos extremos de precipitação. Ambos são úteis, mas em contextos diferentes, dependendo da natureza da análise e do tipo de planejamento necessário.

Em relação à variação temporal, os percentis diários fornecem uma visão detalhada sobre como a precipitação diária varia ao longo do tempo. Eles permitem identificar padrões sazonais, tendências de longo prazo e mudanças climáticas, observando como a distribuição dos valores de precipitação está mudando ao longo dos meses e anos. Por incluírem todos os dados diários, podem ajudar a identificar a frequência de eventos de precipitação intensa que ocorrem em qualquer dia, mês ou ano.

Por outro lado, os percentis dos BM destacam as mudanças nos eventos de precipitação mais intensos ao longo do tempo. Estes percentis são indicativos de como os eventos extremos de precipitação variam ao longo dos anos e são úteis para análises de tendências dos eventos extremos, podendo mostrar se há um aumento na intensidade ou na frequência dos eventos de precipitação máxima.

A análise espacial dos percentis dos dados diários permitiu identificar regiões que frequentemente experimentam precipitação intensa. Isso revelou padrões espaciais de precipitação extrema, identificando áreas que podem estar mais vulneráveis a enchentes e outros problemas relacionados a eventos extremos. A comparação entre diferentes regiões do estado mostraram variações na intensidade da precipitação diária.

Os percentis dos máximos mostraram quais regiões experimentam os eventos extremos de precipitação de grandes magnitudes, confirmando os 'pontos quentes' para ocorrências de eventos potencialmente destrutivos de forma mais consistente. Isso é crucial para o planejamento de infraestrutura, como sistemas de drenagem e barragens, em áreas mais propensas a esses tipos de eventos. Identificar áreas onde os máximos são consistentemente altos pode ajudar na priorização de recursos para mitigação de desastres e planejamento.

Considerando a amplitude e a sensibilidade de ambos os métodos, os percentis dos dados diários incluem uma ampla gama de valores de precipitação, refletindo a distribuição geral da precipitação. No entanto, podem não captar totalmente a frequência de eventos extremos, subestimando-os, pois, a inclusão de dias com pouca ou nenhuma precipitação dilui a percepção dos eventos extremos. Já os percentis dos máximos focam

exclusivamente nos valores máximos de precipitação, permitindo uma melhor identificação de anos com precipitação extremamente alta, eliminando os 'ruídos' dos dias sem chuva. Como consideram apenas os máximos mensais ou anuais, são mais sensíveis a eventos de precipitação extrema, resultando em uma identificação mais clara e frequente desses eventos.

Em relação a identificação dos anos extremamente chuvosos, os percentis dos dados diários não destacaram todos os anos com eventos extremos, especialmente porque esses eventos são raros em relação à totalidade dos dados diários. Por outro lado, os percentis dos BM melhoraram a detecção de anos com eventos extremos, mostrando todos os anos que apresentaram chuvas muito acima da média, pois qualquer ocorrência de precipitação máxima é imediatamente refletida nos cálculos dos percentis.

Como recomendações futuras, com base nos resultados obtidos e nas metodologias aplicadas neste estudo, várias direções podem ser sugeridas para aprofundar a análise dos extremos de precipitação em Minas Gerais. Recomenda-se a aplicação do teste de Mann-Kendall para avaliar tendências, a utilização da Distribuição Generalizada de Valores Extremos (DGVE) e a aplicação de Cadeias de Markov para modelar a dependência temporal dos eventos extremos. Implementar essas metodologias nas áreas mais vulneráveis ajudará a detectar tendências, modelar extremos e entender a dependência temporal dos eventos, fornecendo uma base sólida para a gestão de recursos hídricos e planejamento urbano resiliente.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Magda Luzimar de. Climatologia Da Estação Chuvosa De Minas Gerais: De Nimer (1977) À Zona De Convergência Do Atlântico Sul. **Geonomos**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 17–22, 1998.

ABREU, Marcel Carvalho *et al.* Daily Rainfall Disaggregation to Estimate the Intensity-Duration-Frequency Relationship in Minas Gerais State, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [s. l.], v. 65, 2022.

AMORIM, Ana Cleide Bezerra *et al.* Extreme rainfall events on the coastland of Paraná state (Paranaguá bay). **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 563–575, 2020.

ANDRADE, Matheus de Mendança; LIMA, Kellen Carla. Revista Brasileira de Geografia Física Projeção Climática da Frequência de Eventos de Precipitação Intensa no Nordeste do Brasil: resultados preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física v.6, n.**, [s. l.], v. 5, p. 1158–1173, 2013. Disponível em: <http://www.ufpe.br/rbgfe>.

AVILA-DIAZ, Alvaro *et al.* Climatological aspects and changes in temperature and precipitation extremes in viçosa-Minas Gerais. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s. l.], v. 92, n. 2, p. 1–19, 2020.

BARBOSA, Eduardo B M; ROSA, Reinaldo. Caracterização por ondeletas de processos físicos não-lineares na micro-bacia amazônica. [s. l.], n. January, 2004.

BRASILIENSE, Camila Silva *et al.* Synoptic analysis of an intense rainfall event in Paraíba do Sul river basin in southeast Brazil. **Meteorological Applications**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 66–77, 2018.

CALVIN, Katherine *et al.* IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. **ipcc**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 35–115, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.

CAMPOS, Bruno de *et al.* Extreme rainfall weather events in the Southern Minas Gerais State, Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 9, n. 7, 2016.

CAMPOS, Bruno; CARVALHO, Vanessa S. B.; REBOITA, Michele S. Sistema numérico-operacional de previsão de tempo para a região Sul de Minas Gerais: comparação com dados observados. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 09 n04, n. 1984–2295, p. 9, 2016. Disponível em: [http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS - RJ/RBG/RBG 1995 v57\\_n1.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS - RJ/RBG/RBG 1995 v57_n1.pdf).

CAMUFFO, Dario *et al.* Three centuries of daily precipitation in Padua, Italy, 1713–2018: history, relocations, gaps, homogeneity and raw data. **Climatic Change**, [s. l.], v. 162, n. 2, p. 923–942, 2020.

CARVALHO, Leila M.V.; JONES, Charles; LIEBMANN, Brant. Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, [s. l.], v. 15, n. 17, p. 2377–2394, 2002.

CERESSETTI, D. *et al.* Evaluation of classical spatial-analysis schemes of extreme rainfall. **Natural Hazards and Earth System Science**, [s. l.], v. 12, n. 11, p. 3229–3240, 2012.

COSTA, Micejane da Silva *et al.* Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 8, n. 5, p. 1321–1334, 2015. Disponível em: [www.ufpe.br/rbgfe](http://www.ufpe.br/rbgfe).

COSTA, LUIS RICARDO FERNANDES DA. Considerations About the Geomorphological Macrounities of the State of Minas Gerais – Brazil/Considerações Sobre As Macrounidades Geomorfológicas Do Estado De Minas Gerais – Brasil. **William Morris Davis – Revista de Geomorfologia**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 11–18, 2021.

DA SILVA, Rodrigo Cesar; MARENGO, José Antônio; RUV LEMES, Murilo. Analysis of extreme rainfall and landslides in the metropolitan region of the Paraíba do Sul River Valley and North Coast of São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, [s. l.], v. 155, n. 5, p. 3927–3949, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04857-2>.

DALAGNOL, Ricardo *et al.* Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: Can we blame climate change?. **Climate Resilience and Sustainability**, [s. l.], v. 1, n. 1, 2022.

DONAT, Markus G. *et al.* More extreme precipitation in the world's dry and wet regions. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 6, n. 5, p. 508–513, 2016.

DRUMOND, Anita *et al.* Dry and wet climate periods over eastern south america: Identification and characterization through the spei index. **Atmosphere**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 1–15, 2021.

FONSECA DE ALBUQUERQUE CAVALCANTI, Iracema *et al.* **Tempo e Clima no Brasil**. [S. l.: s.

n.], 2016.

GERMANO, Alaerte da Silva *et al.* Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis que provocaram precipitação s extremas nas cidades de Recife Maceió no período de 2011 a 2015.

**Biblioteca.Ibge.Gov.Br**, [s. l.], v. 09, n 07, n. 1984–2295, p. 2377–2389, 2016. Disponível em: [http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS - RJ/RBG/RBG 1995 v57\\_n1.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS - RJ/RBG/RBG 1995 v57_n1.pdf).

GRIMM, Alice M.; TEDESCHI, Renata G. ENSO and extreme rainfall events in South America. **Journal of Climate**, [s. l.], v. 22, n. 7, p. 1589–1609, 2009.

GUEDES, Gilvan *et al.* Profiling sociodemographic attributes and extreme precipitation events as mediators of climate-induced disasters in municipalities in the state of Minas Gerais, Brazil. **Frontiers in Human Dynamics**, [s. l.], v. 5, 2023.

HARVEY, David. O espaço como palavra-chave. **Revista Em Pauta**, [s. l.], v. 13, n. 35, p. 126–152, 2015.

HOSSEINZADEHTALAEI, Parisa; TABARI, Hossein; WILLEMS, Patrick. Climate change impact on short-duration extreme precipitation and intensity–duration–frequency curves over Europe. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 590, 2020.

IGAM. **Instituto Mineiro de Gestão das Águas - Igam**. [S. l.], 2024.

IPCC. **IPCC Sixth Assessment Report - Synthesis Report**. [S. l.: s. n.], 2022.

KHARIN, V. V. *et al.* Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. **Climatic Change**, [s. l.], v. 119, n. 2, p. 345–357, 2013.

LIMA, Sofia Siqueira; ARMOND, Núbia Beray. Chuvas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro: caracterização, eventos extremos e tendências. **Sociedade & Natureza**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 1–19, 2022.

LIU, Han *et al.* A Markov chain-based bias correction method for simulating the temporal sequence of daily precipitation. **Atmosphere**, [s. l.], v. 11, n. 1, 2020.

MARENGO, Jose A. *et al.* Heavy rainfall associated with floods in southeastern Brazil in November–December 2021. **Natural Hazards**, [s. l.], v. 116, n. 3, p. 3617–3644, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05827-z>.

MARENGO, Jose A *et al.* Heavy rains and hydrogeological disasters on February. [s. l.], n. 0123456789, 2024.

MARENGO, José Antônio *et al.* uture change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, [s. l.], v. 2029, n. March 2008, p. 2011–2029, 2009.

NASCIMENTO, Nilo *et al.* Literature Review:Using Green and Blue Infrastructure for Urban Flood Mitigation:Report Subtitle: Simulating Scenarios for Climate Change, GBI Technologies, and LandPolicyReport A. [s. l.], n. August, 2023.

NATIVIDADE, Ulisses Antônio *et al.* Tendência dos Índices de Extremos Climáticos Observados e Projetados no Estado de Minas Gerais Trend of Observed and Projected Extreme Climate Indices in Minas Gerais State. **Cadernos**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 600–614, 2016.

NETO, João Lima Sant’Anna. Por uma Geografia do Clima - Antecedentes históricos, paradigmas

contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. **Terra Livre**, [s. l.], v. 17, n. 2º semestre, p. 49–62, 2001. Disponível em: [http://www.agb.org.br/files/TL\\_N17.pdf](http://www.agb.org.br/files/TL_N17.pdf).

NÉTO, Nilson Coutinho Gomes; SANTOS, Eliane Barbosa. Análise Espaço-Temporal dos Eventos de Precipitação Intensa no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], v. 37, n. 1, p. 89–97, 2022.

NOBRE, Paulo; SHUKLA, J. Variations of Sea Surface Temperature, Wind Stress and Rainfall over the Tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, [s. l.], 1996.

OLIVEIRA, P T.; SANTOS E SILVA, C M.; LIMA, K C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in subregions of Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, [s. l.], v. 130, n. 1–2, p. 77–90, 2017.

PAPALEXIOU, S M.; KOUTSOYIANNIS, D.; MAKROPOULOS, C. How extreme is extreme? An assessment of daily rainfall distribution tails. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 851–862, 2013.

PEREZ, Letícia Palazzi *et al.* Climate change and disasters: Analysis of the Brazilian regional inequality. **Sustentabilidade em Debate**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 260–277, 2020.

REBOITA, Michelle Simões *et al.* Caracterização Atmosférica Quando Da Ocorrência De Eventos Extremos De Chuva Na Região Sul De Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 21, n. 2012, p. 20–37, 2017.

REIS, André Luiz dos *et al.* Climatologia e eventos extremos de precipitação no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 07, n. 1, n. ISSN 0034, p. 82, 2018. Disponível em: [http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS - RJ/RBG/RBG\\_1995\\_v57\\_n1.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS - RJ/RBG/RBG_1995_v57_n1.pdf).

REIS, Guilherme Barbosa *et al.* Influence of anthropogenic effects and climate variability on streamflow in a Brazilian tropical watershed. **Theoretical and Applied Climatology**, [s. l.], 2024.

RIBEIRO NETO, Alfredo *et al.* Hydrological Processes and Climate Change in Hydrographic Regions of Brazil. **Journal of Water Resource and Protection**, [s. l.], v. 08, n. 12, p. 1103–1127, 2016.

ROPELEWSKI, C. F.; HAILPERT, M. S. Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño/Southern Oscillation. [s. l.], v. 115, n. 8, p. 1606–1626, 1987.

S. SILVA, Viviane B.; KOUSKY, Vernon F. **The South American Monsoon System: Climatology and Variability**. [S. l.: s. n.], 2012.

SARAILIDIS, Giorgos; TSIΟΥGKOS, Sotirios. Rainfall frequency analysis using block maxima and peaks over threshold approaches. **EasyChair Preprints**, [s. l.], 2018.

SAREWITZ, Daniel; PIELKE, Roger. Extreme events: A research and policy framework for disasters in context. **International Geology Review**, [s. l.], v. 43, n. 5, p. 406–418, 2001. SEDEC. **S2ID**. [S. l.], 2024.

SILVA DIAS, Maria A.F. *et al.* Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. **Climatic Change**, [s. l.], v. 116, n. 3–4, p. 705–722, 2013.

SILVA, P N; ESCOBAR, G C J; REBOITA, M S. **Revista Brasileira de Geografia Física v. [S. l.: s. n.]**, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>.

SONDERMANN, Marcely *et al.* Climate change projections and impacts on the eucalyptus plantation around the Doce River basin, in Minas Gerais, Brazil. **Climate Services**, [s. l.], v. 28, 2022.

SUN, Qiaohong *et al.* A global, continental, and regional analysis of changes in extreme precipitation. **Journal of Climate**, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 243–258, 2021.

TEIXEIRA, Mateus da Silva; SATYAMURTY, Prakki. Trends in the frequency of intense precipitation events in southern and southeastern Brazil during 1960-2004. **Journal of Climate**, [s. l.], v. 24, n. 7, p. 1913–1921, 2011.

TRENBERTH, Kevin E. Understanding climate change through Earth's energy flows. **Journal of the Royal Society of New Zealand**, [s. l.], v. 50, n. 2, p. 331–347, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03036758.2020.1741404>.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA; NATURAIS, Centro Universitário De Estudos E Pesquisas Sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012** Atlas. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/atlas/>.

VAN DE VYVER, H. On the estimation of continuous 24-h precipitation maxima. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, [s. l.], v. 29, n. 3, p. 653–663, 2015.

VANDESKOG, Silius M. *et al.* Modelling Sub-daily Precipitation Extremes with the Blended Generalised Extreme Value Distribution. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 598–621, 2022.

VIOLA, M. R., DE MELLO, C. R., CHOU, S. C., YANAGI, S. N. M., & GOMES, J. L. Assessing climate change impacts on Upper Grande River Basin hydrology, Southeast Brazil. **International Journal of Climatology**, [s. l.], v. 35, p. 1378–1391, 2015.

WASKO, Conrad; NATHAN, Rory. Influence of changes in rainfall and soil moisture on trends in flooding. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 575, n. November 2018, p. 432–441, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.054>.

WHO. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. [s. l.], p. 1–187, 2003.

WMO. **State of the Global Climate 2023**. [S. l.: s. n.], 2024.

ZAKARIA, Roslinazairimah; AHMAD RADI, Noor Fadhilah; SATARI, Siti Zanariah. Extraction method of extreme rainfall data. *In:* , 2017. **Journal of Physics: Conference Series**. [S. l.]: Institute of Physics Publishing, 2017.

ZHANG, Wei *et al.* Urbanization exacerbated the rainfall and flooding caused by hurricane Harvey in Houston. **Nature**, [s. l.], v. 563, n. 7731, p. 384–388, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41586-018-0676-z>.

ZILLI, Marcia *et al.* The impact of climate change on Brazil's agriculture. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 740, p. 139384, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139384>.

Recebido: 10/06/2024

Aceito: 10/07/2024