Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS E ALTERAÇÕES DO REGIME PLUVIOMÉTRICO NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL: UMA ABORDAGEM BASEADA EM DADOS DE MONITORAMENTO

Analysis of occurrence of extreme events and precipitation regime changes in the state of Rio Grande do Sul: an approach based on monitoring data

Análisis de la ocurrencia de eventos extremos y de los cambios en el régimen de precipitaciones en el estado de Rio Grande do Sul: un enfoque basado en datos de monitoreo

Robson Gualberto de Carvalho Júnior
Graduado em Engenharia Ambiental
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
robson.gualberto15@gmail.com

Douglas Júnio Alcântara
Mestrando SMARH
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
djapena@gmail.com

Arícia Jaiane Carvalho Dantas
Mestranda SMARH
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
dantasaricia@gmail.com

Lucas Marx Teixeira de Freitas
Mestrando SMARH
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil
lmxbox13@gmail.com

Resumo: A influência de eventos extremos em aspectos sociais, ambientais e econômicos é inerente à discussão desse tema, comum em áreas urbanas impactadas. Além disso, coloca-se as alterações dos regimes pluviométricos como desafios e incertezas na gestão dos recursos hídricos. Esse trabalho objetiva aplicar análises e testes estatísticos aos dados de precipitação da região mais afetada do Estado do Rio Grande do Sul durante os eventos extremos ocorridos em maio de 2024. Foi identificado aumento significativo da precipitação anual entre as normais climatológicas em cinco das dezessete estações analisadas, sendo que todas apresentaram aumento da média da precipitação anual, significativo ou não. A estação 83967 (INMET), localizada em Porto Alegre (RS), está entre os pontos de medição que demonstraram esse aumento significativo, em uma região densamente povoada. Em consonância, a maioria das mudanças significativas da precipitação mensal nas sub-bacias ocorreram em configuração de aumento entre as normais climatológicas, revelando certa variabilidade do regime pluviométrico entre os períodos. Esses resultados possuem possível relação com a ocorrência de eventos climáticos extremos na região.
Palavras-chave: Precipitações extremas. Hidrologia. Recursos hídricos.

Abstract: The influence of extreme events on social, environmental, and economic aspects is inherent to the discussion of this topic, which is common in impacted urban areas. Furthermore, changes in rainfall patterns are considered challenges and uncertainties in water resources management. This study aims to apply statistical analyses and tests to precipitation data from the most affected region of the state of Rio Grande do Sul during the extreme events that occurred in May 2024. A significant increase in annual precipitation compared between climatological normals was identified in five of the seventeen analyzed stations, all of which showed an increase in mean annual precipitation, whether significant or not. Station 83967 (INMET), located in Porto Alegre (RS), is among the measurement points that exhibited this significant increase, in a densely populated area. In line with this, most of the significant changes in monthly precipitation across the sub-basins occurred as increases between the climatological normals, revealing a certain variability in the rainfall regime between the periods. These results may be related to the occurrence of extreme climatic events in the region.
Keywords: Extreme precipitation. Hydrology. Water resources.

Resumen: La influencia de los eventos extremos en aspectos sociales, ambientales y económicos es inherente a la discusión de este tema, común en áreas urbanas afectadas. Además, se consideran los cambios en los regímenes pluviométricos como desafíos e incertidumbres en la gestión de los recursos hídricos. Este trabajo tiene como objetivo aplicar análisis y pruebas estadísticas a los datos de precipitación de la región más afectada del estado de Rio Grande do Sul durante los eventos extremos ocurridos en mayo de 2024. Se identificó un aumento significativo de la precipitación anual en comparación entre los dos períodos normales climatológicos en cinco de las diecisiete estaciones analizadas, siendo que todas presentaron un aumento de la media de la precipitación anual, significativo o no. La estación 83967 (INMET), ubicada en Porto Alegre (RS), se encuentra entre los puntos de medición que mostraron este aumento significativo, en una zona densamente poblada. En consonancia, la mayoría de los cambios significativos de la precipitación mensual en las subcuencas se

produjeron en configuración de aumento entre las normales climatológicas, lo que revela cierta variabilidad del régimen pluviométrico entre los períodos. Estos resultados podrían estar relacionados con la ocurrencia de eventos climáticos extremos en la región.
Palabras clave: Precipitaciones extremas. Hidrología. Recursos hídricos.

Submetido em: 20/09/2025
Aceito para publicação em: 05/09/2026
Publicado em: 10/11/2026

1.INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm como consequência a alteração do regime das chuvas e a intensificação dos eventos extremos (Back *et al.*, 2024). Nos últimos anos tem ocorrido diversos eventos extremos no mundo, um dos principais fatores são as alterações no clima. De acordo o Painel Intergovernamental Sobre Mudança do Clima (IPCC, 2023), essas alterações na dinâmica climática têm causado impactos adversos e aumentado a vulnerabilidade de muitas populações. Tais alterações acarretam eventos de secas prolongadas e eventos de elevado volume de precipitação, os quais têm um caráter desestabilizador na sociedade. Com a alteração da frequência e intensidade dos eventos chuvosos, podem ser agravados os processos de inundação, enchentes, alagamentos, deslizamentos de encostas, além da sobrecarga de sistemas de drenagem existentes (Oliveira *et al.*, 2023).

No Brasil, as mudanças provocadas pelas alterações climáticas são particularmente relevantes, principalmente em estados como o Rio Grande do Sul, onde a variabilidade climática e os extremos pluviométricos têm sido amplamente documentados (Azevedo e Petrucci, 2023; Marengo *et al.*, 2020). Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o estado do Rio Grande do Sul está entre os mais populosos do país (10.882.965 habitantes), possui clima do tipo subtropical com verões quentes e invernos bastante rigorosos. Um desses invernos causou no ano de 2024 um evento extraordinário de chuvas e enchentes entre o final do mês de abril e início do mês de maio. Este episódio foi ocasionado por um sistema de baixa pressão que trouxe chuvas intensas e persistentes (CEPAL, 2024). Foram impactados 478 municípios dos 497 que integram o estado, tendo sido declarado estado de calamidade em 95 municípios e estado de emergência em outros 323 municípios (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2024). Clarke *et al.* (2024) destacam que as oscilações do *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS) explicam os eventos extremos, particularmente a maioria das chuvas extremas ocorreram durante a influência de fases *El Niño*, inclusive o evento de abril e maio de 2024.

As precipitações no evento chuvoso registrado entre os meses de abril e maio de 2024 no estado do Rio Grande do Sul excederam significativamente as médias históricas, com algumas áreas registrando até 300 mm de chuva em um único dia (INMET, 2024). Em muitos locais, neste curto intervalo de tempo choveu cerca de 40% do volume médio anual. Estas

precipitações elevadas causaram cheias intensas com grande elevação de níveis nos rios e lagos da região, o que ocasionou enchentes, inundações e alagamentos com grandes extensões espaciais e elevada duração (CEPAL, 2024; Paiva, 2024). Além disso, estes eventos causaram diversos impactos sociais, econômicos e ambientais. O relatório da Comissão Econômica para a América Latina (CEPAL, 2024) apresenta que dentre os impactos houve a perda de moradias para milhares de pessoas, interrupção de serviços essenciais como abastecimento de água, esgotamento sanitário, fornecimento de energia elétrica, telefonia e transporte público, além do isolamento de cidades devido à destruição de vias e pontes. A saúde pública foi gravemente afetada com contaminação da água, surtos de doenças e sobrecarga nos serviços de saúde. Os danos econômicos e sociais foram significativos, atingindo duramente a agricultura, o comércio e, de forma mais intensa, as populações já em situação de vulnerabilidade (CEPAL, 2024). Clarke *et al.* (2024) reportaram que as chuvas de abril a maio de 2024 registraram 169 mortes, sendo que moradias informais, vilas indígenas e comunidades quilombolas foram as mais impactadas.

Diante deste contexto, avaliar os padrões de precipitação no Rio Grande do Sul, bem como a magnitude do evento de 2024 e possíveis alterações do regime pluviométrico da região, pode subsidiar políticas públicas que visem minimizar danos futuros e garantir a segurança da população local. A ocorrência desses extremos exige estratégias de gestão de riscos mais eficientes e eficazes, incluindo sistemas de alerta precoce, planejamento urbano resiliente e práticas adaptativas. Apesar dos avanços na literatura, ainda há carência de análises que integrem dados históricos de precipitação, eventos extremos e suas correlações com mudanças climáticas em escala regional.

Portanto, esta pesquisa se justifica pela sua contribuição ao entendimento climático regional, possibilitando a avaliação de variações nos padrões climatológicos na área de estudo, sua aplicação em estratégias de redução de riscos de desastres e seu potencial para orientar decisões políticas e econômicas no Rio Grande do Sul.

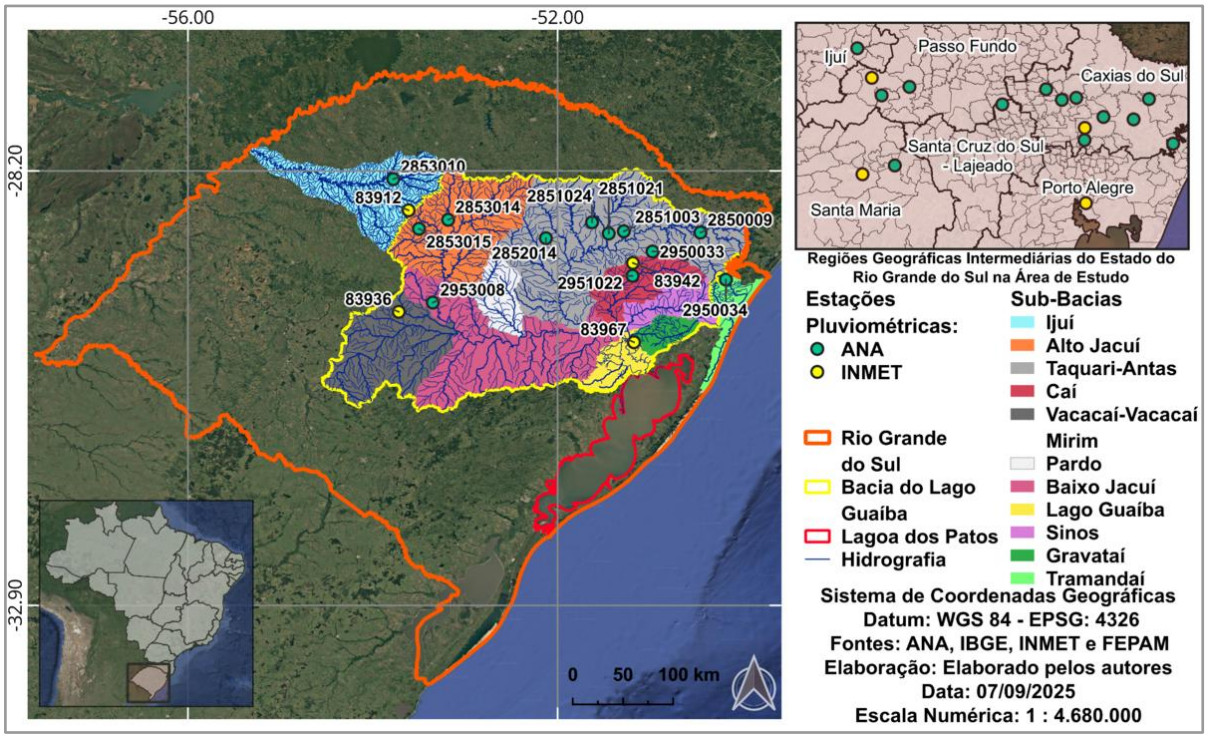
O objetivo geral é avaliar os padrões de precipitação e a ocorrência de eventos extremos de chuva no estado do Rio Grande do Sul por meio da análise estatística de dados pluviométricos. De maneira específica, objetiva-se: 1) Analisar os padrões de precipitação (variabilidade temporal e espacial) identificando o comportamento climático na área de estudo; 2) Avaliar a ocorrência de eventos extremos de precipitação no período de dados

disponíveis; 3) Comparar o evento de 2024 com outras máximas históricas registradas no período analisado; 4) Identificar, por meio de ferramentas estatísticas, se houve variação da precipitação acumulada na área de estudo ao longo da série histórica.

2. METODOLOGIA

Esta pesquisa compreende a região mais afetada pelas anomalias pluviométricas de maio de 2024 ocorrida no estado do Rio Grande do Sul, calculadas pelo INMET. A área é composta pela bacia hidrográfica do rio Guaíba, contemplando adicionalmente a porção leste da sub-bacia do rio Ijuí, pertencente à bacia hidrográfica do rio Uruguai, além da bacia costeira do rio Tramandaí. Tal zona compreende as regiões geográficas intermediárias de Santa Maria, Ijuí, Passo Fundo, Santa Cruz do Lajeado, Porto Alegre e Caxias do Sul. Na Figura 1 é apresentada a área de estudo indicando a localização das estações pluviométricas adotadas na coleta de dados, sendo os critérios de seleção abordados abaixo. O estudo baseia-se em uma pesquisa quantitativa, aplicando-se abordagens estatísticas (estatística descritiva e testes estatísticos), de geoprocessamento (análises espaciais dos resultados) e conceitos das áreas de gestão de recursos hídricos e de eventos extremos.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo**.**



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

2.1. Procedimentos Metodológicos

A seleção das estações pluviométricas ocorreu através do critério da série temporal, coletando-se estações com maior série histórica, sendo o período mínimo de janeiro de 1961 a dezembro de 2024. Ao selecionar estações com longas séries históricas foi possível obter informações sobre eventos extremos passados, além de criar uma base de dados robusta estatisticamente. Os dados são provenientes de fontes secundárias, disponibilizados em caráter público pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Ao todo, foram obtidos os dados de 17 estações pluviométricas, todas inseridas dentro da zona de maiores anomalias de maio de 2024.

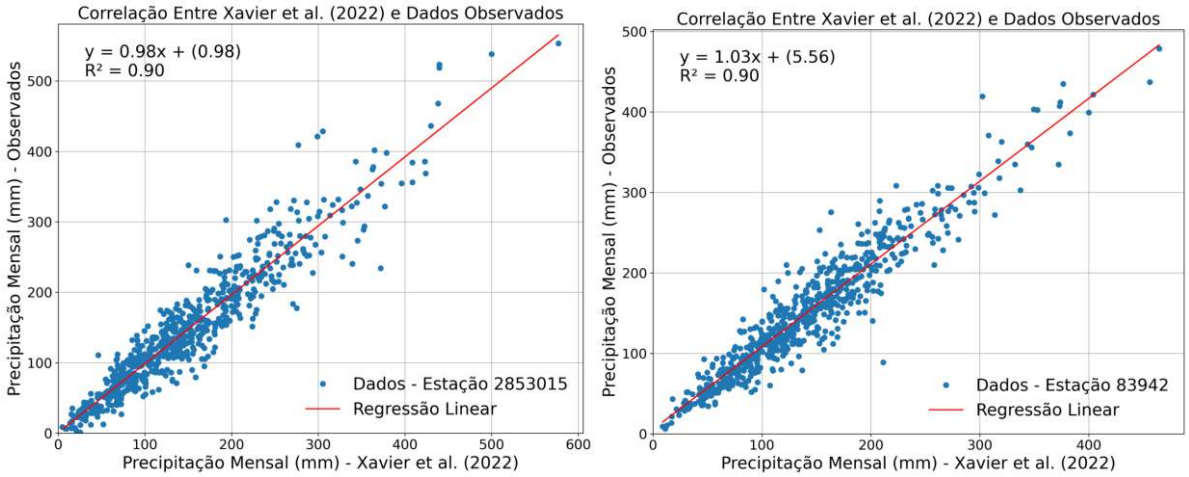
Ao todo foram tratados dois bancos de dados, sendo esses de precipitação mensal e anual. Os testes estatísticos consideraram os períodos para as normais climatológicas do INMET (1961–1990 e 1991–2020), adotadas como padrão nacional para análises de séries temporais. Ao adotar um período de referência no Brasil os resultados se tornam comparáveis com outras pesquisas, além deste período apresentar maior disponibilidade de dados nas bases consultadas. De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2017), normais climatológicas padrão são médias calculadas em períodos de no mínimo 30 anos, o que assegura a confiabilidade dos estudos e resultados. Os testes foram aplicados com a biblioteca *scipy.stats* do Python (Virtanen *et al*., 2020).

Sobre a consistência dos dados, foram excluídas medições inconsistentes que poderiam reduzir a confiabilidade das análises estatísticas. A exclusão ocorreu com base na identificação de valores mensais de precipitação iguais a 0 mm em longos períodos consecutivos, indicando possíveis falhas de registros das estações. Nesse critério, os dados da estação 2950019 entre 01/01/1961 e 31/10/1962 foram removidos, por apresentarem valor de precipitação nulo durante todo o período. Essa etapa foi fundamental para evitar vieses e garantir a confiabilidade dos resultados.

Quanto aos dados faltantes, para cada estação foi selecionada a coordenada mais próxima na grade de precipitação de Xavier *et al.* (2022). Essa grade refere-se aos dados diários consistidos de precipitação do Brasil de janeiro de 1961 a março de 2024 em resolução de 0,1°. A correlação linear foi realizada através das precipitações mensais entre os dados da base de Xavier *et al.* (2022) e a estação com dados observados (ANA ou INMET). Os dados faltantes foram substituídos através de cálculos pela equação da reta de correlação. Na Figura

2 encontram-se exemplos da correlação para as estações 2853015 e 83942, que apresentaram os melhores resultados de R^2, iguais a 0,90. Todas as correlações resultaram em coeficiente de determinação (R^2) igual ou maior a 0,80, sendo o mínimo de 0,80 registrado na estação 2950034.

Figura 2 - Correlação linear para as estações 2853015 (esquerda) e 83942 (direita)**.**



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A limitação desse método de substituição encontra-se em relação à série temporal (janeiro/1961 até março/2024) da base de dados de Xavier *et al.* (2022). Uma vez que as estações 2853015, 2950019, 2950033, 83912 e 83967 apresentaram dados mensais faltantes a partir de abril de 2024 que não foram passíveis de substituição. Porém, quando o ano de 2024 foi incluído nas análises anuais, o mesmo foi excluído nessas estações a fim de não subestimar as avaliações. Ainda destaca-se que essa é uma base de dados continuamente atualizada pelos autores, obtendo-se avanços na série temporal.

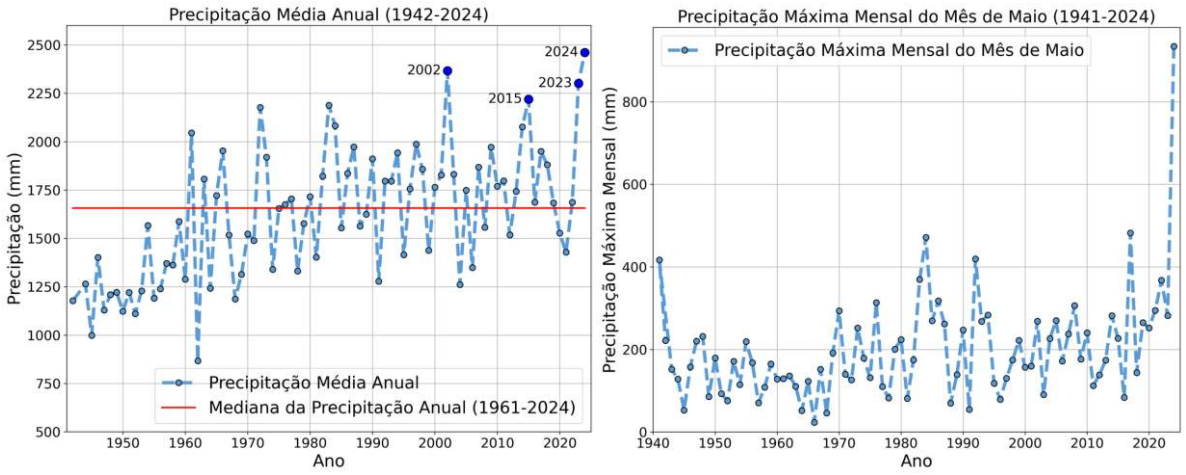
3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Séries históricas e padrões de precipitação na área de estudo

As séries históricas permitem observar tendências e padrões, sendo que os valores máximos indicam a ocorrência de extremos de chuva na região. A Figura 3 apresenta as séries históricas de precipitação observadas nos dados coletados na área de estudo para o período entre os anos de 1941 e 2024. Observa-se que os anos 2002, 2015, 2023 e 2024 superaram limiares pluviométricos não atingidos no período anterior, apresentando precipitação média anual acima de 2.300 mm. Em relação aos máximos pluviométricos do mês de maio o valor

mais crítico observado foi de 934,5 mm em 2024, na estação 2851021 (município de Vila Flores - RS, sub-bacia do rio Taquari-Antas).

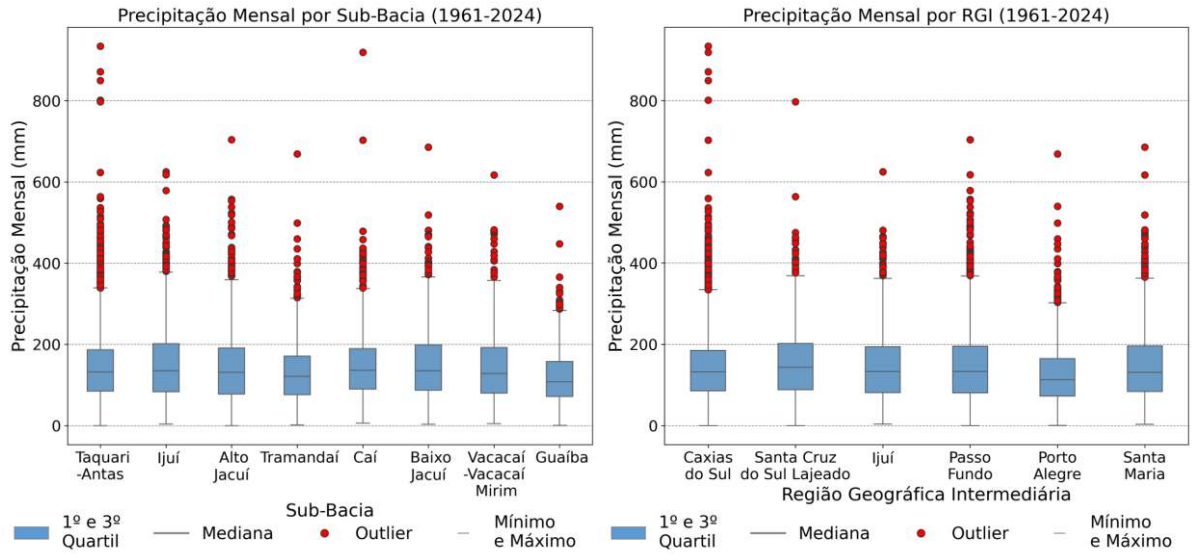
Figura 3 - Série temporal pluviométrica na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A Figura 4 apresenta a distribuição dos dados mensais e demonstra que os outliers mais significativos encontram-se na sub-bacia do rio Taquari-Antas, compreendida em parte pela região geográfica intermediária de Caxias do Sul. As sub-bacias do Lago Guaíba e rio Tramandaí, localizadas na região de Porto Alegre, apresentaram os menores índices pluviométricos, evidenciados pelos menores quartis 25%, 50% e 75% da precipitação mensal.

Figura 4 - Distribuição da precipitação mensal por sub-bacias (esquerda) e regiões geográficas intermediárias (direita).



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

3.2. Estatística descritiva

A estatística descritiva compõe uma análise preliminar dos dados, a fim de indicar padrões espaciais e temporais e especificidades dos dados que estão sendo trabalhados. Salienta-se que nessa análise foram seletados os dados de janeiro/1961 até dezembro/2024, compreendendo as duas normais climatológicas (1961-2020) e períodos recentes de anomalias significativas, como o ano de 2024. O teste de Shapiro-Wilk para indicar a distribuição normal dos dados foi aplicado para cada estação e por mês, demonstrando que apenas 47 das 204 combinações entre estações e meses seguiram a essa distribuição (p-valor > 0,05). O mês de maio apresentou os p-valores mais baixos para o teste de Shapiro-Wilk associados a elevados coeficientes de variação e coeficientes de assimetria (respectivamente mínimos de 59,92% e 0,51 na estação 2950019 e máximos de 99,00% e 4,74 na estação 2851021), o que indica elevada presença de outliers positivos nesse mês. Essas estatísticas do mês de maio são altas em relação aos outros meses, o que denota que nesse mês a variabilidade das chuvas tem sido atípica ao longo da série histórica. O máximo valor de coeficiente de assimetria no qual os dados ainda seguiram à distribuição normal foi de 0,70 na estação 2951022, no mês de agosto (p-valor igual a 0,053). O mesmo teste aplicado à precipitação anual resultou na convenção de que todas as estações seguem à distribuição normal para essa variável (p-valor > 0,05). Nos dados anuais a média aproxima-se sobremaneira à mediana em todas as estações, reforçando a normalidade dessas medições, em contraste com as estatísticas dos valores mensais que em geral são assimétricos à direita.

3.3. Testes estatísticos

A seguir são aplicados testes estatísticos com os objetivos de verificar o aumento das chuvas e mudança do regime pluviométrico na área de estudo comparando as duas normais climatológicas (1961-1990 e 1991-2020).

A possibilidade de aumento das chuvas anuais entre as normais climatológicas pode ser apontada pelo teste t de Student, quando as variâncias das amostras são iguais, e pelo teste de Welch, quando as variâncias são significativamente diferentes. O teste F unilateral à direita foi aplicado com o objetivo de verificação das diferenças significativas entre as variâncias. Apenas nas estações 83942 e 83967 as variâncias diferiram significativamente entre os períodos, logo nesses dois casos foi aplicado o teste de Welch. Ressalta-se que ambos

os testes pressupõem a distribuição normal das amostras a serem comparadas, condição confirmada pelo teste de Shapiro-Wilk. Os testes unilaterais configuraram-se com as seguintes hipóteses: H_0: $\bar{X}_1 \geq \bar{X}_2$ e Ha: $\bar{X}_1 < \bar{X}_2$, sendo $\bar{X}$ representado pela média da precipitação anual e os índices 1 e 2 relativos às normais climatológicas 1 (1961-1990) e 2 (1990-2020), respectivamente. As seguintes estações apresentaram p-valor menor ou igual a 0,05 (nível de significância de 5,00%), rejeitando-se a hipótese nula: 2953008 (Dona Francisca - RS), 83967 (Porto Alegre - RS), 2950033 (Caxias do Sul -RS), 2950034 (Itati - RS) e 2853010 (Ajuricaba - RS) (Tabela 1). Ou seja, nessas cinco estações o aumento entre os períodos não ocorreu por acaso considerando a variabilidade prevista e intrínseca aos dados, com nível de confiança de 95,00%. Todas as dezessete estações apresentaram aumentos da média anual, significativo ou não, demonstrados pelos p-valores abaixo de 0,50.

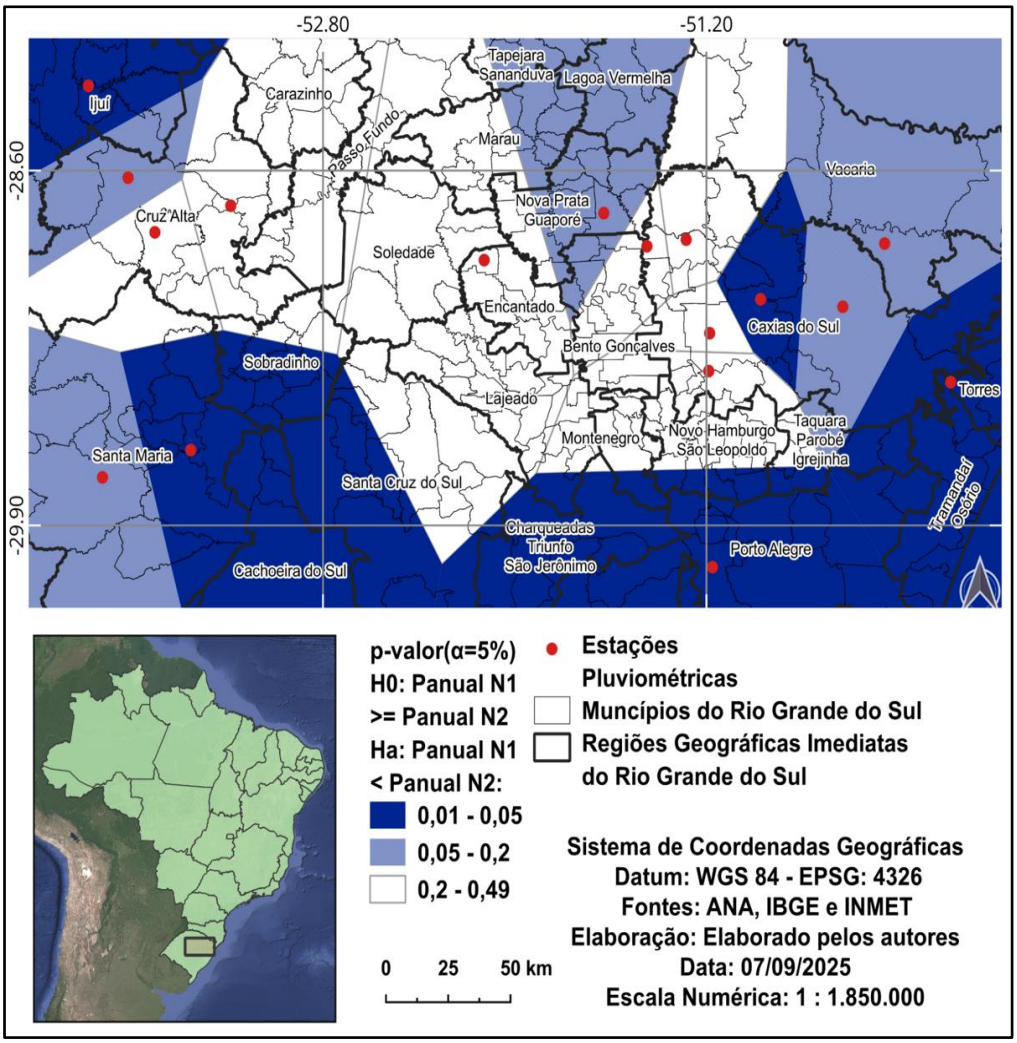
Tabela 1- Teste t de Student e teste de Welch aplicado às precipitações anuais entre as normais climatológicas (1961-1990 e 1991-2020) para cada estação.

Estação de monitoramento	Teste	Média anual (mm) (normal 1)	Média anual (mm) (normal 2)	Estatística do teste	p-valor do teste
2953008	Teste t de Student	1688,0	1915,4	-2,400	0,010
83967	Teste de Welch	1348,4	1494,0	-2,402	0,010
2950033	Teste t de Student	1636,4	1797,5	-2,063	0,022
2950034	Teste t de Student	1489,8	1626,8	-1,852	0,035
2853010	Teste t de Student	1686,7	1859,9	-1,795	0,039
83912	Teste t de Student	1763,9	1931,3	-1,461	0,075
2851024	Teste t de Student	1718,1	1825,7	-1,355	0,090
2950019	Teste t de Student	1545,3	1653,9	-1,352	0,091
83936	Teste t de Student	1660,1	1778,8	-1,276	0,104
2850009	Teste t de Student	1569,8	1654,8	-1,125	0,133
2851003	Teste t de Student	1757,2	1820,2	-0,747	0,229
2853015	Teste t de Student	1722,1	1787,0	-0,673	0,252
2951022	Teste t de Student	1660,2	1700,0	-0,510	0,306
83942	Teste de Welch	1799,6	1831,9	-0,417	0,339
2852014	Teste t de Student	1842,9	1868,1	-0,276	0,392
2853014	Teste t de Student	1690,5	1700,9	-0,107	0,458
2851021	Teste t de Student	1591,0	1593,0	-0,025	0,490

Os resultados da Tabela 1 foram espacializados através de polígonos de Thiessen com buffer de 10,00%, para o cálculo da área de influência das estações (Figura 4). Relata-se que as regiões intermediárias ao sul da área de estudo - Torres, Tramandaí Osório, Porto Alegre,

Charqueadas - Triunfo - São Jerônimo, entre outras - demonstraram aumentos significativos de precipitação anual entre as normais climatológicas (p-valor menor que 0,05). Além disso, adiciona-se a esse aumento as regiões intermediárias de Ijuí e parcialmente Caxias do Sul e Vacaria. Destaca-se que Porto Alegre é a região mais densamente povoada, abrangendo a capital do Estado e a região metropolitana.

Figura 4 - Resultados especializados do teste t de Student e teste de Welch aplicados às precipitações anuais entre as normais climatológicas (1961-1990 e 1991-2020) a cada estação.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A seguir é aplicado o teste U de Mann-Whitney bilateral com o objetivo de apontar a mudança do regime hidrológico nas sub-bacias onde estão alocadas as estações de monitoramento. As sub-bacias são unidades de planejamento e gestão dos recursos hídricos, e mudanças do ciclo hidrológico podem apresentar desafios e mudanças temporais no balanço hídrico. ANA (2016) define que a nível de bacias hidrográficas e usos da água, mudanças no

ciclo hidrológico apresentam desafios em relação ao planejamento e gestão dos recursos hídricos, em um cenário de possibilidade de incremento na demanda hídrica. As seguintes hipóteses foram levantadas no teste: H_0: $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$ e Ha: $\bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$. Os resultados das combinações de sub-bacias e meses onde a hipótese nula foi rejeitada encontram-se na Tabela 2. As sub-bacias do rio Vacacaí-Vacacaí Mirim e do rio Tramandaí foram as únicas a não apresentarem diferenças significativas entre as medianas de quaisquer meses, portanto não se encontram nesses resultados. A sub-bacia do rio Taquari-Antas apresentou o maior número de diferenças significativas entre as medianas. O mês de outubro demonstrou aumento significativo da precipitação em todas as sub-bacias dispostas na Tabela 2, excetuando-se a do rio Caí. Assim como a diminuição foi significativa no mês de agosto, excetuando-se as sub-bacias do lago Guaíba e do rio baixo Jacuí. Em geral, percebe-se que a maioria das diferenças significativas foram configuradas em aumento das alturas pluviométricas dos respectivos meses e sub-bacias, apontando diminuição em apenas quatro casos - sub-bacias do rio alto Jacuí, rio Caí, rio Ijuí e Taquari-antas, todos no mês de agosto.

Tabela 2- Teste U de Mann-Whitney aplicado às precipitações mensais para cada mês por sub-bacias (1961-1990 e 1991-2020).

Sub-bacia	Mês	Mediana mensal (mm) (normal 1)	Mediana mensal (mm) (normal 2)	Variação	Estatística do teste	p-valor do teste
Lago Guaíba	10	91,1	136,7	Aumento	305,5	0,0333
Lago Guaíba	7	103,6	169,6	Aumento	308,0	0,0364
Rio Alto Jacuí	10	134,9	196,2	Aumento	1153,5	$6,97x10^{-4}$
Rio Alto Jacuí	8	149,3	103,4	Diminuição	2364,0	$3,10x10^{-3}$
Rio Baixo Jacuí	10	153,2	190,2	Aumento	295,0	0,0224
Rio Caí	7	131,0	178,0	Aumento	1305,5	$9,52x10^{-3}$
Rio Caí	8	168,6	116,5	Diminuição	2239,0	0,0214
Rio Caí	5	85,0	122,7	Aumento	1415,0	0,0436
Rio Ijuí	10	138,6	214,8	Aumento	986,0	$1,96x10^{-5}$
Rio Ijuí	8	143,5	94,6	Diminuição	2281,0	0,0117
Rio Taquari-Antas	8	158,8	107,2	Diminuição	28259,5	$5,98x10^{-7}$
Rio Taquari-Antas	7	126,3	168,7	Aumento	16112,5	$1,81x10^{-6}$
Rio Taquari-Antas	10	141,6	172,0	Aumento	16700,5	$1,71x10^{-5}$
Rio Taquari-Antas	4	91,5	123,4	Aumento	16833,5	$2,75x10^{-5}$
Rio Taquari-Antas	5	84,8	114,1	Aumento	18675,0	$6,67x10^{-3}$
Rio Taquari-Antas	1	137,3	156,2	Aumento	19354,0	0,0302
Rio Taquari-Antas	6	106,6	137,1	Aumento	19447,0	0,0364

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse estudo foram aplicados testes estatísticos que apontaram diferenças significativas nas alturas pluviométricas anuais e mensais. Os resultados dos testes t de Student e teste de Welch apontaram aumento significativo da precipitação anual nas estações 2953008 (Dona Francisca - RS), 83967 (Porto Alegre - RS), 2950033 (Caxias do Sul -RS), 2950034 (Itati - RS) e 2853010 (Ajuricaba - RS).

Em consonância, a maioria dos resultados do teste U de Mann-Whitney que apontaram diferenças significativas da precipitação mensal revelaram aumento entre as normais climatológicas. Na avaliação mensal, apenas foi identificada diminuição significativa da precipitação no mês de agosto, nas sub-bacias alto Jacuí, rio Caí, rio Ijuí e rio Taquari-Antas. No mês de outubro, o aumento foi significativo em todas as sub-bacias, excetuando-se do rio Caí, Vacacaí-Vacacaí Mirim e Tramandaí. As mudanças significativas em outros meses foram mais pontuais, uma vez que não demonstraram certa homogeneidade regional dos resultados.

Essas evidências indicam que o regime pluviométrico, em termos anuais e mensais, apresentou mudanças significativas ao longo do tempo em parte dos pontos avaliados. Essa expressiva variabilidade pode estar relacionada à ocorrência de eventos extremos na área de estudo, impondo desafios à gestão dos recursos hídricos, assim como às ações estruturais e não-estruturais de mitigação de extremos climáticos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Mudanças climáticas e recursos hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação**. Brasília, DF: ANA, 2016. 93 p. ISBN 978-85-8210-033-2. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Busca/Download?codigoArquivo=123428.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID); COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE (CEPAL); GRUPO BANCO MUNDIAL. **Avaliação dos efeitos e impactos das inundações no Rio Grande do Sul: novembro 2024**. Brasília, DF: CEPAL, 2024. 303 p. Disponível em: https://www.cepal.org/pt-br/publicacoes/81035-avaliacao-efeitos-impactos-inundacoes-rio-grande-sul-novembro-2024.

CLARKE, B. et al. **Climate change, El Niño and infrastructure failures behind massive floods in southern Brazil**. World Weather Attribution, 2024. Disponível em: https://www.worldweatherattribution.org/climate-change-made-the-floods-in-southern-brazil-twice-as-likely/.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Rio Grande do Sul: panorama**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Anomalia de precipitação: maio de 2024**. Brasília, DF: INMET, 2024. Disponível em: https://clima.inmet.gov.br/prec.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Resumo para formuladores de políticas. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Mudança climática 2023: relatório de síntese**. Genebra: IPCC, 2023. p. 1–34. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf.

MARENGO, J. A. et al. Extreme rainfall and hydro-geo-meteorological disaster risk in Brazil. **Natural Hazards**, [S. l.], v. 103, n. 3, p. 1455–1474, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s11069-020-03983-6.

OLIVEIRA, E. P. de et al. Impacto das projeções climáticas nas relações intensidade-duração-frequência de chuvas intensas em Pelotas/RS. **Revista Brasileira de Climatologia**, Dourados, v. 33, p. 604–630, 2023. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/16691/9899.

PAIVA, R. C. D. de; PETRY, I.; COLLISCHONN, W. **Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: chuvas e cheias extremas na região Sul do Brasil**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2024. Disponível em: https://www.ufrgs.br/iph/wp-content/uploads/2024/05/CriteriosAdaptacaoMudancaClimaticaChuvasCheiasExtremasSul.pdf.

PETRUCCI, E.; AZEVEDO, L. M. de. Análise dos eventos extremos de precipitação máxima no município de Cachoeira do Sul/RS, de 1987 a 2020. **Revista de Geografia**, Recife, v. 40, n. 3, p. 258–281, 2023. DOI: https://doi.org/10.51359/2238-6211.2023.253447.

RIO GRANDE DO SUL. Defesa Civil. **Defesa Civil atualiza balanço das enchentes no RS: 31/5, 9h**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 31 maio 2024. Disponível em: https://estado.rs.gov.br/defesa-civil-atualiza-balanco-das-enchentes-no-rs-31-5-9h.

VIRTANEN, P. et al. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. **Nature Methods**, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 261–272, 2020. DOI: https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **WMO guidelines on the calculation of climate normals**. Geneva: WMO, 2017. (WMO-No. 1203). Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4166.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, [S. l.], v. 42, n. 16, p. 8390–8404, 2022. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.7731.