

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

O Evento Pluviométrico de 2024 no RS: O Que os Dados nos Contam Sobre o Maior Desastre Climático do Estado?

Filipe de Carvalho Lemos¹; Cristiano das Neves Almeida²; Victor Hugo Rabelo Coelho³; Emerson da Silva Freitas⁴; José Lindemberg Vidal Barbosa⁵; Abner da Silva Lins⁶; Cinthia Maria de Abreu Claudino⁷; Eduardo Gonçalves Patriota⁸; Guillaume Francis Bertrand⁹; Maria Helena Carvalho Lemos¹⁰; Gabriela da Luz Lins¹¹; Gerald Norbert Souza Da Silva¹² & Leonardo Maciel de Sousa¹³

Abstract: This study analysed the spatio-temporal behaviour of extreme rainfall events in Rio Grande do Sul (RS), Brazil, with a focus on the event that occurred between April and May 2024, considered one of the most severe climate-related disasters in the state's history. Using data from multiple monitoring networks, historical daily and sub-daily precipitation series were evaluated under strict quality control criteria. The analysis showed that, although rainfall volumes were high, the daily totals were not exceptional when compared to the historical record from 1912 to 2024. The distinguishing feature of the 2024 event was the persistence of intense rainfall over consecutive days and the extensive area affected, particularly within the Guaíba River Basin. In some locations, 10-day rainfall accumulations exceeded 700 mm. The study underscores the importance of maintaining and expanding the monitoring network to ensure reliable hydrometeorological data. Investing in infrastructure is crucial for risk management, urban planning, climate change research, and disaster mitigation.

Resumo: Este estudo analisou o comportamento espaço-temporal das chuvas extremas no Rio Grande do Sul (RS) em 2024, com foco no evento ocorrido entre abril e maio, um dos maiores desastres climáticos da história do estado. Utilizando dados de diferentes redes de monitoramento, foram avaliadas séries históricas de precipitação diária e subdiária, com rigorosos critérios de qualidade. A análise revelou que, apesar dos altos volumes, os totais diárias não foram anormais quando comparados ao histórico entre 1912 e 2024. O diferencial do evento foi a persistência das chuvas e a ampla área atingida, especialmente na bacia do rio Guaíba. Em alguns locais, os acumulados em 10 dias ultrapassaram 700 mm. O estudo destaca a importância da manutenção da rede de monitoramento para a gestão de riscos, planejamento urbano e enfrentamento das mudanças climáticas.

1) Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, UFPB, (83) 99964-3487, filipe_carvalho_1@hotmail.com

2) Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 993490880, almeida74br@yahoo.com.br

3) Prof. Dr. do Departamento de Geociências, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 988861663, victor.coelho@academico.ufpb.br

4) Instituto Federal do Pernambuco, IFPE, Campus Pesqueira- PE, e-mail: e-mail: emerson.sfreitas@hotmail.com

5) Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, UFPB, João Pessoa – PB, e-mail: lindembergvidal@gmail.com

6) Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, UFPB, João Pessoa – PB, e-mail: abner.lins.silva@gmail.com

7) Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 9996189626, cinthiamariaac@gmail.com

8) Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa, (83) 99655-3877, edugoncalvespatriota@gmail.com

9) Prof. Dr. do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UFPB, Campus João Pessoa; (33)6466578 37, Bourgogne Franche-Comté University, UMR UFC CNRS 6249 Chrono-Environnement, 25200 Montbéliard, France; guillaume353@gmail.com

10) Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, PUC, (83) 996688564, malenacarvalho1@hotmail.com

Palavras-Chave – Precipitação extrema; Monitoramento climático; Eventos hidrometeorológicos.

INTRODUÇÃO

A precipitação na forma de chuva é um fenômeno natural extremamente relevante, influenciando diretamente nas dinâmicas ambientais, relações econômicas e sociais de qualquer região do planeta (Rozante et al., 2018; Souza et al., 2012). A sua escassez ou o excesso podem desencadear de secas, inundações, alagamentos e deslizamentos de terra, entre outros eventos. Fernandes et al. (2018) e Sugahara et al. (2009) afirmaram que essas oscilações são cada vez mais recorrentes e intensas.

Entre os meses de abril e maio de 2024, o estado do Rio Grande do Sul enfrentou um dos maiores desastres climáticos de sua história, decorrente do grande volume de precipitação ao longo de vários dias. O volume excepcional de chuvas, ao que tudo indica, muito acima da média histórica, resultou em perdas de vidas humanas e animais, além de danos de grande magnitude à infraestrutura urbana e rural. De acordo com o portal Agência Senado, 2024, as enchentes e enxurradas atingiram 478 dos 497 municípios gaúchos, afetaram 2,4 milhões de pessoas (mais de um quinto da população) e deixaram mais de 4 mil desalojados, 173 mortos e 38 desaparecidos.

O monitoramento contínuo, tanto no espaço quanto no tempo, é essencial para a compreensão da nova realidade climática. Ele fornece subsídios valiosos para a emissão de alertas, além de permitir a análise das variações históricas do clima. Esses dados são fundamentais para embasar estudos técnicos e definir parâmetros confiáveis para projetos de engenharia.

Diante disso, este estudo buscou avaliar o comportamento espaço-temporal das chuvas extremas ocorridas em 2024 no Rio Grande do Sul, por meio da aquisição, padronização e análise de séries históricas de precipitação de diferentes fontes. Foram selecionadas estações com pelo menos 30 anos de dados recentes na resolução diária e dados dos últimos 10 anos com resolução subdiária. Assim será possível entender, dimensionar e quantificar mudanças nos padrões de precipitação máxima diária e área de abrangência dos eventos de precipitação no Rio Grande do Sul.

ÁREA DE ESTUDO

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) possui uma área de 281.707,151 km², e é composto por 497 municípios, com população estimada em 10.882.965 habitantes. O RS é dividido em três regiões hidrográficas: a região do rio Uruguai, região do Guaíba e a região do Litoral. Essas três regiões estão subdivididas em 25 bacias hidrográficas (Figura 1). O Estado apresenta uma distribuição mensal relativamente equilibrada das chuvas ao longo de todo o ano, com precipitação anual variando entre 1.300 e 1.900 milímetros.

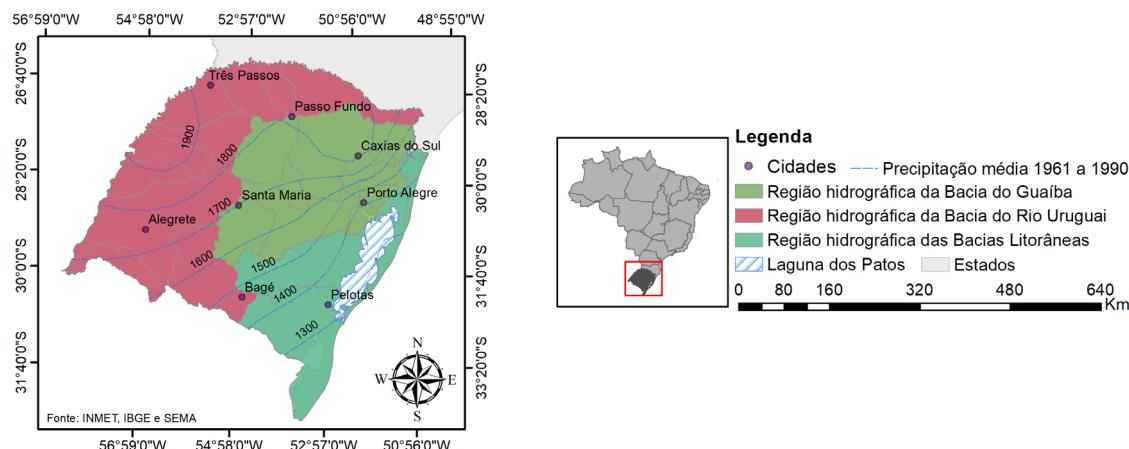


Figura 1 - Mapa de localização do Estado do Rio Grande do Sul com suas regiões hidrográficas.

METODOLOGIA

O Estado do Rio Grande do Sul conta com pelo menos cinco grandes fontes de dados de precipitação: Rede Telemétrica, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) e Hidroweb. A metodologia de análise dos dados foi dividida em duas partes. A primeira abrange os dados subdiários, provenientes das redes do CEMADEN (2014-2024), ICEA (2000-2024), INMET (2000-2024) e Telemetria (2014-2024). A segunda parte considera os dados diários das redes do Hidroweb (1914-2022), INMET (1912-2024) e ICEA (1951-2024).

Dados subdiários

Para os dados com resolução subdiária foram identificados por estação e por ano, a quantidade de dias com dados ausentes (máximo permitido de 60 dias) e ocorrências de precipitação anual superior a 200 mm. As estações que não atenderam a esses critérios foram excluídas das etapas subsequentes de análise.

Após a aplicação desses filtros iniciais, as estações aptas seguem para a segunda fase, denominada de Avaliação Visual e que é realizada comparando as precipitações acumuladas ao longo do ano entre uma estação e suas cinco vizinhas, levando em conta ainda a distância, altitude, total precipitado anualmente, mensalmente, precipitação diária e máxima diária. A análise é feita do tipo “Duplo Cego”, em que dois analistas avaliam de maneira independentes o mesmo conjunto de dados. Na etapa final propriedades médias anuais dos eventos chuvosos, seus desvios e valores máximos são avaliadas espacialmente para identificar valores destoantes (Freitas et al., 2020; Meia et al., 2022).

Dados diários

O procedimento qualitativo realizado nos dados diários seguiu outra metodologia em virtude da quantidade de informações disponíveis, sendo inviável avaliar visualmente toda a rede. Nesse caso, foram consideradas as redes do Hidroweb (1914 - 2022), INMET (1912 - 2024) e ICEA acumulado para o passo de tempo diário (1951 - 2024).

Assim como na base subdiária, foi realizada uma filtragem inicial e posteriormente selecionaram-se as estações com, no mínimo, 30 anos de registros. A etapa seguinte consistiu na avaliação das precipitações máximas diárias das estações em relação às suas vizinhas. Para isso, foi elaborada uma tabela contendo, para cada estação e ano de funcionamento, as seguintes informações: valor da máxima diária (mm), total anual de precipitação (mm), elevação (m), data de ocorrência da máxima e o índice Niño correspondente ao mês da ocorrência. A tabela foi acrescida dos seguintes dados das quatro estações vizinhas: média da chuva máxima diária (mm), chuva máxima diária de cada estação vizinha (mm), precipitação média anual (mm), elevação média (m), data em que a maioria das vizinhas registrou a máxima anual e distâncias individuais até cada vizinha (km).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Coleta e organização de dados pluviométricos e pluviográficos

Os dados coletados são resumidos na tabela a seguir. Além da variação na estruturação das bases de dados, também há divergências de fuso horário. Todas as divergências foram padronizadas.

Tabela 1 – Resumo da coleta de dados de precipitação.

Fonte	Período	Resolução temporal	Nº de estações	Hora em UTC
CEMADEN	2014 – 2024	10 min	206	Sim
INMET	1912 – 2024	Diário	60	Sim
	2000 – 2024	60 min	47	Sim
Telemetria-ANA	2014-2024	10, 15, 30 e 60 min	285	Não
ICEA	1951-2024	60 min	11	Até março 2023 UTC / após hora local
Hidroweb	1914-2022	diário	565	Sim

O conjunto de dados também foi espacializado para que a cobertura espacial das estações na área de estudo fosse avaliada. É importante destacar que foram consideradas estações de Santa Catarina com uma distância de até 20 km da fronteira do Rio Grande do Sul. A Figura 2 mostram a distribuição espacial por rede de monitoramento.

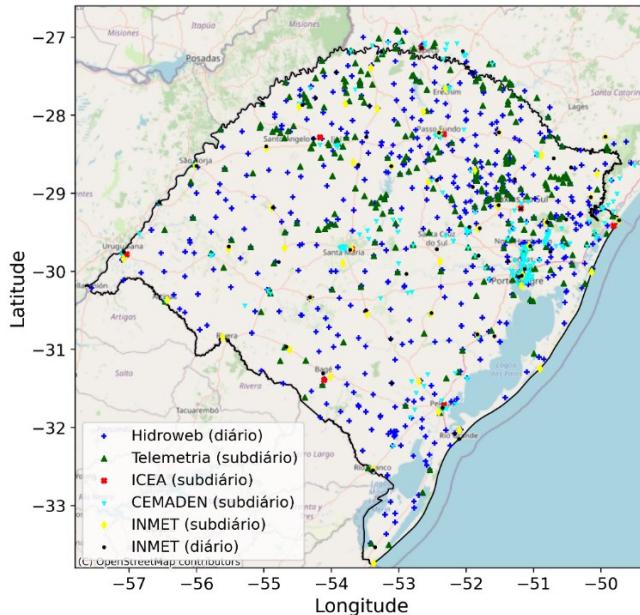


Figura 2: Distribuição espacial das 1.113 estações por rede e resolução diária ou subdiária.

Controle de qualidade dos dados diários e subdiários

O controle de qualidade dos dados foi fundamental para viabilizar entender comportamento no espaço e no tempo dos eventos de precipitação que desencadearam a maior enchente do Rio Grande do Sul.

Após aplicar a metodologia, o total de estações subdiárias que era de 557 foi reduzida para 383 estações, uma redução global da ordem de 31,2 %. Já considerando a média dos anos avaliados, as maiores reduções foram identificadas para a rede do ICEA (86,9 %), Telemetria (74 %) e CEMADEN (63,63 %), enquanto a menor foi para a rede do INMET (54,65 %).

Já em relação aos dados diários, do total de 595 estações, apenas 255 possuem, potencialmente, mais de 30 anos de dados e funcionaram até entre 2013 e 2023 (período mais recente). Após a remoção de estações com inconsistências, baseado na metodologia proposta, restaram 185 estações com dados de 1912 até 2020 (Figura 3)

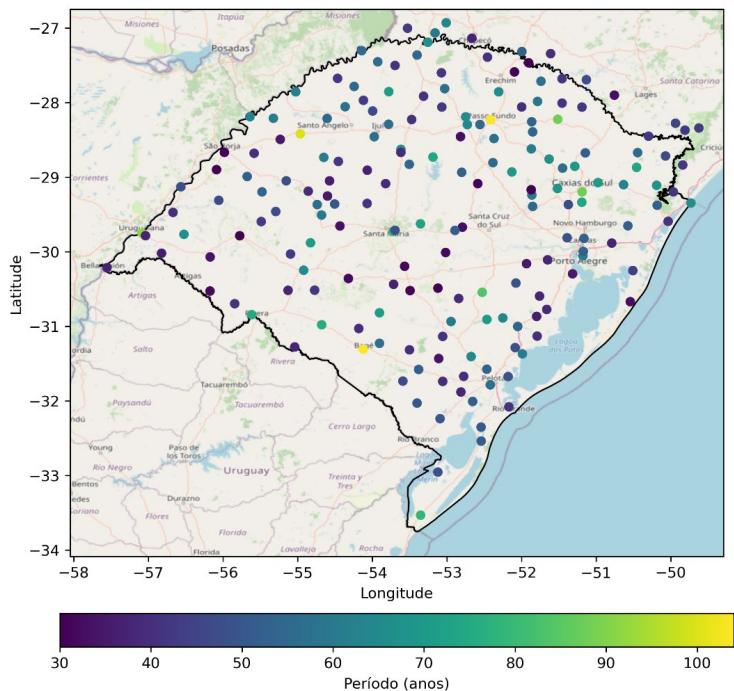


Figura 3: Estações de monitoramento que possuem mais de 30 anos de dados e estão aptas para as etapas seguintes.

Eventos de 2024

O primeiro ponto a ser analisado é a relação entre a chuva registrada em 2024 e os padrões históricos observados no estado. A Figura 4 apresenta a distribuição da chuva máxima diária no tempo e o volume acumulado em 2 dias em relação ao evento máximo nos últimos 25 anos.

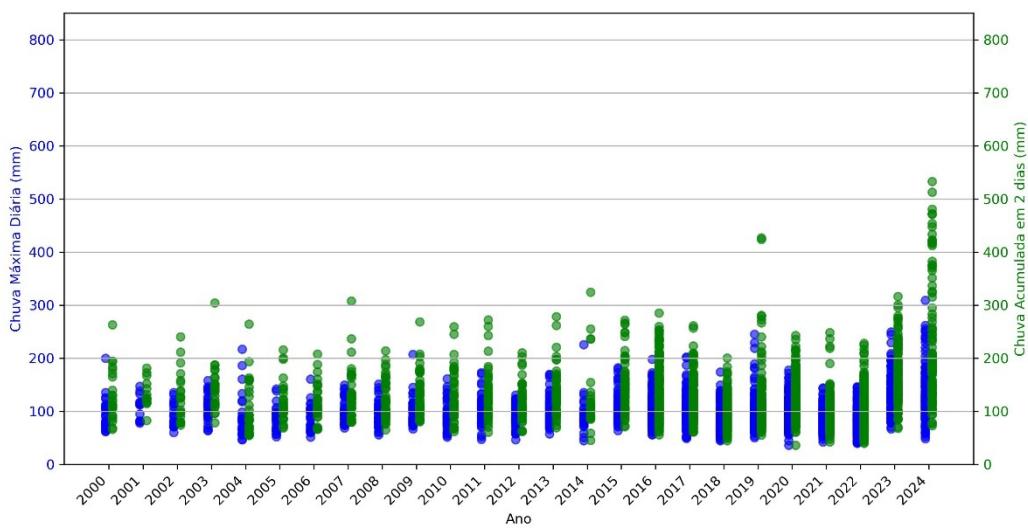


Figura 4: Precipitações máximas diárias (em mm) e acumuladas em dois dias ocorridas no Rio Grande do Sul entre 2000 e 2024. As cores relacionam os eixos.

Ao analisar o eixo vertical esquerdo, que representa a chuva máxima diária, observa-se que os valores de 2024 não se destacam como anormais em comparação com os últimos 25 anos. Inclusive, o ano de 2023 apresentou um comportamento bastante semelhante em termos de máximas diárias.

Essa tendência se mantém mesmo quando se considera todo o período histórico de 1912 a 2024 (Figura 5).

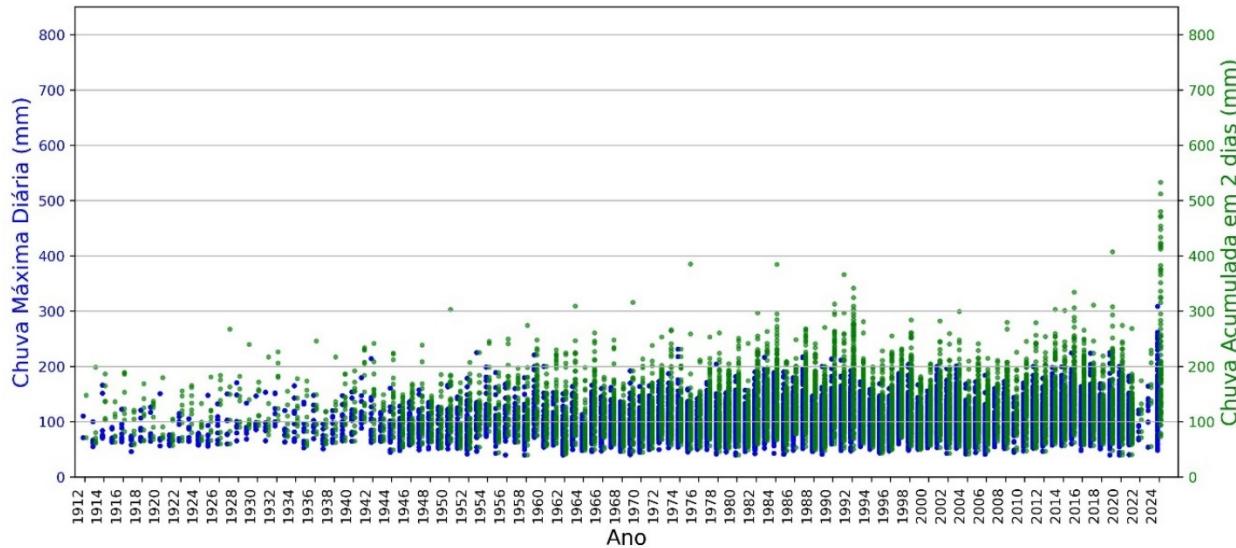


Figura 5: Precipitações máximas diárias (em mm) e acumuladas em dois dias ocorridas no Rio Grande do Sul entre 1912 e 2024. A cores relacionam os eixos.

Porém, ao analisar a chuva acumulada ao longo dos dias, a magnitude do evento de 2024 se torna mais evidente. O acúmulo de chuva em apenas dois dias já supera claramente todos os outros anos, e o número de estações registrando grandes volumes chama a atenção. A situação se agrava ainda mais à medida que se aumenta o período de acumulação, evidenciando a grande magnitude do evento (Figura 6).

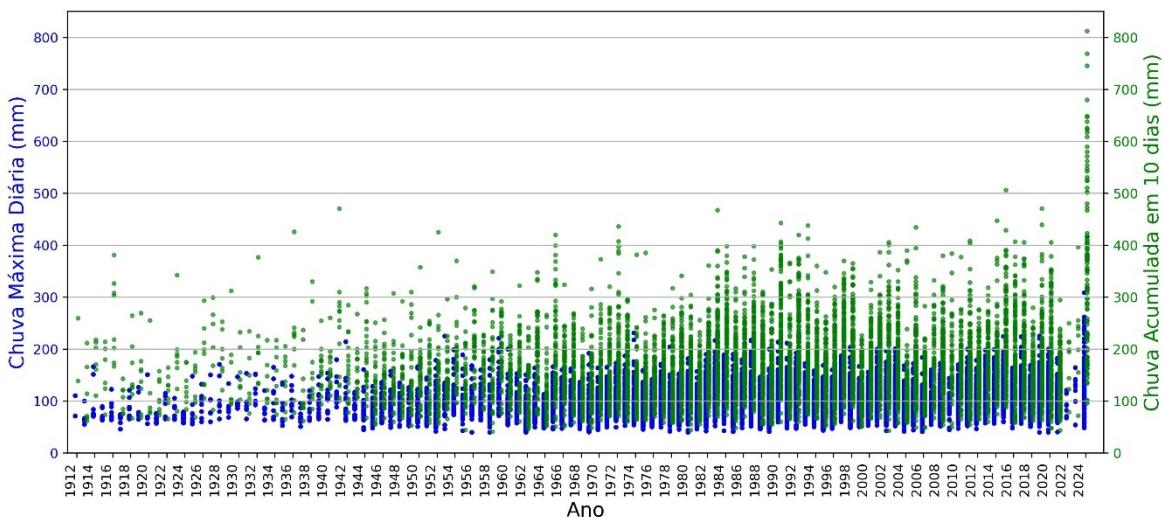


Figura 6: Precipitações máximas diárias (em mm) e acumuladas em dez dias ocorridas no Rio Grande do Sul entre 1912 e 2024. A cores relacionam os eixos.

A Figura 6 revela que, ao acumular a chuva em um período de 10 dias, o volume precipitado em mais da metade das estações supera 400 mm, chegando a ultrapassar 700 mm em alguns postos. Além do volume, outro fator que contribuiu para o alto grau de destruição do evento foi sua abrangência espacial, concentrado praticamente dentro de uma única região hidrográfica (Rio Guaíba). A Figura 7 ilustra a variação do volume de precipitação considerando 10 dias de acumulação, destacando a extensão e severidade do evento.

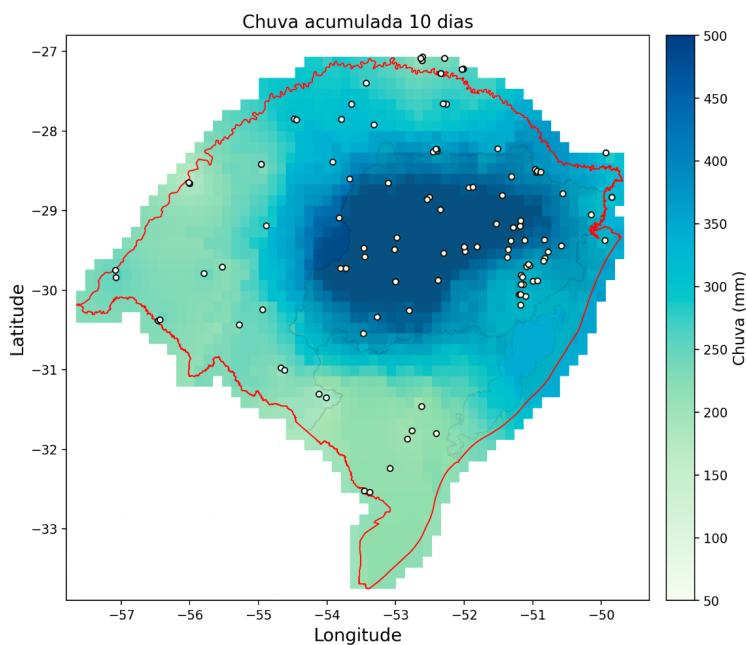


Figura 7: Distribuição espacial da precipitação máxima diária acumulada com dez dias.

Em 1941, dentre as 14 estações que registraram chuva, o maior valor acumulado em 10 dias foi de 310 mm. Buscando em reportagens, foi possível encontrar registros de até 600 mm de chuva, mas em um intervalo de 24 dias.

Em relação aos pontos de medição, o maior volume registrado foi de 308,8 mm/dia, no município de Fontoura Xavier. A rede responsável pelo registro foi a do CEMADEN. Os demais valores, de acordo com a série histórica disponível, ficam em torno de 250 mm/dia, compatível com diversas outras máximas diárias registradas em diferentes redes de monitoramento e diferentes anos (1912 – 2024).

CONCLUSÃO

Este estudo envolveu a coleta, organização e avaliação qualitativa dos dados de precipitação no Rio Grande do Sul. Foram analisadas as precipitações máximas diárias históricas e as de 2024 com o objetivo de entender o comportamento da precipitação ocorrida em 2024 e em anos anteriores no Rio Grande do Sul.

Considerando as principais redes de monitoramento, o Rio Grande do Sul conta (considerando todos os anos) com aproximadamente 557 pluviógrafos e 595 pluviômetros. Após a avaliação qualitativa, restaram 383 pluviógrafos, representando uma redução de 31,2%. Em relação à média dos anos analisados por rede. No caso dos dados diários, das 595 estações existentes, apenas 182 não apresentaram inconsistência nos máximos diários e possuíam, potencialmente, 30 anos de registros.

De maneira geral, o evento de 2024 não se destacou como uma chuva anormal para a RS em termos de totais pluviométricos em 24 horas. Entre todas as estações, apenas o posto de Fontoura Xavier-RS registrou um volume de chuva expressivo (308,8 mm/dia), enquanto os demais valores já haviam sido observados em outros anos, considerando o período histórico de 1912 a 2024. Inclusive, o ano de 2023 apresentou um comportamento bastante semelhante em relação às máximas diárias.

Com base no histórico de dados, pode-se afirmar que o grande diferencial do evento ocorrido em abril/maio de 2024 foi a sequência de dias com chuvas intensas e a extensa área de cobertura do evento, concentrado principalmente na região hidrográfica da bacia do rio Guaíba. Em alguns locais, a precipitação acumulada em 10 dias ultrapassou 700 mm, um valor significativamente superior à média histórica da região, onde algumas estações possuem séries de dados com mais de 100 anos. Considerando a região hidrográfica da bacia do rio Guaíba, aproximadamente 77,6% da área total da bacia registrou um acumulado de chuva superior a 500 mm em um período de 10 dias. Além do volume acumulado, fatores como mudança de uso do solo (i.e., impermeabilização do solo e o desmatamento) podem ter amplificado os impactos dos eventos, pois afetam diretamente o escoamento superficial da bacia hidrográfica.

A manutenção e a expansão da rede de monitoramento são essenciais para garantir a continuidade das medições e aprimorar a confiabilidade dos dados hidrometeorológicos. O investimento em infraestrutura e manutenção é crucial para evitar a degradação da rede existente e garantir medições consistentes ao longo do tempo. Destinar recursos para essa finalidade não é apenas uma escolha estratégica, mas uma necessidade inadiável para a segurança hídrica, a gestão eficiente dos recursos naturais, estudo das mudanças climáticas e a mitigação de desastres.

REFERÊNCIA

FERNANDES, Laís G.; RODRIGUES, Regina R. Changes in the patterns of extreme rainfall events in southern Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 3, p. 1337-1352, 2018.

Freitas, E., Coelho, V. H., Xuan, Y., Melo, D., Gadêlha, A., Santos, E., Galvao, C., Ramos, G., Barbosa, L., Huffman, G., Petersen, W., & Almeida, C. (2020). The performance of the IMERG satellite-based product in identifying sub-daily rainfall events and their properties. **Journal of Hydrology**, v. 589, p. 125128, 2020.

Meira, M. A., Freitas, E. S., Coelho, V. H. R., Tomasella, J., Fowler, H. J., Ramos Filho, G. M., ... & Almeida, C. D. N. (2022). Quality control procedures for sub-hourly rainfall data: An investigation in different spatio-temporal scales in Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 613, p. 128358, 2022.

Rozante, J. R., Vila, D. A., Barboza Chiquetto, J., Fernandes, A. D. A., & Souza Alvim, D. (2018). Evaluation of TRMM/GPM blended daily products over Brazil. **Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 882, 2018.

Senado Federal. Tragédia no RS mostrou que Brasil precisa se preparar para mudanças no clima. **Senado Notícias**, 2024.

Souza, W. M., Azevedo, P. V. de, & Araújo, L. E. de. (2012). Classificação da precipitação diária e impactos decorrentes dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 2, p. 250-268, 2012.

Sugahara, Shigetoshi; Da Rocha, Rosmeri Porfirio; Silveira, Reinaldo. Non-stationary frequency analysis of extreme daily rainfall in São Paulo, Brazil. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 29, n. 9, p. 1339-1349, 2009.

AGRADECIMENTOS: Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (PAPESQ) e Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).