

Estado da publicação: Não informado pelo autor submissor

# Chuvas sem precedentes de abril a maio de 2024 no Sul do Brasil definem novo recorde

Walter Collischonn, Rafael Cabeleira, Nicole Ramalho, Anderson Ruhoff, Rodrigo Paiva, Fernando Fan, Sly Wongchuig, João Breda

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.9773>

Submetido em: 2024-09-08

Postado em: 2024-09-09 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)

# Chuvas sem precedentes de abril a maio de 2024 no Sul do Brasil definem novo recorde

(Nota técnica submetida para publicação na Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH) da Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRHidro))

Walter Collischonn – <https://orcid.org/0000-0002-7630-396X>

Rafael Cabeleira Filho – <https://orcid.org/0009-0008-6835-4047>

Nicole Viegas Ramalho – <https://orcid.org/0009-0009-4474-4785>

Anderson Ruhoff – <https://orcid.org/0000-0002-3585-2022>

Rodrigo Paiva – <https://orcid.org/0000-0003-2918-6681>

Fernando Fan – <https://orcid.org/0000-0003-0371-7851>

João Paulo Lyra Fialho Brêda – <https://orcid.org/0000-0002-8360-1308>

Sly Wongchuig – <https://orcid.org/0000-0002-1116-0742>

## Resumo:

Esta nota técnica apresenta uma análise comparativa entre as chuvas intensas ocorridas no Rio Grande do Sul, entre abril e maio de 2024, com os maiores eventos de chuva já observados no Brasil, entre 1961 e 2022. A análise comparativa foi realizada utilizando a técnica Depth Area Duration, que é adequada para a análise de chuvas intensas em grande escala espacial e temporal. Concluímos que as chuvas ocorridas no Rio Grande do Sul superaram amplamente os eventos de precipitação de larga escala mais intensos historicamente observados no Brasil, de 1961 a 2022, pelo menos para áreas de 2.000 a 100.000 km<sup>2</sup> e durações de chuva de 3 a 14 dias. Em alguns casos (chuva de 3 dias em 10.000 km<sup>2</sup>), a precipitação de 2024 foi 47% maior que o recorde anterior de precipitação. Considerando que não podemos descartar que eventos semelhantes ocorram em nenhuma outra bacia, pelo menos no Sul do Brasil, pode ser necessário rever as regras originais de projeto e operação de estruturas hidráulicas de alto risco e sistemas de defesa contra inundações em toda a região Sul do país.

Palavras-chave: precipitação; inundação; precipitação recorde; precipitação extrema; altura-área-duração

## **Unprecedented April-May 2024 Rainfall in South Brazil Sets New Record**

### **Abstract:**

This technical note presents a comparative analysis between the heavy rainfall that occurred in Rio Grande do Sul, between April and May 2024, with the heaviest rainfall events ever observed in Brazil, between 1961 and 2022. The comparative analysis was performed using the Depth Area Duration technique, suitable for the analysis of heavy rainfall on a large spatial and temporal scale. We concluded that following our analysis, the rainfall that occurred in Rio Grande do Sul largely exceeded the most intense large-scale precipitation events historically observed in Brazil, from 1961 to 2022, at least for areas from 2,000 to 100,000 km<sup>2</sup> and rainfall durations of 3 to 14 days. In some cases (3-day rainfall in 10,000 km<sup>2</sup>) the 2024 rainfall was 47% higher than the previous record rainfall. Considering that we cannot rule out that similar events occur in any other basin, at least in South Brazil, it may be necessary to review the original design and operation rules of high-risk hydraulic structures and flood defense systems throughout the Southern region of the country.

Keywords: rainfall; flood; record rainfall; extreme rainfall; depth-area-duration

# 1 Introdução

Entre o final de abril e o início de maio de 2024, fortes chuvas causaram cheias extraordinárias no Sul do Brasil. As maiores inundações já observadas ocorreram ao longo de vários rios no estado do Rio Grande do Sul.

Em Porto Alegre, a cheia do rio Guaíba ultrapassou o nível máximo observado durante a traumática enchente de 1941 (Possa et al., 2022; Silveira, 2020; Silveira et al. 2023), com consequências ainda mais devastadoras, porque o sistema de proteção contra inundações não conseguiu impedir que a água entrasse na capital do estado.

O desastre hidrológico excepcional de abril-maio de 2024 no Sul do Brasil marca novos recordes de inundações e deslizamentos de terra na região (Collischonn et al., 2024a). Centenas de milhares de pessoas foram diretamente afetadas pelas enchentes, que inundaram mais de 15.000 km<sup>2</sup>. As vítimas fatais são pelo menos 182, e 29 ainda estão desaparecidas, três meses após o desastre.

Dados seus impactos profundos, generalizados e duradouros, o desastre de abril-maio de 2024 pode ser considerado o desastre de inundação mais impactante da história do Brasil, mesmo se considerarmos os recentes desastres relacionados a chuvas que ocorreram no Brasil (Kobiyama et al., 2023; Marengo et al., 2023a; Marengo et al., 2023b; Marengo et al., 2024), incluindo uma inundação catastrófica que atingiu a mesma região sul do Brasil em setembro de 2023 (Alvalá et al. 2024; Moraes et al., 2024).

Chuvas extremas, como as de abril e maio de 2024 no RS, podem ser analisadas de uma perspectiva local e regional. De uma perspectiva local, é possível analisar chuvas extremas usando dados medidos por pluviômetros individuais. De uma perspectiva regional, é necessário analisar dados de medições em um conjunto de pluviômetros distribuídos por uma determinada área.

A maior precipitação local já medida por um pluviômetro no Brasil ocorreu recentemente, em 2023, em Bertioga, no litoral norte de São Paulo. Neste local, um pluviômetro automático do Centro Nacional de Monitoramento de Desastres (CEMADEN) mediu 682 mm de chuva nas 24 horas entre 9h do dia 18 de fevereiro e 9h do dia 19 de fevereiro. No mesmo dia, uma precipitação de 626 mm foi medida em 24 horas em São Sebastião (Marengo et al., 2024; Kobiyama, 2023; Kobiyama et al., 2023).

No Rio Grande do Sul, a maior precipitação já registrada por um único pluviômetro em 24 horas ocorreu na região de Pelotas, entre 28 e 29 de janeiro de 2009, quando 611 mm de precipitação foram medidos na estação experimental da Embrapa (Almeida et al., 2009; Saldanha et al., 2012).

No entanto, os registros de precipitação observados em um único ponto fornecem informações limitadas sobre quanta chuva caiu sobre uma grande região nas proximidades do ponto onde a medição foi feita. Essa questão é especialmente importante quando o que está sendo analisado é a formação de enchentes em grandes rios. Nesses casos, é menos importante o volume de chuva que caiu em um ou outro ponto individual, e mais importante o volume de chuva que caiu em média em uma região que se estende por dezenas a milhares de quilômetros quadrados. Além disso, para analisar a precipitação que causa enchentes em grandes rios, não basta avaliar quanta chuva ocorreu em 24 horas, uma vez que enchentes em grandes rios são tipicamente causadas por chuvas de duração mais longa, como vários dias (Blöschl, 2022).

Para examinar as características de precipitação extrema em grandes áreas e por longas durações, uma ferramenta útil é a análise conhecida como Depth-Area-Duration (DAD), geralmente adotada em estudos de precipitação máxima provável (Shaw et al., 2011; WMO, 2009; Kao et al., 2019; Afzali-Gorouh et al. 2018). A expressão Depth-Area-Duration pode ser traduzida como Altura-Area-Duração, porque relaciona a magnitude da chuva, com a área atingida e com a duração do evento chuvoso que está sendo analisado. A análise DAD é uma técnica usada para estimar a quantidade da precipitação em uma área e duração de tempo, o que é útil no projeto de vertedouros, diques e estruturas de controle de enchentes (WMO, 1969). Exemplos do uso da análise DAD no contexto brasileiro são dados por Wongchuig et al. (2019) e Fleischmann et al. (2020).

Entendemos que documentar adequadamente eventos hidrológicos extraordinários ajuda a sociedade a aprender com eventos passados, a reduzir a vulnerabilidade e a melhorar a preparação e aumentar a resiliência a novos desastres (Zanandrea et al., 2023). De uma perspectiva científica, é importante identificar padrões e causas de tais desastres, aumentar a conscientização e a educação e informar o desenvolvimento ou recuperação de infraestrutura. Isso é especialmente importante em regiões, como o Sul do Brasil, onde tendências em eventos hidrológicos extremos foram identificadas (Ávila et al. 2016), e onde projeções climáticas sugerem que tendências de aumento de inundações podem ser mantidas durante as próximas décadas (Breda et al., 2023; Petry et al., 2023; Paiva et al., 2024a, Paiva et al., 2024b).

O objetivo deste manuscrito é avaliar a magnitude da precipitação pluviométrica longa e generalizada que ocorreu no estado do Rio Grande do Sul, em abril e maio de 2024, comparando-a com os eventos de precipitação mais extremos que foram historicamente observados no Brasil, nas mesmas escalas espaciais e temporais. Esta avaliação foi realizada comparando as curvas DAD do evento de precipitação extrema de 2024 no Rio Grande do Sul com a curva de envelope das curvas DAD

dos eventos mais extremos identificados a partir de um conjunto de dados em grade de precipitação diária para o Brasil de 1961 a 2022.

## 2 Metodologia

### 2.1 Visão geral da metodologia

Durante o final de abril e o início de maio de 2024, precipitações intensas e duradouras causaram inundações extraordinárias no estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), as chuvas foram causadas por uma combinação de fatores, incluindo uma massa de ar quente sobre a região central do país que bloqueou a frente fria no Sul, levando a uma instabilidade prolongada e resultando em chuvas intensas e contínuas sobre o estado.

A área afetada pelas chuvas mais intensas foi a parte norte da bacia do rio Guaíba, mostrada na Figura 1a, especialmente as áreas que contribuem para os rios Jacuí, Taquari, Caí e Sinos.

A precipitação mais intensa durou de 29 de abril a 5 de maio e foi distribuída por toda a bacia do rio Guaíba (Collischonn et al., 2024b). Cerca de uma semana depois, nos dias 11 e 12 de maio, outra chuva intensa ocorreu novamente em praticamente toda a bacia.

Vários pluviômetros na região registraram valores máximos de precipitação em 24 horas bem acima de 300 mm. Um deles, na cidade de Segredo, atingiu 386,2 mm em 24 horas. Esse valor é mais de 2 vezes maior que o período de retorno de 100 anos de precipitação de 24 horas na região, de acordo com a relação Intensidade-Duração-Frequência estimada por Weschenfelder et al. (2018).

Embora esses valores específicos de precipitação em 24 horas sejam impressionantes, o que mais chama a atenção no evento de precipitação que causou as enchentes no Rio Grande do Sul são os volumes totais de chuva em períodos mais longos e em uma grande área.

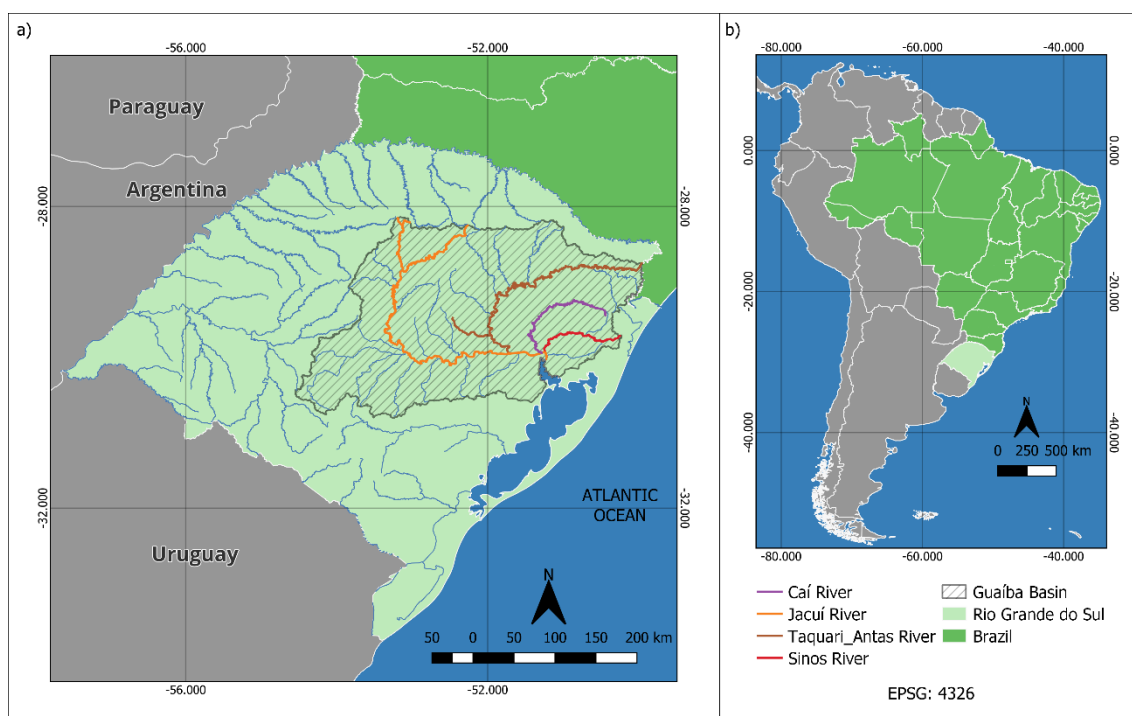


Figura 1: Mapa das áreas de estudo: a) Localização da Bacia do Rio Guaíba e seus principais tributários; b) Localização do Rio Grande do Sul em relação à América do Sul.

Para analisar chuvas intensas em áreas maiores, a técnica Profundidade-Área-Duração (DAD) é normalmente usada (Shaw et al., 2011). A análise DAD nos permite analisar eventos de precipitação em larga escala, determinando a quantidade máxima de precipitação de diferentes durações em uma faixa de áreas menores a maiores (WMO, 2009; WMO, 1969; Kao et al., 2019; Wongchuig et al. 2019; Kappel 2019).

A análise DAD é realizada para eventos de precipitação individuais em uma área. O resultado da análise é uma curva DAD, que expressa graficamente a relação entre a diminuição progressiva na altura média da precipitação em uma área progressivamente crescente. A curva começa em uma pequena área, no centro da parte mais pesada da precipitação, e se expande para fora até suas bordas, considerando uma dada duração de precipitação.

As curvas DAD obtidas de diferentes eventos de precipitação dentro de uma região climática semelhante podem ser combinadas e uma curva de envelope pode ser obtida, que resume os eventos de precipitação mais intensos em diferentes escalas espaciais e temporais.

Em uma primeira etapa, realizamos a análise DAD para o evento de precipitação de abril a maio de 2024 no Rio Grande do Sul. Em uma segunda etapa, fizemos a

análise DAD dos eventos de chuvas de larga escala mais intensos observados no Brasil de 1961 a 2022, e obtivemos a curva de envelope, com os eventos mais intensos.

Para analisar as chuvas intensas em 2024 no Rio Grande do Sul, utilizamos dados de pluviômetros automáticos das redes de monitoramento atualmente em operação na região, e realizamos a interpolação desses dados. Para analisar as chuvas intensas históricas no Brasil, utilizamos o banco de dados de precipitação em grade desenvolvido por Xavier et al. (2022). Este banco de dados já fornece dados de precipitação interpolados em uma grade de 0,1 x 0,1 grau, em intervalos de tempo diários. Os dois conjuntos de dados são descritos com mais detalhes nos itens a seguir.

Na terceira e última etapa, comparamos a curva DAD obtida a partir das chuvas observadas no Rio Grande do Sul em abril e maio de 2024 com a curva de envelope das curvas DAD obtidas usando o conjunto de dados de precipitação em grade de 1961 a 2022 para o Brasil.

## 2.2 Dados de precipitação de 2024 no Rio Grande do Sul

O evento hidrológico extremo de abril e maio de 2024 ocorreu sobre o estado do Rio Grande do Sul (RS), que é o estado mais ao sul do Brasil, em latitudes próximas a 30 S (figura 1).

A área mais afetada pelas chuvas de abril e maio está localizada do centro do estado ao seu quadrante nordeste. A maior parte das chuvas ocorreu sobre a bacia de drenagem do rio Guaíba e vários de seus afluentes, notadamente os rios Jacuí, Taquari e Cai.

Os dados de precipitação para o período de 1º de abril de 2024 a 15 de maio de 2024, em intervalos de tempo horários, foram obtidos de uma rede de observação operada por várias instituições: a Agência Nacional de Águas (ANA), o Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN), o Serviço Geológico Brasileiro (SGB) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os links para os respectivos bancos de dados são fornecidos no Material Suplementar.

Selecionamos todos os pluviômetros automáticos dentro da área de drenagem do rio Guaíba e seus arredores e, em seguida, verificamos a disponibilidade dos dados durante o período de 1º de abril de 2024 a 15 de maio de 2024. Os pluviômetros com falhas de observação durante os períodos de maior precipitação foram descartados. Os pluviômetros com grandes discrepâncias em relação aos valores medidos em estações vizinhas, com base na inspeção de especialistas, também foram descartados. Por fim, foram selecionados 79 pluviômetros automáticos. Os pluviômetros selecionados são informados no Material Suplementar.

## 2.3 Dados históricos de precipitação para o Brasil

Para analisar as chuvas intensas históricas no Brasil, utilizamos o banco de dados de precipitação em grade produzido por Xavier et al. (2022).

Xavier et al. (2022) utilizaram dados de precipitação observados em 11.473 estações pluviométricas da ANA e do INMET no Brasil e geraram, por meio da interpolação de dados, estimativas de precipitação em uma grade de 0,1 x 0,1 grau, que corresponde, aproximadamente, a 10 x 10 km, e que cobre todo o território brasileiro. Os dados estão em intervalos de tempo diários e se estendem de 1º de janeiro de 1961 a 31 de dezembro de 2022.

Xavier et al. (2022) testaram vários métodos de interpolação de dados de precipitação e decidiram adotar o método de ponderação de distância angular (New et al., 2000) para gerar as informações em grade. No entanto, antes de aplicar a interpolação, Xavier et al. (2022) aplicaram um filtro para eliminar possíveis erros de observação nas séries de dados medidos. Dados de precipitação abaixo de zero e acima de 450 mm em um dia foram excluídos. É importante destacar que esse filtro, se aplicado indiscriminadamente, pode limitar a identificação de eventos de precipitação extremamente elevados, uma vez que valores diários de precipitação maiores que 450 mm em um dia são raros, mas não implausíveis, e já foram registrados até mesmo no Brasil, como mencionado na introdução.

No entanto, acreditamos que essa limitação tenha pouca influência nos resultados de nossa análise, pois focamos em eventos de precipitação de longo prazo em grandes áreas, e não em valores máximos pontuais específicos.

Em avaliações preliminares, observamos que os dados em grade de Xavier et al. (2022) apresentaram inconsistências na região Norte do Brasil, devido à baixa densidade espacial de estações pluviométricas necessárias para sua produção. Por esse motivo, limitamos a análise de chuvas intensas à região ao sul da latitude 10º S (Figura 2), onde a densidade pluviométrica no espaço é geralmente maior. Assim, a análise descrita na seção 4.1 não se refere exatamente aos dados de todo o Brasil, mas apenas à porção do país localizada ao sul de 10º S. As áreas excluídas da análise são, portanto, todos os estados da região Norte, exceto partes de Rondônia e Tocantins, e todos os estados da região Nordeste, exceto Bahia e parte de Sergipe.

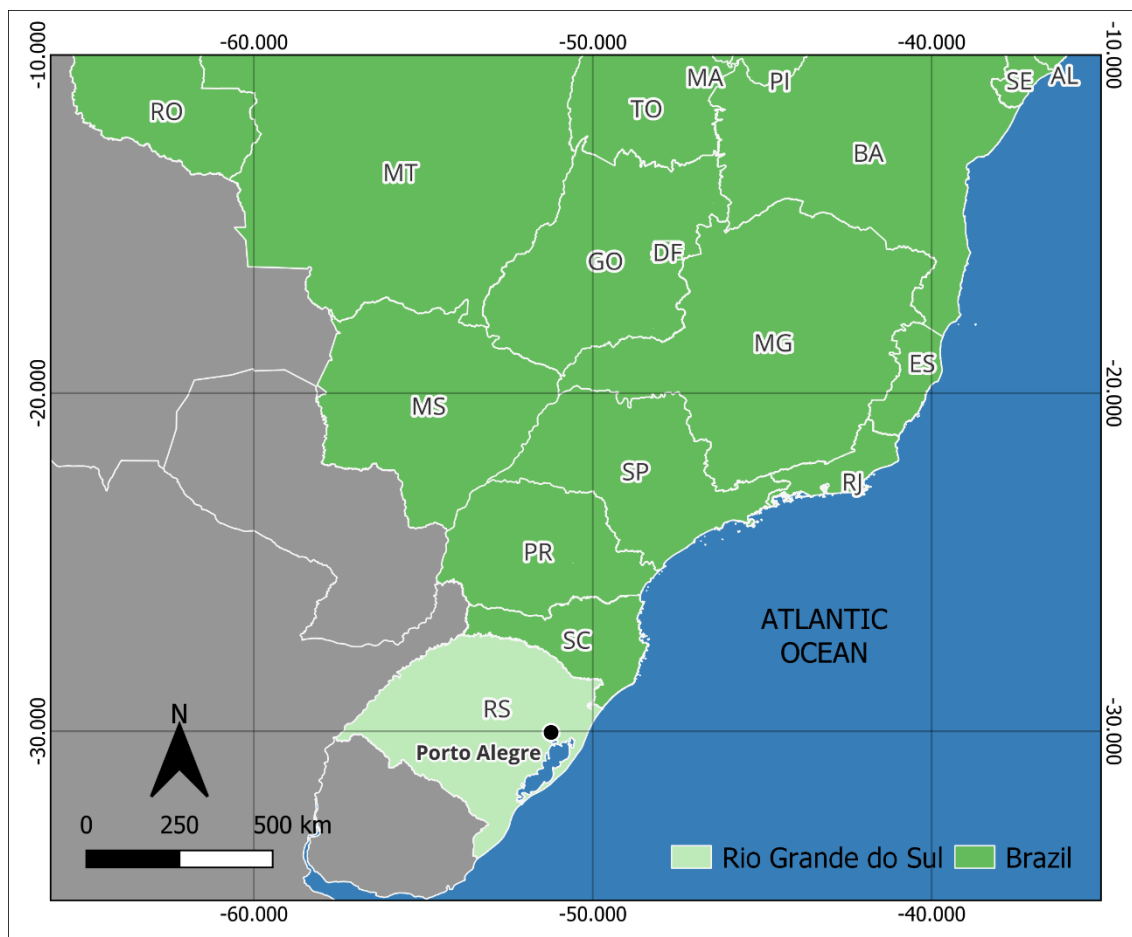


Figura 2: Área de análise de dados históricos de chuvas intensas (Brasil ao sul de 10° Sul).

## 2.4 DAD das chuvas de abril e maio no sul do Brasil

Seguimos o método sugerido pela Organização Meteorológica Mundial para obter as curvas DAD para um evento de chuva individual (WMO 1969).

As curvas DAD para chuvas intensas em abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul foram geradas a partir de dados medidos em pluviômetros automáticos, descritos no item 2.2. O procedimento foi realizado em quatro etapas:

- 1) Cálculo da precipitação acumulada em pluviômetros, em períodos de 3 a 14 dias.
- 2) Interpolação espacial dos dados do medidor, gerando uma grade de precipitação.
- 3) Definição de isoietas a partir de dados de precipitação em grade.
- 4) Cálculo da área e da precipitação média em polígonos definidos pelas isoietas.

Com base em dados de precipitação de 3 pluviômetros, considerados representativos de toda a região, foram identificados os períodos mais chuvosos correspondentes a diferentes durações, entre 3 e 14 dias, conforme mostrado na tabela 1.

Interpolamos os dados de precipitação usando o método de interpolação Vizinho Natural (Natural Neighbour) disponível como uma ferramenta do Whitebox Tools (Lindsay, 2016). A interpolação Vizinho Natural é um método de interpolação rápido e simples, que escolhe o número de vizinhos dos quais interpolar com base na localização dos pluviômetros e produz uma superfície interpolada que reproduz as observações nos medidores e que tem derivada contínua em todos os pontos, exceto nos locais dos pluviômetros (Hofstra et al., 2008).

O resultado da interpolação foi um conjunto de 4 grades de valores acumulados de precipitação ao longo de 3 a 14 dias. A resolução espacial da grade gerada foi de 90 m.

Tabela 1. Períodos de acumulação de precipitação observada em diferentes durações para a análise DAD do evento pluviométrico de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul.

<b>Duração (dias)</b>	<b>Data e hora inicial</b>	<b>Data e hora final</b>
3	30 Abril 2024 00:00	02 Maio 2024 24:00
5	28 Abril 2024 00:00	02 Maio 2024 24:00
7	28 Abril 2024 00:00	04 Maio 2024 24:00
14	29 Abril 2024 00:00	12 Maio 2024 24:00

O próximo passo para obter a curva DAD é plotar as isoietas, que são as linhas que unem os pontos de uma superfície que têm o mesmo valor de precipitação (Longley et al., 2005). Essa plotagem foi feita automaticamente usando a ferramenta Contour do QGIS (<http://qgis.osgeo.org>), a partir da grade de precipitação interpolada. O procedimento foi repetido quatro vezes, uma para cada grade (3, 5, 7 e 14 dias).

A etapa final da metodologia é calcular a precipitação média dentro dos polígonos definidos pelas isoietas. Isso foi feito transformando a linha da isoieta de 500 mm, por exemplo, em um polígono, e calculando a área desse polígono e o valor médio dos valores da grade de precipitação interpolada dentro desse polígono. Essa última etapa foi realizada com a ferramenta Estatística Zonal (Zonal Statistics) do QGIS.

## 2.5 DAD da chuva em grade do Brasil (1961 a 2022)

Para desenvolver a curva DAD usando os dados de precipitação diária em grade fornecidos por Xavier et al. (2022), seguimos as etapas descritas nos parágrafos que seguem.

Primeiro, acumulamos dados diários em períodos contíguos de 3, 5, 7 e 14 dias. A entrada para este procedimento é a série de grades de precipitação de 1 dia, fornecidas por Xavier et al. (2022), e a saída são quatro novos conjuntos da série de precipitação acumulada em sequências de 3 dias, 5 dias, 7 dias e 14 dias, que também são armazenados como dados em grade.

Em seguida, aplicamos um método descrito por Wongchuig-Correa et al. (2019) para identificar os principais eventos de precipitação e calcular a área afetada e a quantidade de precipitação. O método Wongchuig-Correa et al. (2019) é semelhante ao método Point-Tracking descrito por Song et al. (2014).

O método foi implementado em linguagem M (proprietária do MATLAB) e se baseia no rastreamento espacial de pixels/pontos de precipitação vizinhos a um núcleo inicial de alta precipitação, de forma gradualmente decrescente (em valor de precipitação) considerando a célula com maior precipitação nas proximidades de um núcleo de precipitação. A partir da definição de um núcleo inicial de alta precipitação, novos pixels de precipitação são incluídos um a um, sempre identificando o pixel com maior valor de precipitação vizinho ao núcleo (considerando pixels laterais e diagonais), conforme mostrado na Figura 3. Para cada novo pixel incluído, são calculados os valores da área afetada pela chuva e a precipitação média dentro dessa área.

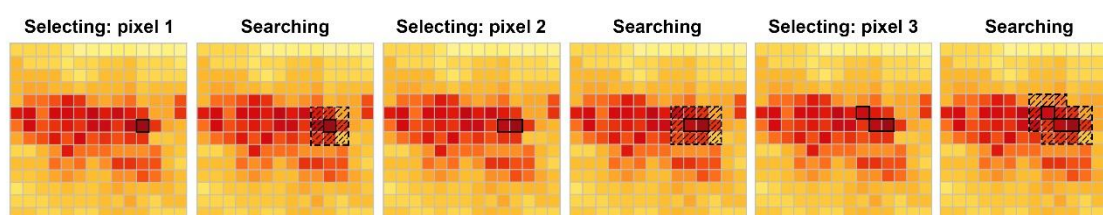


Figura 3: Demonstração conceitual do método Point-Tracking para obter uma curva Depth-Area a partir de dados de precipitação em grade. Bordas pretas sólidas mostram os pixels selecionados. Limites pretos pontilhados com áreas sombreadas identificam regiões de busca por novos pixels com os seguintes valores máximos.

O processo foi repetido para todos os dias e para os quatro conjuntos de dados de chuva acumulada nas durações de 3, 5, 7 e 14 dias. No final do processo, são

selecionados os maiores eventos de precipitação em cada área afetada e em cada duração.

Teoricamente, este procedimento baseado em pixel por pixel deve dar os mesmos resultados que o procedimento baseado em isoietas, descrito antes. Comparamos os dois procedimentos em alguns casos de teste e as diferenças foram muito pequenas, sugerindo que o método de Wongchuig-Correa et al. (2019) não difere do procedimento baseado em isoietas usual.

## 4 Resultados da Análise DAD

### 4.1 DAD de precipitação em grade de 1961 a 2022

Nesta seção, investigamos os eventos de chuva em larga escala mais intensos, de diferentes tamanhos e durações, que aconteceram na região ao sul de 10° Sul no Brasil de 1961 a 2022, usando o método de Wongchuig-Correa et al. (2019). Os eventos extremos de chuva identificados a partir dos dados de precipitação em grade organizados por Xavier et al. (2022) estão listados nas tabelas a seguir (3 dias – tabela 2; 5 dias – tabela 3; 7 dias – tabela 4; 14 dias – tabela 5).

Cada linha se refere à quantidade máxima de chuva encontrada em áreas afetadas contíguas que variam de 2.000 km<sup>2</sup> a 200.000 km<sup>2</sup>, juntamente com algumas informações sobre a região afetada e o dia médio do evento de chuva. Por exemplo, a primeira linha da tabela 2 informa como 382 mm a precipitação máxima de 3 dias com média de 2000 km<sup>2</sup>, e aconteceu em 2014, de 07 a 09 de junho, em uma região que fica parcialmente nos estados do Paraná e Santa Catarina, e está centrada perto do ponto 52 W e 26 S.

Dois eventos de chuvas intensas se destacam no período de 3 dias, como pode ser visto na tabela 2 e nas figuras 4a e 4b. O evento de chuva de junho de 2014 é o evento mais intenso de 2000 a 100.000 km<sup>2</sup>, enquanto o de maio de 1992 é o evento mais intenso na escala espacial maior (150.000 e 200.000 km<sup>2</sup>).

O evento de chuva de 3 dias que ocorreu em junho de 2014, e afetou uma região que se estende do sul do Paraná ao norte de Santa Catarina, em uma região que coincide amplamente com a bacia do Rio Iguaçu, conforme mostrado na figura 4a. A intensidade extraordinária deste evento de chuva pode ser comprovada porque resultou em um dos maiores valores de pico de vazão já observados ao longo do Rio Iguaçu e vários de seus tributários (Borges 2020; Breda 2015; Steffen e Gomes 2023).

O maior evento de chuva de 3 dias em uma escala espacial de 150.000 a 200.000 km<sup>2</sup> ocorreu em maio de 1992 em uma região que se estende do norte do Rio Grande do Sul ao sul do Paraná, conforme mostrado na figura 4b. Este evento também resultou em inundações significativas no Rio Iguaçu (Borges 2020; Steffen e Gomes 2023) e vários afluentes do Rio Uruguai, como o Rio Ijuí no RS, onde permanece como o recorde histórico de vazão máxima (Chevallier e Dhein, 1993).

Os maiores eventos de precipitação de 5 dias identificados no banco de dados de precipitação em grade são mostrados na Tabela 3. A maior precipitação de 5 dias em uma escala espacial de 2000 km<sup>2</sup> atingiu 497 mm. Este evento extremo de precipitação ocorreu entre outubro e novembro de 2009 e atingiu as partes central e norte de Minas Gerais e, especialmente, o Espírito Santo, conforme mostrado na figura 4c. Na faixa espacial de 5000 a 200.000 km<sup>2</sup>, o evento de precipitação de 5 dias mais intenso ocorreu no Sul do Brasil, em junho de 1983, conforme mostrado na figura 4d.

As chuvas de 2009 no Espírito Santo, em outubro e novembro (figura 4c), resultaram em um dos desastres de inundação mais importantes do estado do Espírito Santo (Espírito Santo, 2010).

Tabela 2. Maiores valores de precipitação pluviométrica em 3 dias no Brasil identificados nos dados de Xavier et al. (2022) na região ao sul do paralelo 10° Sul, de 1961 a 2022.

Área (km <sup>2</sup> )	Chuva acumulada em 3 dias (mm)	Data média da duração da chuva	Latitude	Longitude	Região
2.000	382	08/06/2014	-26,0	-52,0	PR, SC
5.000	359	08/06/2014	-26,0	-52,0	PR, SC
10.000	349	08/06/2014	-26,0	-52,0	PR, SC
25.000	322	08/06/2014	-26,0	-52,0	PR, SC
50.000	293	08/06/2014	-26,0	-52,0	PR, SC
70.000	269	08/06/2014	-26,0	-52,0	PR, SC
100.000	243	07/06/2014	-26,0	-52,0	PR, SC
150.000	219	28/05/1992	-27,0	-52,0	PR, SC, RS
200.000	200	28/05/1992	-27,0	-52,0	PR, SC, RS

Os eventos de chuvas em larga escala de 1983 e as inundações relacionadas foram discutidos por Fleischmann et al. (2020) e, mais de 40 anos depois, ainda estão entre as inundações recordes em várias bacias hidrográficas no sul do Brasil,

incluindo o rio Iguaçu (Borges 2020; Steffen e Gomes 2023), o rio Uruguai (Mattiuzi et al., 2023a) e o rio Itajaí-Açu em Santa Catarina (Frank e Pinheiro, 2003).

Ressaltamos que a maioria dos eventos de chuvas mais intensos de 3 e 5 dias, mostrados na figura 4, ocorreram na Região Sul do Brasil e durante os meses de outono e inverno, quando esta região está sujeita a chuvas causadas por sistemas frontais.

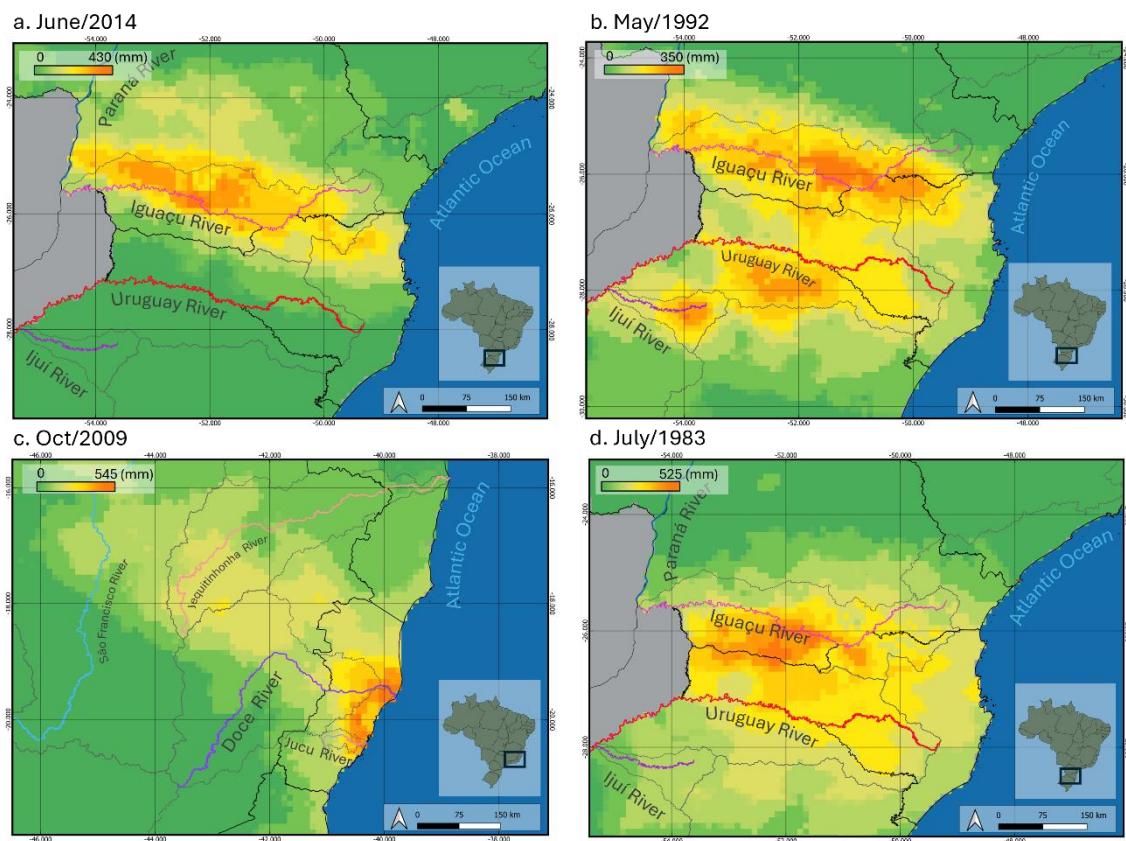


Figura 4: Maiores eventos de precipitação acumulada em 3 e 5 dias no Brasil, de 1960 a 2022 - a) junho de 2014 (maior precipitação de 3 dias no intervalo de 2000 a 100.000 km<sup>2</sup>); b) maio de 1992 (maior precipitação de 3 dias no intervalo de 150.000 a 200.000 km<sup>2</sup>); c) outubro de 2009 (maior precipitação de 5 dias em 2000 km<sup>2</sup>); d) julho de 1983 (maior precipitação de 5 dias no intervalo de 5000 a 200.000 km<sup>2</sup>).

Os maiores eventos de precipitação de 7 dias mostrados na tabela 4 são coincidentes em tempo e local com os eventos de 5 dias. Apenas os valores totais são maiores. Portanto, a localização desses eventos é a mesma mostrada nas figuras 4c e 4d.

Tabela 3. Maiores valores de precipitação pluviométrica em 5 dias no Brasil identificados nos dados de Xavier et al. (2022) na região ao sul do paralelo 10° Sul, de 1961 a 2022.

Área (km <sup>2</sup> )	Chuva acumulada em 5 dias (mm)	Data média da duração da chuva	Latitude	Longitude	Região
2.000	497	30/10/2009	-19,6	-40,3	ES
5.000	475	08/07/1983	-27,0	-52,0	PR, SC, RS
10.000	454	08/07/1983	-27,0	-52,0	PR, SC, RS
25.000	411	08/07/1983	-27,0	-52,0	PR, SC, RS
50.000	369	08/07/1983	-27,0	-52,0	PR, SC, RS
70.000	348	08/07/1983	-27,0	-52,0	PR, SC, RS
100.000	324	08/07/1983	-27,0	-52,0	PR, SC, RS
150.000	294	08/07/1983	-27,0	-52,0	PR, SC, RS
200.000	269	08/07/1983	-27,0	-52,0	PR, SC, RS

Tabela 4. Maiores valores de precipitação pluviométrica em 7 dias no Brasil identificados nos dados de Xavier et al. (2022) na região ao sul do paralelo 10° Sul, de 1961 a 2022.

Área (km <sup>2</sup> )	Chuva acumulada em 7 dias (mm)	Data média da duração da chuva	Latitude	Longitude	Região
2.000	573	31/10/2009	-19,6	-40,3	ES
5.000	556	09/07/1983	-26,6	-52,0	PR, SC, RS
10.000	534	09/07/1983	-26,6	-52,0	PR, SC, RS
25.000	492	09/07/1983	-26,6	-52,0	PR, SC, RS
50.000	453	09/07/1983	-26,6	-52,0	PR, SC, RS
70.000	431	09/07/1983	-26,6	-52,0	PR, SC, RS
100.000	403	09/07/1983	-26,6	-52,0	PR, SC, RS
150.000	365	09/07/1983	-26,6	-52,0	PR, SC, RS
200.000	330	09/07/1983	-26,6	-52,0	PR, SC, RS

Os maiores eventos de precipitação de 14 dias são mostrados na tabela 5. Em escalas espaciais de 2000 a 5000 km<sup>2</sup>, o evento mais intenso ocorreu em Minas Gerais, em janeiro e fevereiro de 1979, conforme mostrado na figura 5a. Em escalas espaciais de 10.000 a 25.000 km<sup>2</sup> o maior evento ocorreu sobre o Espírito Santo e Minas Gerais (figura 45), em dezembro de 2013.

Tabela 5. Maiores valores de precipitação pluviométrica em 14 dias no Brasil identificados nos dados de Xavier et al. (2022) na região ao sul do paralelo 10° Sul, de 1961 a 2022.

Área (km <sup>2</sup> )	Chuva acumulada em 14 dias (mm)	Data média da duração da chuva	Latitude	Longitude	Região
2.000	788	27/01/1979	-19,0	-44,0	MG, ES
5.000	712	27/01/1979	-19,0	-44,0	MG, ES
10.000	672	19/12/2013	-20,0	-40,7	MG, ES
25.000	605	19/12/2013	-20,0	-40,7	MG, ES
50.000	550	06/01/2022	-20,0	-45,0	MG
70.000	518	06/01/2022	-20,0	-45,0	MG
100.000	487	12/07/1983	-26,5	-52,0	PR, SC, RS
150.000	448	12/07/1983	-26,5	-52,0	PR, SC, RS
200.000	410	12/07/1983	-26,5	-52,0	PR, SC, RS

No intervalo entre 50.000 km<sup>2</sup> e 70.000 km<sup>2</sup>, a precipitação mais intensa em 14 dias ocorreu em Minas Gerais (figura 5c), e durou do final de dezembro de 2021 até meados de janeiro de 2022.

Finalmente, na escala muito grande (100.000 a 200.000 km<sup>2</sup>), o evento de julho de 1983 no sul do Brasil (figura 5d) se destaca como o mais severo.

A precipitação de 1979 em Minas Gerais e Espírito Santo (figura 5a) está relacionada com enchentes que permanecem as maiores de todo o registro de observação no rio Doce, conforme relatado por Freire e Pinto (2022) e no rio São Francisco (Lima, 2005). O evento de precipitação de 2013 (figura 5b) está ligado à segunda maior cheia no rio Doce (Coutinho e Pinto, 2014).

A precipitação pluviométrica de 2022 em Minas Gerais (figura 5c) está vinculada à máxima vazão afluente ao Reservatório de Três Marias (CEMIG, 2022).

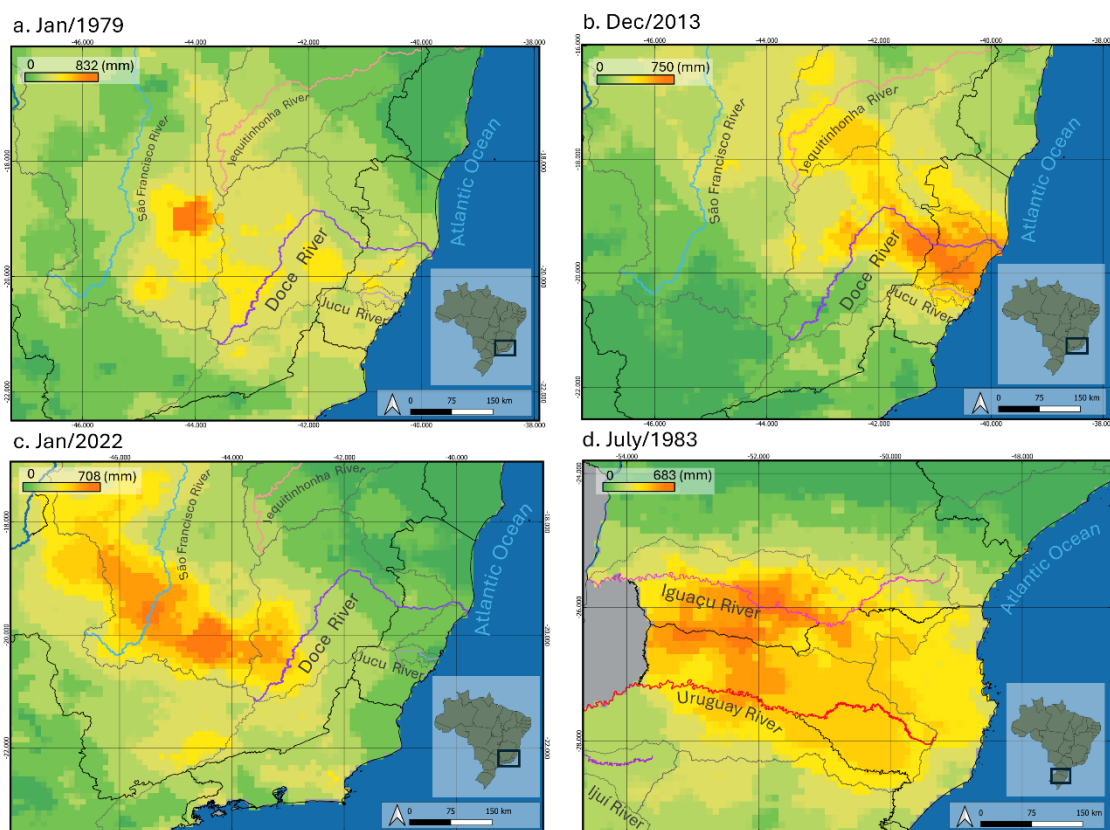


Figura 5: Maiores eventos pluviométricos de 14 dias no Brasil, de 1960 a 2022 - a) janeiro-fevereiro de 1979 (maior precipitação no intervalo de 2000 a 5000 km<sup>2</sup>); b) dezembro de 2013 (maior precipitação no intervalo de 10.000 a 25.000 km<sup>2</sup>); c) dezembro de 2021 a janeiro de 2022 (maior precipitação no intervalo de 50.000 a 70.000 km<sup>2</sup>); d) julho de 1983 (maior precipitação no intervalo de 100.000 a 200.000 km<sup>2</sup>).

O evento de chuva de 14 dias de 1983 no Sul do Brasil (figura 5d) está relacionado às enchentes relatadas por Fleischmann et al. (2020), Pinheiro e Severo (2023) e Mattiuzi et al. (2023b).

Em contraste com os resultados mostrados nas tabelas anteriores, os eventos de 14 dias dados na tabela 5 ocorreram principalmente na Região Sudeste do Brasil, durante o Verão austral. Esses eventos extremos de chuva provavelmente estão relacionados à Zona de Convergência do Atlântico Sul (Carvalho et al., 2004). O evento de julho de 1983 (inverno austral) na Região Sul só surge nesta tabela na escala espacial muito grande, de 100.000 a 200.000 km<sup>2</sup>.

## 4.2 DAD da precipitação de 2024 no Rio Grande do Sul

Os mapas e tabelas nesta seção mostram a distribuição espacial da precipitação de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul em períodos de acumulação de 3 a 14 dias. Os mapas mostram que a precipitação foi altamente concentrada sobre a bacia do Rio Guaíba, particularmente na região central da bacia. O evento de precipitação afetou especialmente as sub-bacias dos rios Jacuí e Taquari, que são os dois maiores rios da bacia.

### 4.2.1 Análise DAD da chuva de três dias

A Figura 6 mostra que, no período de três dias entre 30 de abril 00:00 e 2 de maio 00:00, a isoietas de 500 mm se estende do Rio Jacuí, no Oeste da bacia, até o centro da bacia, por um comprimento de mais de 170 km, cobrindo uma área de aproximadamente 6.800 km<sup>2</sup>. A isoietas de 300 mm cobre a maior parte da parte norte da bacia, estendendo-se por uma área de cerca de 37.000 km<sup>2</sup>.

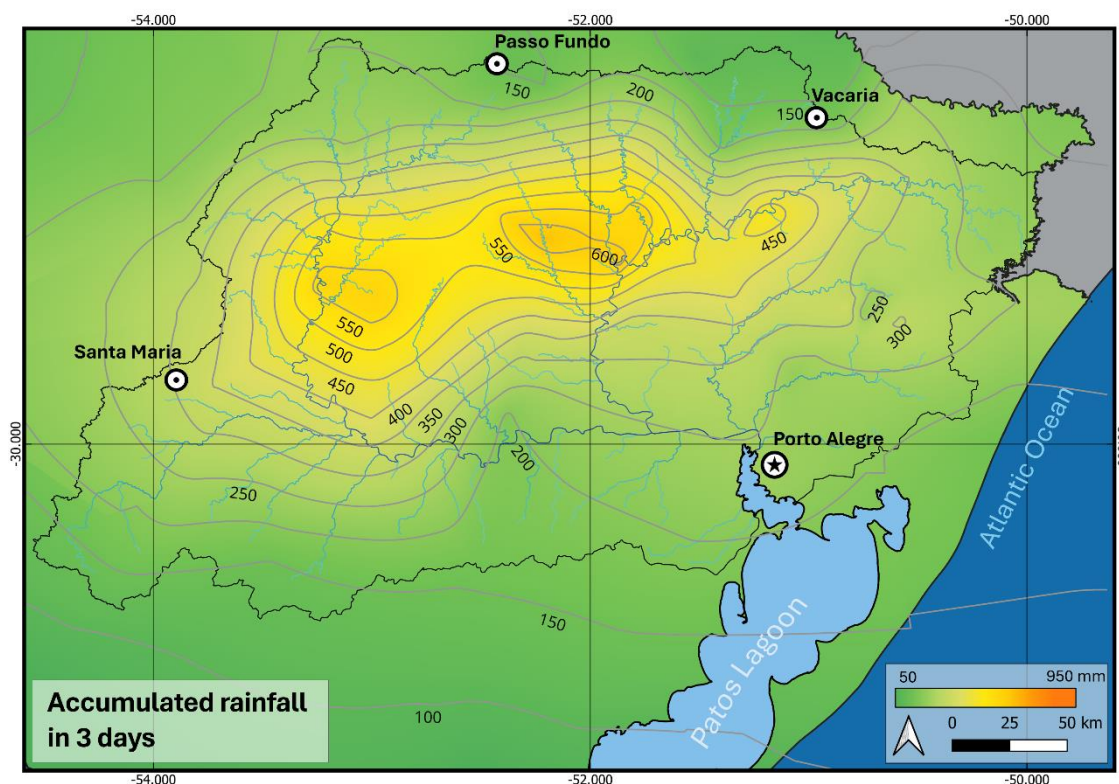


Figura 6: Precipitação acumulada em 3 dias (30 de abril a 2 de maio de 2024) sobre a bacia do rio Guaíba.

A Tabela 6 mostra a área coberta pelas isoietas no intervalo de 200 a 600 mm, considerando a precipitação de três dias de 30 de abril a 2 de maio. A isoietas de 350 mm define um polígono que se estende por mais de 26.000 km<sup>2</sup>, e a precipitação média dentro deste polígono é de 450 mm. Um gráfico da relação entre área e

precipitação média de 3 dias é apresentado na figura 10, juntamente com os resultados para as outras durações de precipitação (5, 7 e 14 dias).

Tabela 6. Relação entre área afetada e precipitação média em 3 dias (30 de abril a 2 de maio) no Rio Grande do Sul.

Isoieta (mm)	Área do polígono definido pela isoieta (km <sup>2</sup> )	Precipitação média no polígono (mm)
600	427	610
550	1.773	583
500	6.761	542
450	11.674	514
400	18.545	481
350	26.282	450
300	36.732	414
250	55.628	365
200	73.140	319

#### 4.2.2 Análise DAD da chuva de cinco dias

O mapa de precipitação no Rio Grande do Sul, no período de 5 dias, entre 28 de abril 00:00 e 2 de maio 00:00 de 2024, é mostrado na figura 7. Neste mapa, a isoieta de 500 mm se estende por 250 km e cobre uma área de quase 16.000 km<sup>2</sup>. A isoieta de 300 mm cobre uma área de aproximadamente 60.000 km<sup>2</sup>.

A tabela 7 mostra a área coberta pelas isoietas no intervalo de 250 a 700 mm, considerando a precipitação de cinco dias de 28 de abril a 2 de maio. A tabela mostra que a isoieta de 450 mm define um polígono de 22.231 km<sup>2</sup> e a precipitação média dentro deste polígono é de 552 mm. Um gráfico da relação entre área e precipitação média de 5 dias é apresentado na figura 10, juntamente com resultados para as outras durações de precipitação (3, 7 e 14 dias).

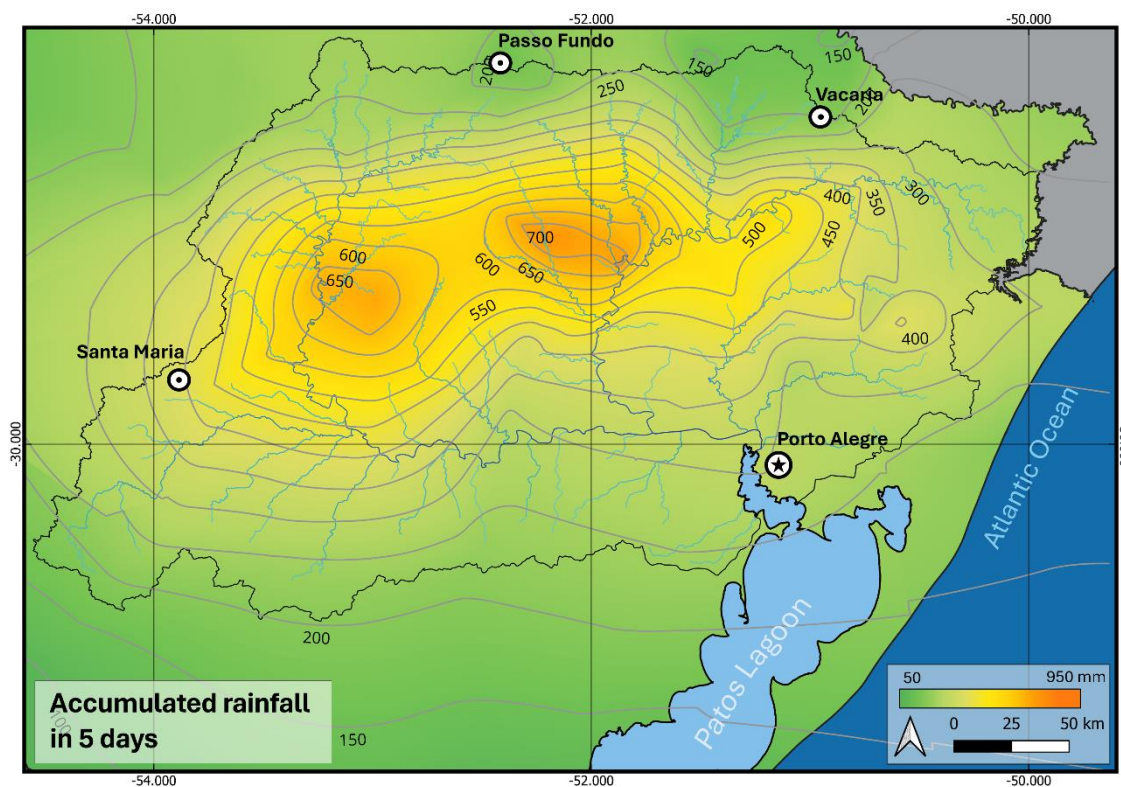


Figura 7: Precipitação acumulada em 5 dias (28 de abril a 2 de maio de 2024) sobre a bacia do rio Guaíba.

Tabela 7. Relação entre área afetada e precipitação média em 5 dias (28 de abril a 2 de maio) no Rio Grande do Sul.

Isoieta (mm)	Área do polígono definido pela isoieta (km <sup>2</sup> )	Precipitação média no polígono (mm)
700	525	715
650	1.485	689
600	2.872	658
550	10.470	615
500	15.822	584
450	22.231	552
400	30.669	517
350	42.426	477
300	60.195	432
250	91.379	378

#### 4.2.3 Análise DAD da chuva de sete dias

A Figura 8 mostra o mapa de precipitação, correspondente à precipitação acumulada nos sete dias de 28 de abril 00:00 a 4 de maio 00:00. Pode-se observar

que a precipitação acumulada excedeu 800 em uma pequena parte da região. A isoietas de 500 mm se estende por quase 280 km na direção leste-oeste e cobre uma área de mais de 22.000 km<sup>2</sup>.

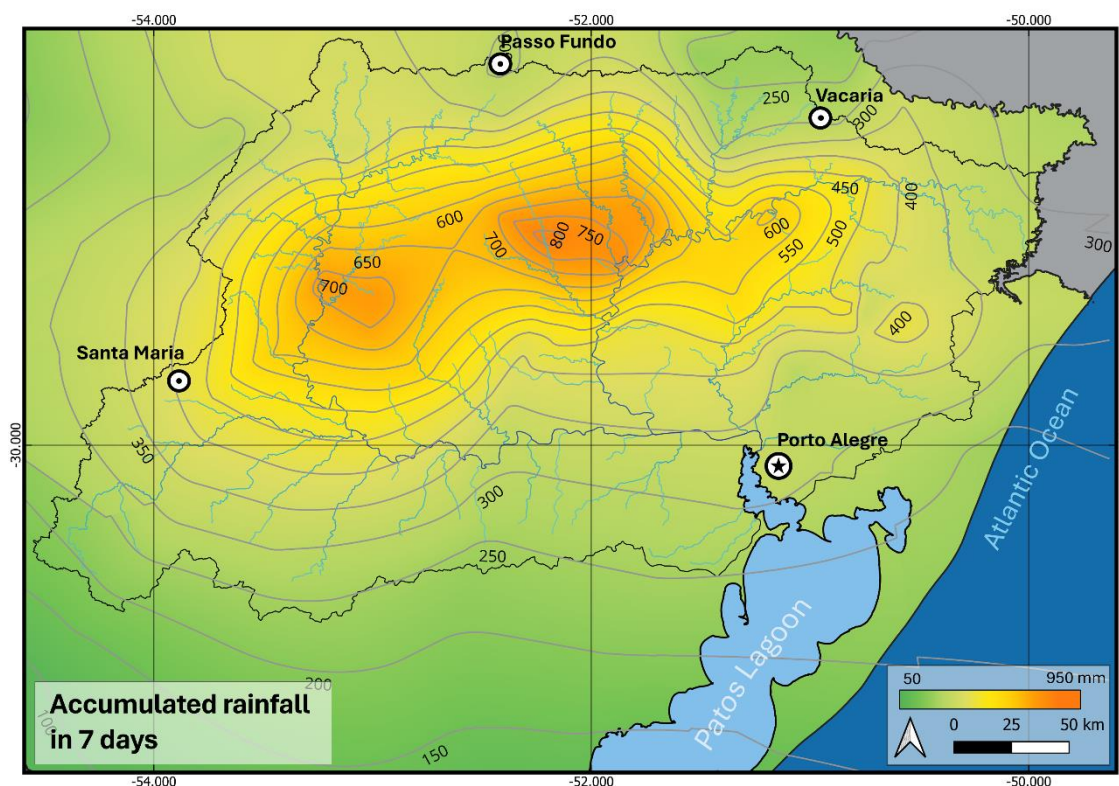


Figura 8: Precipitação acumulada em 7 dias (28 de abril a 4 de maio de 2024) sobre a bacia do rio Guaíba.

A Tabela 8 mostra a área coberta pelas isoietas de precipitação acumulada de sete dias no intervalo de 300 a 750 mm, considerando a precipitação de sete dias de 28 de abril a 4 de maio. A tabela mostra que a isoietas de 300 mm define um polígono de 97.767 km<sup>2</sup>, e a precipitação média dentro deste polígono é de 416 mm. Um gráfico da relação entre área e precipitação média de sete dias é apresentado na figura 10, juntamente com os resultados para as outras durações de precipitação (3, 5 e 14 dias).

Tabela 8. Relação entre área afetada e precipitação média ao longo de 7 dias (28 de abril a 4 de maio) no Rio Grande do Sul.

Isoieta (mm)	Área do polígono definido pela isoieta (km <sup>2</sup> )	Precipitação média no polígono (mm)
750	850	772
700	2.100	744
650	6.287	700
600	10.800	669
550	16.279	637
500	22.276	607
450	29.595	574
400	39.623	536
350	61.227	478
300	97.767	416

#### 4.2.4 Análise DAD da chuva de quatorze dias

A Figura 9 mostra que, no período de 14 dias entre 29 de abril e 12 de maio, a precipitação mais intensa ocorreu sobre a parte norte da bacia do rio Guaíba. A isoieta de 500 mm se estende de leste a oeste por aproximadamente 390 km e cobre mais de 56.000 km<sup>2</sup>.

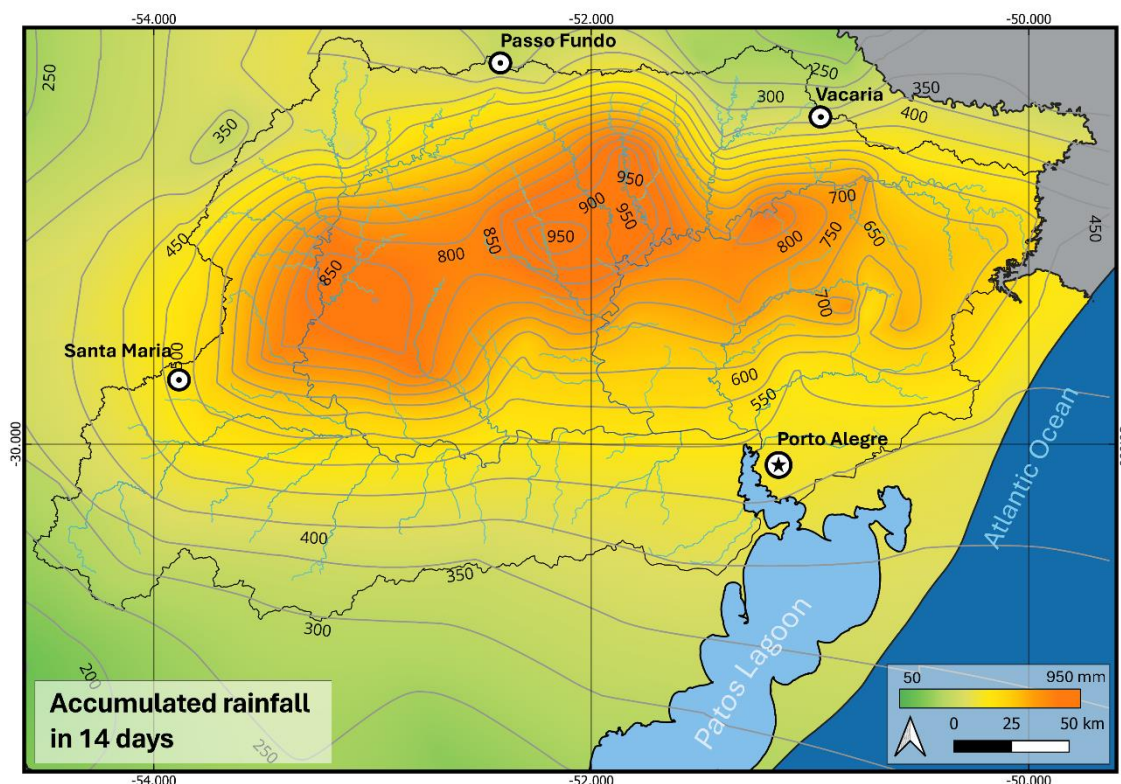


Figura 9: Precipitação acumulada em 14 dias (29 de abril a 12 de maio de 2024) sobre a bacia do rio Guaíba

A Tabela 9 mostra a área coberta pelas isoietas de precipitação acumulada de quatorze dias no intervalo de 400 a 900 mm, considerando a precipitação de 29 de abril a 12 de maio. A tabela mostra que a isoietas de 650 mm define um polígono de 27.253 km<sup>2</sup>, e a precipitação média dentro deste polígono é de 774 mm. Um gráfico da relação entre área e precipitação média de quatorze dias é apresentado na figura 10, juntamente com os resultados para as outras durações de precipitação (3, 5 e 7 dias).

Tabela 9. Relação entre área afetada e precipitação média ao longo de 14 dias (29 de abril a 12 de maio) no Rio Grande do Sul.

Isoieta (mm)	Área do polígono definido pela isoietas (km <sup>2</sup> )	Precipitação média no polígono (mm)
900	2.195	932
850	3.463	911
800	9.636	863
750	15.608	830
700	21.072	803
650	27.253	774
600	35.475	739
550	44.830	705
500	56.261	668
400	92.983	576

#### 4.2.5 Resumo das curvas DAD da chuva de abril e maio de 2024

Os valores de precipitação e área das tabelas anteriores, relativas ao evento de chuva intensa ocorrida no RS, entre abril e maio de 2024, estão resumidos pelo gráfico mostrado na figura 10.

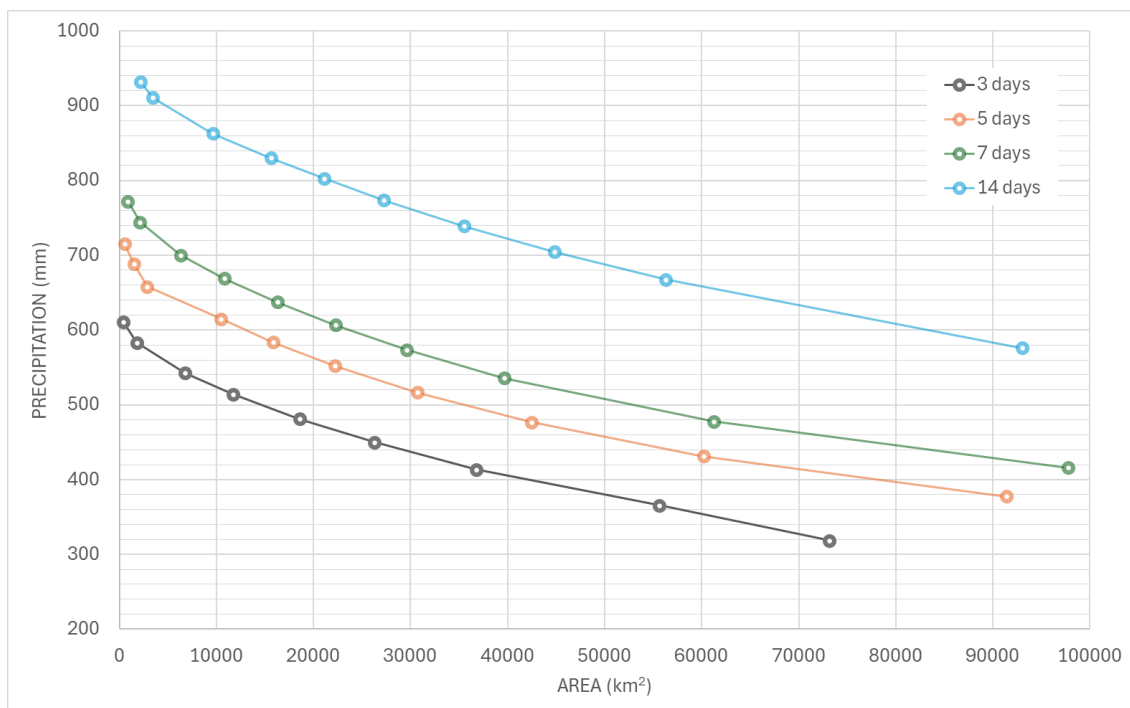


Figura 10: Curvas DAD obtidas para as durações de 3, 5, 7 e 14 dias da precipitação extrema de abril-maio de 2024 no Rio Grande do Sul.

Para uma área de 50.000 km<sup>2</sup>, as curvas mostradas na figura 10 mostram valores de 380 mm (3 dias) e 460 mm (5 dias). O valor correspondente para uma duração de 4 dias, que não foi calculado, seria de aproximadamente 420 mm. Em comparação com os 30 maiores eventos de 4 dias identificados por Kunkel e Champion (2019) nos EUA, para uma área de 50.000 km<sup>2</sup>, o evento de chuva de abril a maio de 2024 no Rio Grande do Sul ficaria atrás apenas da precipitação observada durante o furacão Harvey sobre o Texas, em 2017.

### 4.3 Comparação entre a chuva do RS em 2024 e os maiores eventos observados no Brasil

Nesta seção, comparamos as curvas DAD obtidas a partir da análise do evento de precipitação extrema que ocorreu no Rio Grande do Sul em abril a maio de 2024 com a envoltória máxima das curvas DAD mais extremas no Brasil, de 1961 a 2022, obtidas a partir da análise do conjunto de dados de Xavier et al.

A Figura 11 mostra a comparação para os eventos de precipitação com duração de três dias. Esta figura foi preparada com dados das tabelas 2 e 6. Ela mostra que os valores de precipitação em 3 dias sequenciais observados durante o evento extremo de abril a maio de 2024 no Rio Grande do Sul são clara e consistentemente

maiores do que aqueles da envoltória máxima obtida a partir dos dados históricos. Este resultado sugere que o evento de 2024 no Rio Grande do Sul foi o evento de precipitação de três dias mais intenso já observado no Brasil, nas escalas espaciais que variam de 2.000 km<sup>2</sup> a quase 80.000 km<sup>2</sup>, pelo menos no período de 1961 a 2022, e ao sul do paralelo 10 graus Sul.

Para uma área de 10.000 km<sup>2</sup>, por exemplo, o evento de 3 dias mais intenso identificado nos dados históricos é de 349 mm (ver tabela 2), enquanto durante o evento de abril a maio de 2024 no Rio Grande do Sul uma área de aproximadamente o mesmo tamanho recebeu 514 mm (ver tabela 6). Isso significa que o evento de 2024 no Rio Grande do Sul foi 47% mais intenso nessa escala espacial e temporal do que o evento de precipitação mais intenso observado anteriormente no Brasil, pelo menos depois de 1961 e ao sul de 10o S.

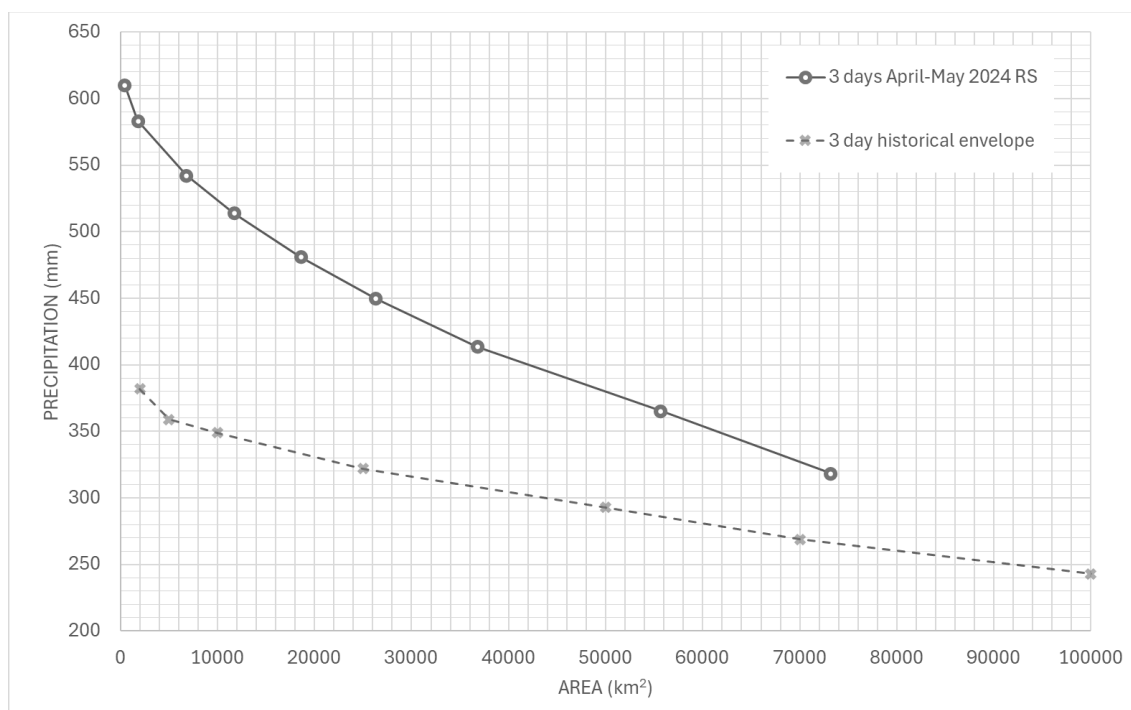


Figura 11: Comparação das curvas Altura-Duração da precipitação de 3 dias de abril-maio de 2024 no Rio Grande do Sul e da envoltória dos maiores eventos de precipitação de 3 dias do conjunto de dados de Xavier et al. (2022).

A Figura 12 mostra resultados semelhantes para os eventos de precipitação de cinco dias de duração. Esta figura foi preparada com dados das tabelas 3 e 7.

Este resultado sugere que o evento de 2024 no Rio Grande do Sul foi o evento de precipitação de cinco dias mais intenso já observado no Brasil, nas escalas espaciais que variam de 2.000 km<sup>2</sup> a 90.000 km<sup>2</sup>, pelo menos no período desde 1960 e ao sul de 10 graus Sul.

Para uma área de cerca de 30.000 km<sup>2</sup>, por exemplo, o valor que pode ser lido na curva que representa o evento de abril-maio de 2024 é 517 mm (ver tabela 7), enquanto a curva para dados históricos na figura 12 mostra um valor de cerca de 400 mm. Isso significa que o evento de 2024 no Rio Grande do Sul foi 29% mais intenso em cinco dias e 30.000 km<sup>2</sup> do que o evento de precipitação mais intenso observado anteriormente no Brasil, pelo menos depois de 1961 e ao sul de 10o S.

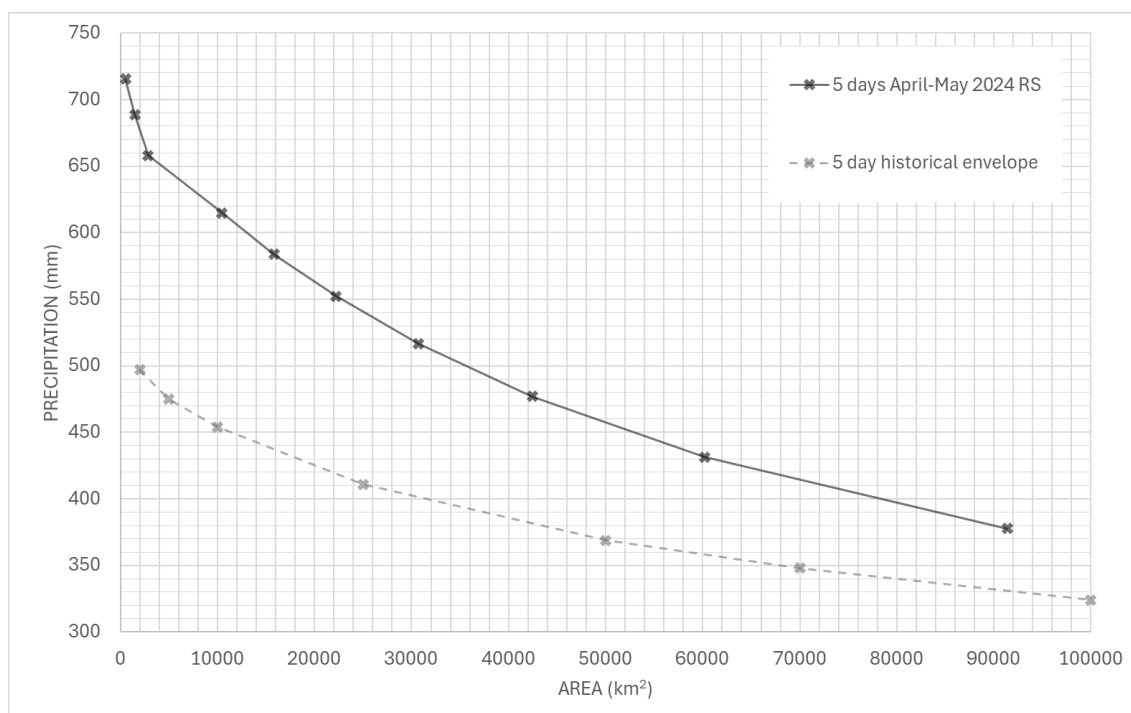


Figura 12: Comparação das curvas Altura-Duração da precipitação de 5 dias de abril-maio de 2024 no Rio Grande do Sul e da envoltória dos maiores eventos de precipitação de 5 dias do conjunto de dados de Xavier et al. (2022).

A Figura 13 mostra resultados semelhantes para os eventos de precipitação de sete dias de duração. Esta figura foi preparada com dados das tabelas 4 e 8, e sugere que o evento de 2024 no Rio Grande do Sul foi o evento de precipitação de sete dias mais intenso já observado no Brasil, nas escalas espaciais que variam de 2.000 km<sup>2</sup> a 100.000 km<sup>2</sup>, pelo menos no período desde 1960 e ao sul de 10 graus Sul.

Para uma área de cerca de 10.000 km<sup>2</sup>, por exemplo, o valor que pode ser lido na curva que representa o evento de abril-maio de 2024 é 669 mm (ver tabela 8), enquanto a curva envoltória dos dados históricos na figura 13 mostra um valor de 534 mm (ver tabela 4). Isso significa que o evento de 2024 no Rio Grande do Sul foi 25% mais intenso em sete dias e 10.000 km<sup>2</sup> do que o evento de precipitação mais

intenso observado anteriormente no Brasil, pelo menos depois de 1961 e ao sul de 10o S.

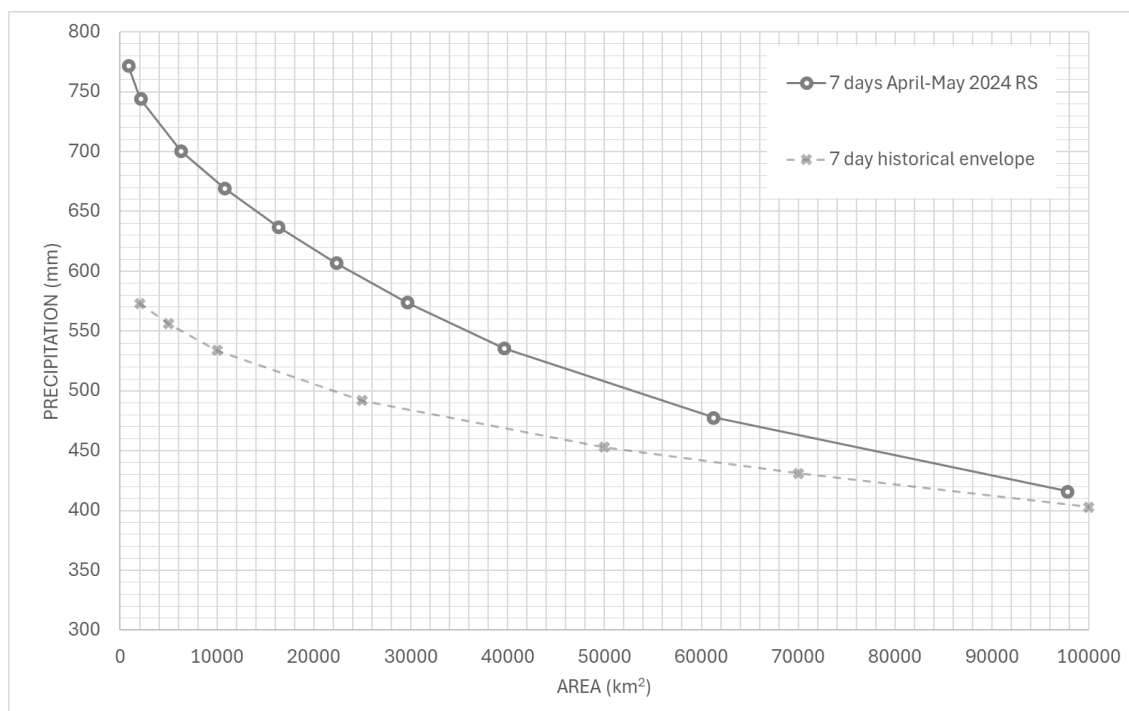


Figura 13: Comparação das curvas Altura-Duração da precipitação de 7 dias de abril-maio de 2024 no Rio Grande do Sul e da envoltória dos maiores eventos de precipitação de 7 dias do conjunto de dados de Xavier et al. (2022).

A Figura 14 mostra resultados semelhantes para os eventos de precipitação de quatorze dias de duração. Esta figura foi preparada com dados das tabelas 5 e 9, e sugere que o evento de 2024 no Rio Grande do Sul foi o evento de precipitação de quatorze dias mais intenso já observado no Brasil, nas escalas espaciais que variam de 2.000 km<sup>2</sup> a 100.000 km<sup>2</sup>, pelo menos no período desde 1961 e ao sul de 10 graus Sul.

Para uma área de cerca de 90.000 km<sup>2</sup>, por exemplo, o valor que pode ser lido na curva que representa o evento de abril a maio de 2024 é de cerca de 580 mm, enquanto a curva para dados históricos na figura 14 mostra um valor de 500 mm. Isso significa que o evento de 2024 no Rio Grande do Sul foi 16% mais intenso em quatorze dias e 90.000 km<sup>2</sup> do que o evento de precipitação mais intenso observado anteriormente no Brasil, pelo menos depois de 1961 e ao sul de 10o S.

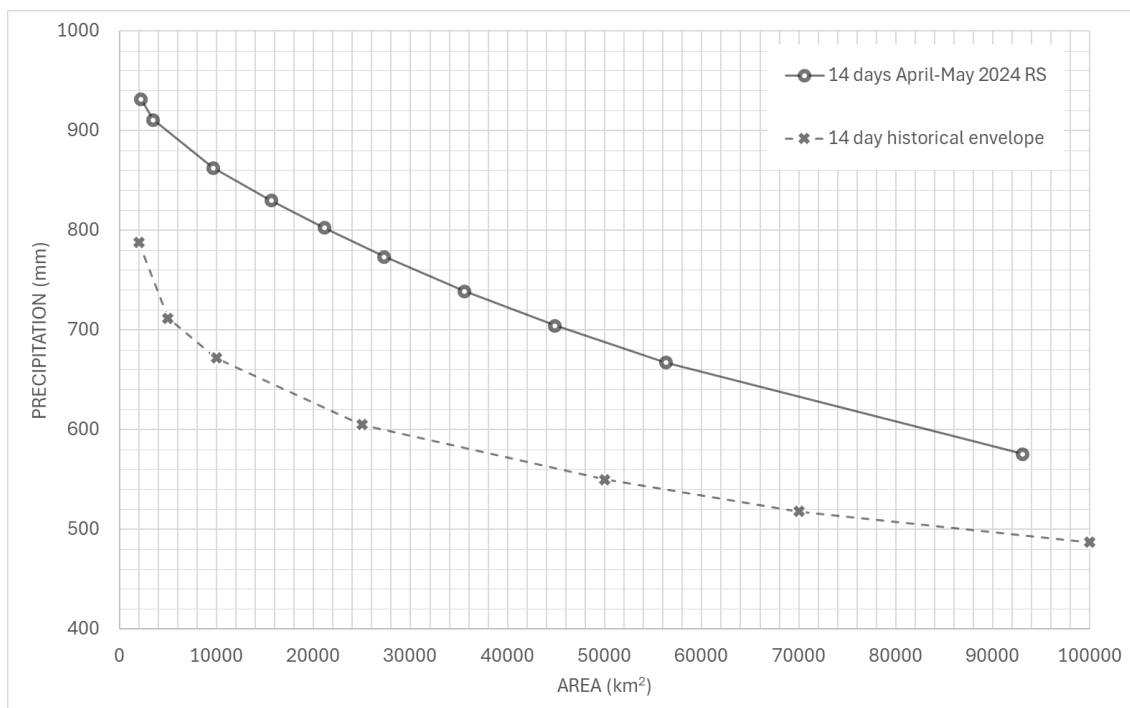


Figura 14: Comparação das curvas Altura-Duração da precipitação de 14 dias de abril-maio de 2024 no Rio Grande do Sul e da envoltória dos maiores eventos de precipitação de 14 dias do conjunto de dados de Xavier et al. (2022).

## 5 Limitações da análise

É importante mencionar que os resultados aqui apresentados podem ser parcialmente influenciados por limitações de métodos e dados.

Primeiramente, é importante destacar que os valores de precipitação observados estão sujeitos a incertezas e erros de medição (Pinheiro et al., 2014). A análise da precipitação intensa em abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul foi baseada apenas em pluviômetros automáticos, enquanto o banco de dados de Xavier (2022) foi preparado usando principalmente pluviômetros convencionais de leitura manual. No entanto, acreditamos que essa diferença não altera as principais conclusões, considerando que um estudo experimental realizado por Braga e Fernandes (2007) mostrou que pluviômetros de balança automática tendem a subestimar a precipitação quando sua intensidade é muito alta. Isso significa que os pluviômetros automáticos não tendem a medir chuva a mais do que os pluviômetros convencionais.

Incertezas nas estimativas de precipitação em grandes áreas também podem estar relacionadas ao método adotado para interpolar os dados de precipitação observados. Na análise do evento pluviométrico de 2024 no RS, foi utilizado o

método de interpolação Vizinho Natural, em uma grade de resolução espacial de 90 x 90 metros. Os dados de Xavier et al. (2022) foram obtidos em uma grade de 0,1 x 0,1 grau, e a interpolação foi realizada pelo método de ponderação da distância angular. A influência desse fator (método de interpolação) foi verificada em alguns testes preliminares, não relatados aqui, nos quais dados de pluviômetros convencionais do Hidroweb da ANA foram interpolados pelo método Vizinho Natural, obtendo valores médios em grandes áreas muito próximos aos obtidos diretamente do processamento do banco de dados por Xavier et al. (2022).

Por fim, uma fonte adicional de incerteza que deve ser destacada é a metodologia adotada para gerar as curvas profundidade versus área. No caso do evento de 2024 no RS, foi adotada a metodologia das isoietas, conforme descrito no item 2.4. Nos demais eventos históricos observados no Brasil, foi adotada a metodologia Point-Tracking, descrita no item 2.5. Embora os dois métodos sejam diferentes do ponto de vista operacional, do ponto de vista teórico não há razão para que os resultados sejam significativamente diferentes.

Portanto, concluímos que as incertezas nos dados e métodos não são grandes o suficiente para afetar as principais conclusões do estudo.

## 6 Discussão e conclusões

Analisamos as quantidades de chuva durante o evento de precipitação que durou do final de abril a meados de maio de 2024 no estado do Rio Grande do Sul e causou inundações recordes em vários rios da região e as comparamos com outros eventos de chuva intensa no Brasil.

Nossa análise de eventos históricos de chuvas extremas em grandes áreas e abrangendo vários dias identificou com precisão eventos que estão associados a inundações recordes em vários rios no Brasil. A análise de eventos históricos extremos também mostra que os eventos de chuva mais extremos, em grande escala espacial, e com duração de três a sete dias, ocorreram no sul do Brasil, durante o inverno ou outono austral. Para durações mais longas de chuva, os eventos mais extremos ocorreram no sudeste do Brasil durante o verão austral, pelo menos em escalas espaciais menores do que 100.000 km<sup>2</sup>.

A análise do evento de chuva de 2024 no Rio Grande do Sul mostrou que a precipitação local observada em cada um dos locais de medição individuais (pluviômetros) não constitui um novo recorde, porque chuvas mais intensas já foram medidas em pluviômetros individuais em outros locais, como Pelotas em 2009 e Bertioga e São Sebastião em 2023.

No entanto, quando analisada em uma grande região, com área entre 2.000 km<sup>2</sup> e 100.000 km<sup>2</sup>, e em períodos de acumulação mais longos (3 a 14 dias), a conclusão muda.

A conclusão é que a precipitação observada no Rio Grande do Sul que causou as enchentes e deslizamentos de abril e maio de 2024 é, provavelmente, a precipitação mais intensa já observada no Brasil, considerando áreas afetadas de 2.000 a 100.000 km<sup>2</sup> e períodos de 3 a 14 dias.

Esta conclusão foi obtida comparando os resultados da análise DAD do evento de 2024 com a curva DAD do envelope obtida a partir de dados de precipitação em grade de 1961 a 2022, do Brasil ao sul de 10 graus Sul. A precipitação durante este evento excedeu os recordes históricos em até 47% para duração de 3 dias em 10.000 km<sup>2</sup>.

Além disso, as isoietas mostram que o evento extraordinário de abril/maio de 2024 se concentrou quase exclusivamente na Bacia do Rio Guaíba. O evento de chuva e as dimensões da Bacia do Guaíba correspondem de forma impressionante. Se a água da chuva fosse compartilhada entre diferentes bacias hidrográficas, o impacto teria sido reduzido. A combinação de sua intensidade e posição explica a natureza excepcional deste evento catastrófico.

A magnitude do evento de chuva que ocorreu no Rio Grande do Sul entre abril e maio de 2024 deve ser considerada como um alerta de que eventos extremos hipotéticos considerados no projeto de grandes obras de infraestrutura podem estar subestimados, pelo menos no Sul do Brasil. Avaliações preliminares, não mostradas aqui, sugerem que o evento de chuva de 2024 no Rio Grande do Sul excedeu amplamente as estimativas de Precipitação Máxima Provável que foram consideradas durante o projeto de algumas barragens na região (Engevix, 2001a; Engevix, 2001b; Carvalho, 2000).

Se considerarmos que a precipitação de abril a maio de 2024 ocorrida no Rio Grande do Sul não foi influenciada por características locais, como o relevo, então devemos reconhecer que eventos de precipitação semelhantes em termos de intensidade, duração e extensão espacial tem possibilidade de ocorrer em qualquer parte da região sul do Brasil, incluindo, pelo menos, os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Isso significa que pode ser necessário rever o projeto original e a operação de estruturas hidráulicas relevantes em toda a região sul do país.

## Referências

- Afzali-Gorouh, Z., Bakhtiari, B., & Qaderi, K. (2018). Probable maximum precipitation estimation in a humid climate. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(11), 3109-3119.
- Almeida, I. R. D. A., Steinmetz, S.; Reisser Jr, C., & Alba, J. M. F. (2009). Eventos chuvosos extremos: monitoramento de recorde pluviométrico no município de Pelotas-RS. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. Mudanças climáticas, recursos hídricos e energia para uma agricultura sustentável. Belo Horizonte: SBA: UFV: Embrapa Milho e Sorgo.
- Ávila, A., Justino, F., Wilson, A., Bromwich, D., & Amorim, M. (2016). Recent precipitation trends, flash floods and landslides in southern Brazil. *Environmental Research Letters*, 11(11), 114029.
- Blöschl, G. (2022). Three hypotheses on changing river flood hazards. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(19), 5015-5033.
- Borges, A. (2020). Caracterização espaço-temporal dos regimes pluviométricos e hidrológicos do baixo rio Iguaçu (1976-2016).
- Braga, S. M., & Fernandes, C. V. S. (2007). Performance de Sensores de Precipitação do Tipo “Tipping Bucket” (Báscula)–Um Alerta para a Ocorrência de Erros. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 12(1), 197-204.
- Brêda, J. P. L., de Paiva, R. C. D., Siqueira, V. A., & Collischonn, W. 2023 Assessing climate change impact on flood discharge in South America and the influence of its main drivers. *Journal of Hydrology*, 619, 129284.
- Breda, A. 2015 Uso de modelo hidrológico ajustado com fracionamento do hidrograma na previsão da cheia de junho de 2014 em União da Vitória. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21.
- Carvalho, L. M., Jones, C., & Liebmann, B. 2004 The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, 17(1), 88-108.
- Carvalho, M. 2000 Análise regional da precipitação máxima provável no estado do Paraná. Dissertação de Mestrado. UFPR.
- CEMIG 2022 Após grande cheia verificada na bacia do Rio São Francisco, Cemig informa sobre a operação da UHE Três Marias <https://www.cemig.com.br/noticia/cemig-informa-sobre-abertura-de-comportas-em-tres->

maria/#:~:text=Na%20%C3%BAltima%20quarta%20feira%2C%2012,di%C3%A1ria%20de%207.245%20m%C2%B3%2Fs.

Chevallier, P., & Dhein, R. A. (1993). The exceptional rainfall on 26 and 27 May 1992 in the region of Ijuí (Rio Grande do Sul, Brazil). *Secheresse (France)*, 4(3).

Collischonn, W. et al. 2024a Description and analysis of the exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in South Brazil. *RBRH* (submitted).

Collischonn, W.; Ruhoff, A.; Cabeleira Filho, R.; Paiva, R.; Fan, F.; Possa, T.; Pickbrenner, K. 2024a Nota técnica - Chuva da cheia de 2024 foi mais volumosa e intensa que a da cheia de 1941 na bacia hidrográfica do Guaíba. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Serviço Geológico do Brasil, 2024.

Coutinho, M. M.; Pinto, E. J. A. 2014 Modelagem hidráulica unidimensional das zonas urbanas inundáveis em Colatina / ES. XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste.

Engevix 2001a Projeto básico das usinas do complexo energético do Rio das Antas. CERAN. Documento No. 8643/00-10-RL-0001.

Engevix 2001b Estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental da Usina Hidrelétrica Pai Querê – Relatório Final.

Espírito Santo 2010 Histórico de desastres do estado do Espírito Santo 2000-2009.

Fleischmann, A. S., Siqueira, V. A., Wongchuig-Correa, S., Collischonn, W., & Paiva, R. C. D. D. (2020). The great 1983 floods in South American large rivers: a continental hydrological modelling approach. *Hydrological Sciences Journal*, 65(8), 1358-1373.

Frank, B., & Pinheiro, A. (2003). Enchentes na bacia do Itajaí: 20 anos de experiências. EDIFURB.

Freire, P. K. C., & Pinto, E. J. D. A. (2022). Análise de frequência de vazões dos sistemas de alerta: Sistema de alerta Bacia do Rio Doce, Rio Doce, estação fluviométrica Governador Valadares, código 56850000, município atendido Governador Valadares-MG. CPRM.

Hofstra, N., Haylock, M., New, M., Jones, P., & Frei, C. (2008). Comparison of six methods for the interpolation of daily, European climate data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D21).

Kao, S. C., DeNeale, S. T., & Watson, D. B. 2019 Hurricane Harvey highlights: Need to assess the adequacy of probable maximum precipitation estimation methods. *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(4), 05019005.

- Kappel, B. (2019). Hurricane Harvey rainfall, did it exceed PMP and what are the implications. In *Sustainable and Safe Dams Around the World/Un monde de barrages durables et sécuritaires* (pp. 3157-3169). CRC Press.
- Kobiyama, M. 2023 Disaster news from Brazil – Heavy Rainfalls in February 2023. *GADRI Actions*, v.20, n.1, p.3-13, 2023.
- Kobiyama, M., Maciel, J. G. F., Ruoso, E. G., Frank, A. G., & Fagundes, M. R. 2023. Lições aprendidas com grandes desastres recentes causados por eventos hidrológicos extremos no Brasil. *REVISTA GEONORTE*, 14(46).
- Kunkel, K. E., & Champion, S. M. (2019). An assessment of rainfall from Hurricanes Harvey and Florence relative to other extremely wet storms in the United States. *Geophysical Research Letters*, 46(22), 13500-13506.
- Lima, F. A. (2005) Análise bayesiana de frequência de vazões máximas anuais com informações históricas: aplicação à bacia do rio São Francisco em São Francisco.
- Lindsay, J. B. (2016). Whitebox GAT: A case study in geomorphometric analysis. *Computers & Geosciences*, 95, 75-84.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2005). *Geographic information systems and science*. Wiley & Sons, West Sussex, UK, 17, 517.
- Marengo, J. A., Cunha, A. P., Seluchi, M. E., Camarinha, P. I., Dolif, G., Sperling, V. B., ... & Goncalves, D. (2024). Heavy rains and hydrogeological disasters on February 18th–19th, 2023, in the city of São Sebastião, São Paulo, Brazil: from meteorological causes to early warnings. *Natural Hazards*, 1-28.
- Marengo, J. A., Alcantara, E., Cunha, A. P., Seluchi, M., Nobre, C. A., Dolif, G., ... & Moraes, O. L. (2023a). Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. *Weather and Climate Extremes*, 39, 100545.
- Marengo, J. A., Seluchi, M. E., Cunha, A. P., Cuartas, L. A., Goncalves, D., Sperling, V. B., ... & Moraes, O. L. (2023b). Heavy rainfall associated with floods in southeastern Brazil in November–December 2021. *Natural Hazards*, 116(3), 3617-3644.
- Mattiuzi, C. D. P.; Matos, A. J. S.; Buffon, F. T. 2023a Inundação da bacia do rio Uruguai em 1983: estudo de caso de Uruguaiana. In: Zanandrea, F. et al. 2023 *Desastres e água: eventos históricos no Brasil*. Porto Alegre, RS : ABRHidro.
- Mattiuzi, CDP; Matos, AJS. 2023b Relatório de operação do Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do Rio Uruguai - 2023. Porto Alegre/RS, Serviço Geológico

do Brasil, Relatório Técnico, 45p. Disponível em <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24740>

- New, M., Lister, D. and Hulme, M. (2000) Representing twentieth century space-time climate variability. Part II: development of 1901–96 monthly grids of terrestrial surface climate. *Journal of Climate*, 13, 2217–2238.
- Paiva, R. C. D., Collischonn, W., Miranda, P. T., Fagundes, H.O., W., Kolling, A., Castro, L., Rossi, J., Matte, G., Laipelt, L., Alves, W., Petry, I. 2024a Cooperação em tecnologias para análises hidrológicas em escala nacional. CLIMA: Impactos de Mudanças Climáticas em Extremos de Vazão (Cheias e Estiagens) – Relatório Final. IPH-ANA-HGE-CLIMA-A3. UFRGS: IPH, [Porto Alegre]. ANA, [Brasília].
- Paiva, R.C.D., Collischonn, W., Miranda, P. T., Petry, I., Dornelles, F. Goldenfum, J., Fan, F., Ruhoff, A. e Fagundes, H. 2024b. Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: Chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil. Nota Técnica. IPH-UFRGS.
- Petry, I., Paiva, R. C. D. D., Collischonn, W., Miranda, P. T., Rossi, J. B., Fagundes, H. D. O., ... & Araujo, A. A. 2023 Change on flood discharge frequency in south America in the next decades: assessment of the CMIP6 climate projection. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (25.: 2023: Aracaju). Anais [recurso eletrônico]. Porto Alegre: ABRHidro, 2023.
- Pinheiro, A., Kaufmann, V., Leão, J. S., & Nascimento, M. (2014). Acurácia na medição da altura de precipitação em pluviômetros de Báscula. *Revista de Estudos Ambientais*, 16(1), 38-44.
- Pinheiro, A.; Severo, D. L. 2023 Enchentes e inundações na bacia do rio Itajaí, SC. In: Zanandrea, F. et al. 2023 Desastres e água: eventos históricos no Brasil. Porto Alegre, RS : ABRHidro.
- Saldanha, C. B., Collischonn, W., Marques, M. G., Steinmetz, S., Almeida, I. R. D., & Reisser Júnior, C. (2012). O evento de chuva intensa de janeiro de 2009 sobre a região de Pelotas-RS. *RBRH: Revista brasileira de recursos hídricos*. Porto Alegre, RS. Vol. 17, n. 2 (abr./jun. 2012), p. 255-265.
- Shaw, E.M.; Beven, K.J.; Chappell, N.A.; Lamb, R. 2011 *Hydrology in Practice*. Fourth Edition. Taylor and Francis / Routledge
- Silveira, A. L. L. 2020 Chuvas e vazões da grande enchente de 1941 em Porto Alegre/RS. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*, 35, 69-90.
- Silveira, A. L. L.; Dornelles, F.; Goldenfum, J. A.; Possa, T. M.; Collischonn, W.; Moraes, S. R. 2023 A histórica cheia de 1941 na bacia hidrográfica do Guaíba.

In: Zanandrea, F. et al. 2023 Desastres e água: eventos históricos no Brasil. Porto Alegre, RS : ABRHidro.

Song, M. Y., Jung, K. S., Lee, G. H., Kim, Y. S., & Shin, Y. A. (2014). DAD Analysis of Yongdam Dam Watershed Using the Cell-Based Automatic Rainfall Field Tracking Methods. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 17(3), 68-81.

Weschenfelder, A. B.; Pickbrenner, K.; Pinto, E. J. A. 2018 Atlas Pluviométrico do Brasil: Equações Intensidade-Duração-Frequência: Município Bento Gonçalves/RS . Porto Alegre: CPRM.

WMO (World Meteorological Organization). 2009. Manual for estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP). WMO-No. 1045. Geneva.

World Meteorological Organization (WMO), 1969. Manual for depth-area-duration analysis of storm precipitation. Vol. 129. Geneva:WMO, Tech. Paper No. 237, 1–31

Xavier, A. C., Scanlon, B. R., King, C. W., & Alves, A. I. (2022). New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). *International Journal of Climatology*, 42( 16), 8390– 8404. <https://doi.org/10.1002/joc.7731>

Zanandrea, F.; Kobiyama, M.; Michel, G. P.; Fleischmann, A.; Collischonn, W. 2023 Desastres e água: eventos históricos no Brasil. Porto Alegre, RS : ABRHidro.

## Contribuições dos Autores

### **Walter Collischonn**

Concebeu a ideia original; contribuiu para o desenho e implementação da pesquisa, para a análise dos resultados e para a redação do manuscrito.

### **Rafael Cabeleira Filho**

Analisou os dados e contribuiu para o manuscrito final.

### **Nicole Viegas Ramalho**

Analisou os dados e contribuiu para o manuscrito final.

### **Anderson Ruhoff**

Discutiu os resultados e contribuiu para o manuscrito final.

### **Rodrigo Paiva**

Discutiu os resultados e contribuiu para o manuscrito final.

### **Fernando Fan**

Forneceu feedback crítico e ajudou a moldar a pesquisa, a análise e o manuscrito

### **João Paulo Lyra Fialho Brêda**

Analisou os dados e contribuiu para o manuscrito final. Aprimorou o método de análise de dados de chuva em grade

### **Sly Wongchuig**

Analisou os dados e contribuiu para o manuscrito final. Desenvolveu o método de análise de dados de chuva em grade

## Conflict of interest statement

The authors have no conflicts of interest to declare. All coauthors have seen and agree with the contents of the manuscript and there is no financial interest to report.

## Material Suplementar

Dados de pluviômetros automáticos utilizados na análise da precipitação de Abril e Maio de 2024 no Rio Grande do Sul foram obtidos do CEMADEN; INMET; ANA; e SGB.

Os dados da ANA e do SGB foram obtidos no link:

<https://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx>

Dados do CEMADEN foram obtidos no link:

<https://mapainterativo.cemaden.gov.br/#>

Dados do INMET foram obtidos no link:

<https://portal.inmet.gov.br/>

Lista dos postos pluviométricos automáticos cujos dados foram utilizados na análise da precipitação de Abril e Maio de 2024 no RS.

id	Tipo	Nome	Código	Lat	Long
1	INMET	Porto Alegre Jardim Botânico	A801	-30.0536	-51.1747
2	INMET	Rio Grande	A802	-32.0789	-52.1678
3	INMET	Santa Maria	A803	-29.725	-53.7206
4	INMET	Santo Augusto	A805	-27.8544	-53.7911
5	INMET	CANGUCU	A811	-31.4033	-52.7008
6	INMET	Caçapava do Sul	A812	-30.5453	-53.4669
7	INMET	Rio Pardo	A813	-29.8722	-52.3819
8	INMET	ERECHIM	A828	-27.6578	-52.3058
9	INMET	TRAMANDAI	A834	-30.0103	-50.1358
10	INMET	JAGUARAO	A836	-32.5347	-53.3758
11	INMET	SOLEDADE	A837	-28.8592	-52.5424
12	INMET	Passo Fundo	A839	-28.2267	-52.4036
13	INMET	Bento Gonçalves	A840	-29.1646	-51.5342
14	INMET	Lagoa Vermelha	A844	-28.2224	-51.5128
15	INMET	Cruz Alta	A853	-28.6034	-53.6736
16	INMET	CANELA	A879	-29.3689	-50.8272
17	INMET	VACARIA	A880	-28.5136	-50.8828
18	INMET	Dom Pedrito	A881	-31.0025	-54.6181
19	INMET	IBIRUBA	A883	-28.6533	-53.1119
20	INMET	Campo Bom	A884	-29.6743	-51.064
21	INMET	TUPANCIRETA	A886	-29.0894	-53.8267
22	INMET	Capão do Leão	A887	-31.8025	-52.4072
23	INMET	Cambará do Sul	A897	-29.0492	-50.1497

24	INMET	Santa Vitória do Palmar	A899	-33.7422	-53.3722
25	INMET	Porto Alegre Belem Novo	B807	-30.1861	-51.1781
26	Hidro	UHE BARRA GRANDE FAXINAL PRETO	70120000	-28.4456	-49.8975
27	Hidro	UHE BARRA GRANDE PASSO DO HONORATO	70150000	-28.3944	-50.5756
28	Hidro	UHE BARRA GRANDE VACAS GORDAS	70600000	-28.02	-50.7822
29	Hidro	UHE BARRA GRANDE SOCORRO	70720000	-28.2869	-50.8333
30	Hidro	UHE MACHADINHO RIO FORQUILHA	72428000	-27.8786	-51.7542
31	Hidro	PCH JOSÉ BARASUOL MONTANTE	75050000	-28.2739	-53.6486
32	Hidro	PCH IUJIZINHO PONTE QUEIMADA	75270000	-28.7778	-53.9817
33	Hidro	PCH ERNESTINA MONTANTE	85029000	-28.4056	-52.4408
34	Hidro	PCH ERNESTINA ARROIO TRÊS PASSOS	85040000	-28.4733	-52.4047
35	Hidro	UHE PASSO REAL RIO JACUÍ-MIRIM	85180000	-28.5453	-53.1647
36	Hidro	UHE PASSO REAL BARRAMENTO	85260001	-29.0164	-53.1886
37	Hidro	UHE ITAÚBA BARRAMENTO	85365000	-29.2597	-53.2353
38	Hidro	PCH COLORADO ARROIO BONITO	85500010	-28.5272	-52.8878
39	Hidro	PCH PEZZI ARROIO PINHEIRO ALTO	86100600	-28.7575	-50.5211
40	Hidro	PCH PASSO DO MEIO MONTANTE	86101000	-28.7883	-50.5611
41	Hidro	PCH SERRA DOS CAVALINHOS I ARROIO DO GOVERNADOR	86117000	-28.79	-50.6789
42	Hidro	PCH SERRA DOS CAVALINHOS II JUSANTE	86163000	-28.7869	-50.7447
43	Hidro	PCH CAZUZA FERREIRA BARRAMENTO	86195000	-29.0206	-50.7314
44	Hidro	UHE CASTRO ALVES RS-122	86298000	-28.9414	-51.1892
45	Hidro	UHE CASTRO ALVES ALÇA	86306000	-29.0133	-51.3675
46	Hidro	UHE CASTRO ALVES TEGA	86321000	-29.0633	-51.3236
47	Hidro	PCH SANTA CAROLINA JUSANTE	86406000	-28.6189	-51.4011
48	Hidro	PCH CAÇADOR MONTANTE	86488000	-28.6847	-51.8506
49	Hidro	PCH LINHA EMILIA JUSANTE	86505500	-28.9414	-51.7694
50	Hidro	PCH COTIPORÁ JUSANTE	86507000	-28.9722	-51.7558
51	Hidro	PCH CAPIGUI BARRAMENTO	86520000	-28.3511	-52.2147
52	Hidro	PCH RASTRO DE AUTO BARRAMENTO	86743800	-29.0533	-52.2194
53	Hidro	UHE BUGRES BARRAMENTO DIVISA	87070000	-29.2994	-50.5697

54	Hidro	UHE BUGRES BARRAMENTO SALTO	87100000	-29.3153	-50.6806
55	Hidro	PCH TOCA BARRAMENTO	87110000	-29.2892	-50.7408
56	Hidro	PCH PASSO DO INFERNO BARRAMENTO	87120000	-29.2683	-50.7467
57	Hidro	UHE CANASTRA JUSANTE	87361100	-29.3936	-50.7475
58	SGB-CPRM	Encantado	8672000	-29.2352	-51.8551
59	SGB-CPRM	Guaporé	2851044	-28.8687	-51.9016
60	SGB-CPRM	Linha Jose Julio	8647200	-29.0981	-51.6996
61	SGB-CPRM	Mucum	8651000	-29.1669	-51.8672
62	CEMADE N	FONTOURA XAVIER	430830001A	-28.9849	-52.3445
63	CEMADE N	VENÂNCIO AIRES Linha Brasil	432260801A	-29.5371	-52.3016
64	CEMADE N	CANDELÁRIA	430420002A	-29.6629	-52.7873
65	CEMADE N	CACHOEIRA DO SUL	430300401A	-29.8908	-53.0043
66	CEMADE N	ALTO FELIZ	430057001A	-29.382	-51.3176
67	CEMADE N	BOM PRINCÍPIO	430235201A	-29.489	-51.356
68	CEMADE N	FAXINAL DO SOTURNO	430800301A	-29.5809	-53.4467
69	CEMADE N	ENCRUZILHADA DO SUL	430690801A	-30.55	-52.543
70	CEMADE N	LAJEADO	431140303A	-29.452	-52.003
71	CEMADE N	MORRINHOS DO SUL	431244301A	-29.3726	-49.945
72	CEMADE N	NOVA PETRÓPOLIS	431320101A	-29.3756	-51.1144
73	CEMADE N	SÃO FRANCISCO DE PAULA	431820001A	-29.4417	-50.5828
74	CEMADE N	TRÊS COROAS	432170906H	-29.5157	-50.7742
75	CEMADE N	TEUTÔNIA	432145101A	-29.4524	-51.8097
76	CEMADE N	SEGREDO	432026301A	-29.3399	-52.982
77	CEMADE N	NOVA PALMA	431310201A	-29.47	-53.465
78	CEMADE N	LAGOA BONITA DO SUL	431123901A	-29.49	-53.013
79	INMET	São Luiz Gonzaga	A852	-28.4172	-54.9625



## Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.