

**Análise do evento extremo de precipitação ocorrido no
Rio Grande do Sul entre abril e maio de 2024**

**Analysis of the extreme precipitation event that occurred in
Rio Grande do Sul between april and may 2024**

**Análisis del evento de precipitación extrema ocurrido en Rio Grande do Sul
entre abril y mayo de 2024**

Rosmeri Porfírio da Rocha¹, Michelle Simões Reboita², Natália Machado Crespo³

Eventos extremos de tempo e clima têm se tornado cada vez mais frequentes, intensos e duradouros^{1,2}. No Brasil, os eventos extremos de precipitação diária têm ocorrido associados a diferentes sistemas atmosféricos.

Por exemplo, podem ser decorrentes de chuvas convectivas no período de verão e da influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul, como os casos de Petrópolis em 2022³⁻⁵; de sistemas convectivos de mesoescala, que podem estar embebidos num ambiente de frente fria, como ocorreu no norte do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina em junho de 2020⁶, de ciclones extratropicais que se formam sobre o Sul do país, podendo se destacar os eventos de 2023 que causaram muitos transtornos no Centro-Norte do RS^{7,8}, de sistemas convectivos de mesoescala subtropicais que se desenvolvem em resposta aos jatos de altos e baixos níveis, que se tem como exemplo as chuvas que inundaram o RS entre 26 de

¹Meteorologista. Doutora em Meteorologia. Docente da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, São Paulo, Brasil. E-mail: rosmerir.rocha@iag.usp.br ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3378-393X> **Autor para Correspondência** - Endereço: Rua do Matão, n. 1226, Butantã. CEP: 05508900 - São Paulo (SP).

²Geógrafa e Engenheira oceânica. Doutora em Meteorologia. Docente da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Itajubá, Minas Gerais, Brasil. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1734-2395>

³Meteorologista. Doutora em Meteorologia. Pesquisadora da Charles University. Praga, República Tcheca. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3585-5100>



Este artigo está licenciado sob forma de uma licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional, que permite uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a publicação original seja corretamente citada.

abril a 05 de maio de 2024 (foco deste estudo) e que continuaram ocorrendo até o final de maio.

Esse Estado brasileiro vem sendo afetado por eventos extremos ano após ano. Entretanto, o evento de abril-maio de 2024 é até então o mais danoso comparado aos registros históricos. Até 2024, o evento mais severo registrado no Estado era o de maio de 1941, que elevou o nível do rio Guaíba ao recorde de 4,76 metros de altura no dia 08 de maio^{9,10}. Esse evento só foi superado pelas chuvas acumuladas no período de 26 de abril a 05 de maio de 2024, que elevaram o nível do rio Guaíba a 5,35 metros (Figura 1, ANA, 2024). Em algumas localidades do Centro-Norte como em Segredo-RS, Fontoura Xavier-RS e Lagoa Bonita-RS, o acumulado de precipitação no período de 10 dias mencionado atingiu 812,6; 778,0 e 749,2 mm¹¹, respectivamente, o que é cerca de 280% a mais do que o esperado para a região considerando a precipitação acumulada entre abril e maio (61 dias), que consiste em 287 mm (valor obtido com base nas Normais Climatológicas de 1991 a 2020 apresentadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia).

O elevado volume de precipitação não somente causou inundação nas regiões que receberam precipitação como nas áreas às margens da lagoa dos Patos (que na realidade é uma laguna, já que entre as cidades de Rio Grande-RS e São José do Norte-RS ao sul - há um canal de comunicação com o oceano Atlântico Sul). Como grande parte das bacias hidrográficas desse Estado desaguam na lagoa dos Patos, o volume de água se elevou e várias cidades foram inundadas como, por exemplo, São Lourenço-RS, Pelotas-RS, Rio Grande-RS e São José do Norte-RS^{12,13}, que se localizam a mais de 400 km do local onde ocorreram as chuvas volumosas.

Depois do dia 05 de maio as chuvas continuaram ocorrendo, tanto no Centro-Norte quanto na parte Sul do Estado, mas o nível do rio Guaíba não ultrapassou 5,35 m. Mesmo assim, os problemas continuaram. Desde o final do mês de abril até o dia 03 de junho de 2024, a Defesa Civil¹⁴ registrou 475 municípios afetados tanto pelas chuvas quanto inundações, o que corresponde a 96% do total de municípios, 806 feridos, 42 desaparecidos, 172 óbitos e um total de 2.390.556 pessoas afetadas pelo evento extremo.

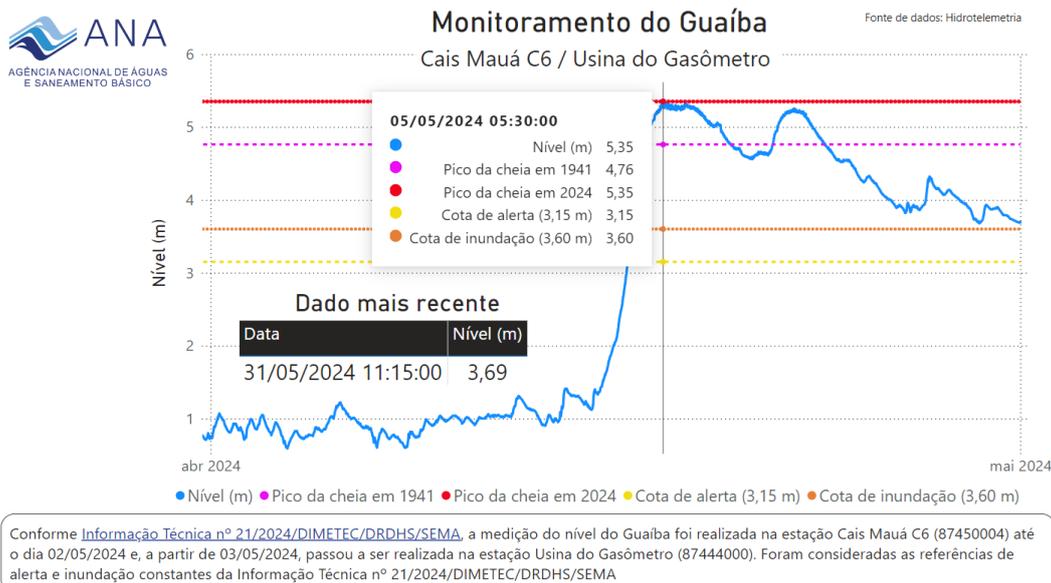


Figura 1 - Nível do rio Guaíba (metros) medido na estação Cais Mauá/ Usina do Gasômetro entre 10 de abril a 31 de maio de 2024. Fonte: ANA (2024).

Para representar os sistemas atmosféricos ocorridos durante o evento extremo de precipitação e o padrão climatológico de abril a maio, foram utilizados dados de vento nos níveis de 850 e 200 hPa da reanálise ERA5 pertencente ao *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*¹⁵. Para a climatologia de abril a maio, calcularam-se as médias mensais (baseada em dados diários) das variáveis mencionadas no período de 1980 a 2023. Já para o evento (26 de abril a 05 de maio de 2024) utilizaram-se os dados nos horários padrões (0000, 0600, 1200 e 1800 UTC) e calculou-se a média do período. Ambas as análises foram conduzidas com dados com 1° de resolução espacial.

Para a precipitação, foram utilizadas as análises diárias (dados medidos em pluviômetros e interpolados espacialmente) do *Climate Prediction Center*¹⁶, no período de janeiro de 1980 a 20 de maio de 2024, com resolução horizontal de 0,5°. Imagens do satélite GOES-16 juntamente com o vento em 200 hPa foram obtidas do INMET (<https://satellite.inmet.gov.br/>) enquanto que as cartas sinóticas para o período do evento extremo foram obtidas do Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil (<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/>).

Com base nos dados descritos, apresenta-se os campos das médias das componentes horizontais do vento em 850 e 200 hPa juntamente com o acumulado de precipitação no período do evento extremo. Também é calculada a média climatológica das mesmas variáveis considerando os meses de abril a maio e, por

fim, é computada a diferença entre o evento extremo e a climatologia (1980 a 2023).

No período de 26 de abril a 05 de maio de 2024, ocorreram os maiores volumes de precipitação no Estado (Figura 2a,b), considerando toda a América do Sul. Os valores mostrados na Figura 2a são menores do que aqueles mencionados anteriormente devido às análises do CPC serem o resultado de interpolação espacial de dados observados em postos pluviométricos, o que acaba suavizando os dados.

Comparando-se o período do evento extremo com a climatologia (abril e maio), o período de 10 dias apresenta volume de chuvas superior ao acumulado climatológico (Figura 2c).

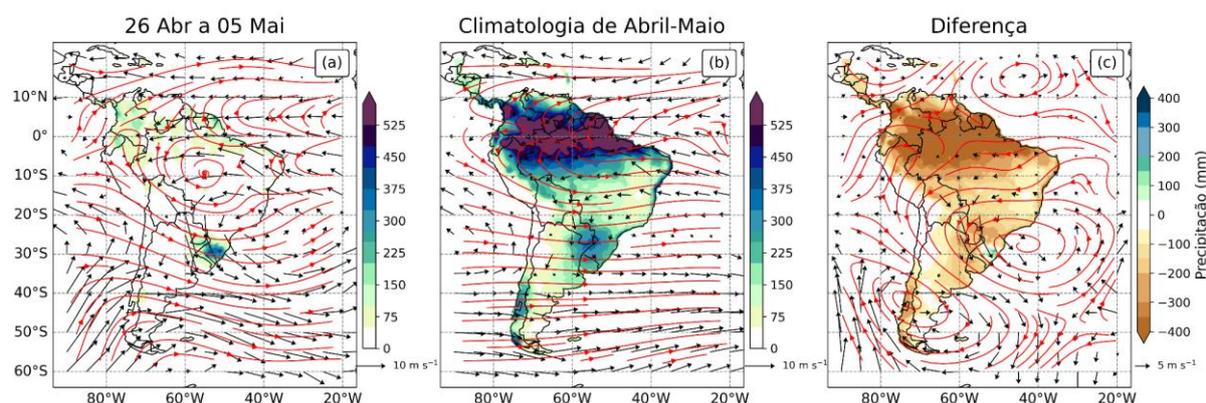


Figura 2 - Precipitação (mm, colorido) e circulação atmosférica em 200 hPa (linhas de corrente em vermelho) e vento em 850 hPa (m/s, setas pretas): a) média no período do evento extremo, b) climatologia de abril a maio no período de 1980 a 2023 e c) diferença entre o evento extremo e a climatologia.

Para explicar as diferenças na precipitação entre o evento e a climatologia, a circulação atmosférica em diferentes níveis verticais deve ser analisada. No período do evento extremo predominou em altos níveis da atmosfera (200 hPa) uma circulação anticiclônica centrada em 10°S e 58°W, que favoreceu a ondulação do jato subtropical (ventos de oeste em ~40°S, Figura 2a). O padrão descrito diferencia-se da climatologia uma vez que nessa a circulação anticiclônica no período de abril a maio é fraca e localizada a cerca de 0° e o jato subtropical é menos intenso e com padrão bem zonal (Figura 2b).

A alteração na circulação de altos níveis durante o evento impactou de forma diferente as regiões Central-Sudeste e Sul do país. Enquanto o sistema de alta pressão sobre grande parte do Brasil atuou inibindo os movimentos

ascendentes na atmosfera e o desenvolvimento de nuvens. Sua contribuição para aumento da velocidade do jato subtropical sobre o Estado auxiliou no desenvolvimento de divergência do ar em altos níveis e, conseqüentemente, para condições mais favoráveis para o desenvolvimento de aglomerados de nuvens profundas na atmosfera (Figura 3). A divergência do ar em níveis mais altos da atmosfera é um mecanismo dinâmico de levantamento do ar e, ao retirar ar da coluna atmosférica, contribui para a redução de pressão na superfície. No caso do RS, o ar que ocupava a região era quente e úmido, portanto, com condições muito mais adequadas para a formação de nuvens cumulus e precipitação intensa.

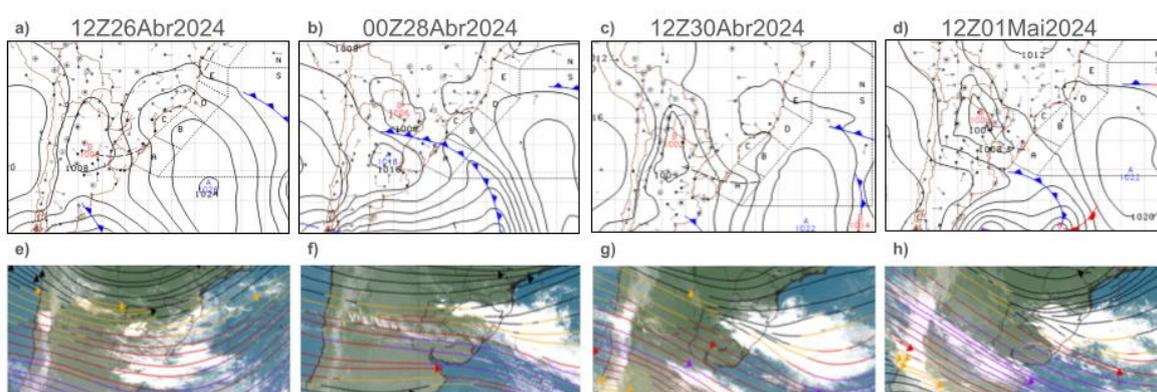


Figura 3 (a-d) - Cartas sinóticas de superfície onde as linhas pretas contínuas indicam a pressão ao nível médio do mar (hPa), as linhas com triângulos azuis as frentes frias, a letra B os sistemas de baixa pressão e a letra A os sistemas de alta pressão. Fonte: Marinha do Brasil. (e-h) Imagens do satélite GOES-16 juntamente com linhas de corrente em 200 hPa (cores tendendo ao roxo indicam ventos mais intensos) obtidas do INMET.

Em baixos níveis (850 hPa), as condições atmosféricas durante o evento extremo também foram distintas da climatologia (Figura 2). O sistema de alta pressão anômalo em médios e altos níveis (Figura 2a) propiciou sobre o Centro-Sudeste do Brasil anomalias de alta pressão na baixa atmosfera que se tornaram mais intensas ao se acoplarem ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). A circulação da alta pressão em baixos níveis sobre o continente fortaleceu os ventos de Norte-Noroeste do jato de baixos níveis a leste dos Andes (Figura 2c). A saída desse jato ocorreu sobre o RS que se encontrava com predomínio de uma baixa pressão. Essa configuração do escoamento é mostrada através das setas na Figura 2a e caracteriza o intenso transporte de calor e umidade da região Norte-Central do Brasil serviu como “combustível” para o desenvolvimento dos sistemas precipitantes que se organizaram sobre esse Estado.

A combinação entre os movimentos ascendentes decorrentes da divergência de massa propiciada pelo jato subtropical sobre o RS e o transporte de ar quente e úmido pelo jato de baixos níveis foram os “ingredientes” que possibilitaram o desenvolvimento dos aglomerados convectivos^{17,18} de dimensões relativamente pequenas (Figura 3e,f,h) no período.

Portanto, parte da chuva durante o evento extremo no sul do país esteve associada a esses sistemas. Por outro lado, uma área de baixa pressão associada à passagem de uma frente fria também foi importante para canalizar o jato de baixos níveis para o Sul do Brasil e organizar as primeiras chuvas volumosas no Estado (na Figura 2a não é possível identificar o padrão da frente). Essa frente fria chegou ao extremo Sul do Brasil às 1200 UTC do dia 27 de abril, deslocou-se para Nordeste atingindo o Centro-Norte do Estado às 0000 UTC do dia 28 de abril (Figura 3b) e migrou para o oceano Atlântico nos horários seguintes. No total, duas frentes frias passaram pelo RS durante o período em estudo. A segunda frente fria se aproximou do extremo Sul do país às 1200 UTC do dia 01 de maio (Figura 3d) e após 24 horas se localizava no Norte do Estado.

A questão a ser abordada é: o que causou o padrão anômalo na circulação atmosférica na América do Sul no período em estudo? Embora o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (fenômeno de variabilidade natural do clima) estivesse atuando no período, esse parece não ser o principal mecanismo em grande escala responsável pelo evento extremo no RS. Análises iniciais têm apontado para a contribuição das águas da superfície do mar mais quentes do que a média climatológica na bacia do oceano Índico. As águas oceânicas mais quentes no setor oeste do Índico afetam a atmosfera que responde na forma de propagação de ondas. Nesse padrão de onda, predominou uma anomalia de circulação anticiclônica sobre o Centro-Sudeste do Brasil que se manteve por vários dias. Só quando esse padrão enfraqueceu no final do mês de maio, é que a configuração dos sistemas atmosféricos sobre o Sul, Centro-Sudeste do Brasil começaram a mudar.

A chuva ocorrida nesse Estado foi propiciada por uma junção de sistemas atmosféricos: em grande escala um padrão de teleconexão com fonte no oceano Índico (a ser futuramente estudado em maiores detalhes) favoreceu o padrão anômalo de alta pressão sobre o centro-sudeste do Brasil. Em altos níveis esse padrão contribuiu para aumentar a velocidade dos ventos de oeste (jato subtropical)

e em superfície os ventos de Norte-Noroeste (jato de baixos níveis a leste dos Andes). Esses sistemas de escala sinótica, por sua vez, propiciaram levantamento do ar sobre o Estado e formações de sistemas convectivos de dimensões menores. Ademais, a passagem da frente fria no dia 28 de abril também teve contribuição para as chuvas que assolaram o Estado.

Tais achados reforçaram a importância de visibilizar a configuração da circulação atmosférica persistente que geraram episódios de evento extremo chuvoso no Sul e seco no Centro-Sudeste do país.

Agradecimentos: os autores agradecem aos centros que disponibilizaram os dados utilizados no estudo e ao CNPq, CAPES, FAPEMIG e FAPESP pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

1. IPCC. Climate change. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Chen Y, et al. Cambridge: Cambridge University Press; 2021.
2. Reboita MS, Rocha RP, Souza CAD, Baldoni TC, Silva PLLDS, Ferreira GWS. Future projections of extreme precipitation climate indices over South America based on CORDEX-CORE multimodel ensemble. *Atmosphere*. 2022; 13(9):1463.
3. Alcântara E, Marengo JA, Mantovani J, Londe LR, San RLY, Park E, et al. Deadly disasters in southeastern South America: flash floods and landslides of February 2022 in Petrópolis, Rio de Janeiro. *Natural hazards earth syst sci*. 2023; 23(3):1157- 1175.
4. Bartolomei FR, Ribeiro JGM, Reboita MS. Eventos Extremos de Precipitação no Sudeste do Brasil: Verão 2021/2022. *Rev bras geo física*. 2023; 16(05):2658-2676.
5. Oda PSS, Teixeira DLS, Pinto TAC, Silva FP, Riondet-Costa DRT, Mattos EV, et al. Disasters in Petrópolis, Brazil: Political, urban planning, and geometeorological factors that contributed to the event on February 15, 2022. *Urban Climate*. 2024; 54:101849.

6. Faria LF, Reboita MS, Mattos EV, Carvalho VSB, Martins Ribeiro JG, Capucin BC, et al. Synoptic and Mesoscale Analysis of a Severe Weather Event in Southern Brazil at the End of June 2020. *Atmosphere*. 2023; 14(3):486.
7. Bartolomei FR, Reboita MS, Rocha RP. Ciclones extratropicais causadores de eventos extremos no sul do Brasil no inverno de 2023. *Terra e Didática*. 2024; 20(00):e024003-e024003.
8. Mantovani J, Alcântara E, Pampuch LA, Praga Baião CF, Park E, Souza Custódio M, et al. Assessing flood risks in the Taquari-Antas Basin (Southeast Brazil) during the September 2023 extreme rainfall surge. *Npj natural hazards*. 2024; 1(1):9.
9. BBC. Foi assustador: carta de 83 anos detalha estragos da grande enchente de 1941 no Rio Grande do Sul. Disponível em <https://www.bbc.com/portuguese/articles/c2898rxg1j9o#:~:text=Na%20enchente%20de%20maio%20de,dias%20de%20chuvas%20naquele%20m%C3%AAs>. Acesso em 26 mai 2024.
10. ANA. Cais Mauá C6. Disponível em <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiZTRjZDlmYjgtNzAzMS00ZTFmLTlmZDAtNzEwNjM0MDU0NTJhliwidCI6ImUwYml0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9> Acesso em 31 mai 2024.
11. CEMADEN. Estações Pluviométricas. Disponível em <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/> Acesso em 28 mai 2024.
12. BBC. A cronologia da tragédia no Rio Grande do Sul. Disponível em <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cd1qwp3z77o>. Acesso em 26 mai 2024.
13. G1. Um mês de enchentes no RS: veja cronologia do desastre que atingiu 471 cidades, matou 169 pessoas e expulsou mais de 600 mil de casa. Disponível em <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2024/05/29/um-mes-de-enchentes-no-rs-veja-cronologia-do-desastre.ghtml>. Acesso em 02 mai 2024.
14. Defesa Civil. Defesa Civil atualiza balanço das enchentes no RS - 3/6, 9h. Disponível em <https://www.defesacivil.rs.gov.br/defesa-civil-atualiza-balanco-das-enchentes-no-rs-3-6-9h>. Acesso em 01 jun 2024

15. Hersbach H, Bell B, Berrisford P, Hirahara S, Horányi A, Muñoz-Sabater J, et al. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly j royal meteorological soc.* 2020; 146(730):1999-2049.
16. Chen M, Shi W, Xie P, Silva VB, Kousky VE, Wayne Higgins R, et al. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. *J geophysical res atmospheres.* 2008; 113(D4).
17. Silva Dias MAF. Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. *Rev bras meteorologia.* 1987; 2(1):133-150.
18. Martinez DM, Solman SA. Synoptic patterns associated with extreme precipitation events over southeastern South America during spring and summer seasons. *Int j Climatology.* 2022; 42(16):10387-10406.

Como citar: Rocha RP, Reboita MS, Crespo NM. Análise do evento extremo de precipitação ocorrido no Rio Grande do Sul entre abril e maio de 2024. *J Health NPEPS.* 2024; 9(1):e12603.