

## AValiação DAS Condições Sinóticas Associadas A Eventos Extremos DE Precipitação NA Bacia DO Rio ParaÍba DO Sul

Isabelly B. S. Gomes<sup>1</sup> (IC), Vanessa S. B. Carvalho (PQ)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Itajubá

**Palavras-chave:** Precipitação extrema. Sistemas frontais. Zona de Convergência do Atlântico Sul.

### Introdução

No Brasil, a Bacia do Rio Paraíba do Sul (BRPS) se destaca no cenário econômico e possui uma relevância estratégica no cenário nacional uma vez que compreende os estados com maior densidade populacional e desenvolvimento econômico do país (São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais), sendo responsável por grande parte do abastecimento público de água da região (DEMANBORO, 2015), com uma demanda total de água estimada em mais de 20 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (AGEVAP, 2013).

Cerca de 8,4 milhões de pessoas vivem na BRPS, que abrange um total de 184 municípios, sendo 88 em Minas Gerais, 57 no Rio de Janeiro e 39 em São Paulo (AGEVAP, 2013; AGEVAP, 2006) e contém aproximadamente 120 usinas hidrelétricas em operação, com geradores de grande, médio e pequeno porte (IORIS, 2011).

O clima da BRPS é predominantemente subtropical quente e úmido, sendo influenciado pela altitude e afluências de ventos marinhos (CEIVAP, 2020), com temperatura média anual oscilando entre 18°C e 24°C (MARENGO, 2005) e precipitação acumulada anual superior a 2.100 mm (OLIVEIRA et al., 2023). É localizada na região sudeste, caracterizada por um período muito chuvoso (verão) e outro seco (inverno), uma das características do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) (RAMAGE, 1971; ZHOU; LAU, 1998; GAN et al., 2004; GRIMM et al., 2005; REBOITA et al.; 2022). Nessa região, altos índices de precipitação são associados a uma série de fenômenos meteorológicos como sistemas frontais, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e sistemas de mesoescala (Reboita et al., 2012).

Em relação aos estudos que analisaram eventos extremos de precipitação, Barbosa (2007) encontrou um aumento de eventos no setor paulista da Serra do Mar num período de 30 anos analisados, enquanto Barcellos e Quadro (2019) fizeram uma identificação e classificação dos eventos extremos de precipitação na região da ZCAS, através de um algoritmo de rastreamento de chuva intensa (precipitação diária acima ou igual ao valor do percentil

de 99%) e chuva persistente (registradas em 4 dias consecutivos). Mendonça et al. (2012) identificaram por meio de imagens de sensoriamento remoto, as áreas atingidas pelas inundações ocorridas no período do verão de 2008/2009 na região Norte Fluminense e Rio de Janeiro e Brasiliense (2016) estudou um episódio de chuvas intensas ocorridas em janeiro de 2000 na BRPS que acumulou quase 50% do volume de precipitação esperado para todo o mês. Esses estudos reforçaram a importância do planejamento da operação do Sistema Hidráulico da BRPS, bem como a análise e previsão de extremos positivos ou negativos de precipitação e vazão. Nesse contexto, o objetivo deste projeto foi analisar eventos extremos de precipitação registrados no período entre janeiro de 2018 e abril de 2021 e avaliar as condições sinóticas associadas a estes.

### Metodologia

#### Dados

Os dados utilizados no estudo foram obtidos a partir do website <https://dados.ana.gov.br/es/dataset/> da Agência Nacional das Águas (ANA) para o período de 2018 à 2021. Foram consideradas as mesmas estações descritas por Oliveira et al. (2023) que também forneceu os valores limiares para a ocorrência dos extremos nessa região a partir da técnica do percentil de 99% (p99) para definir os limites das taxas de precipitação e escoamento superficial associada com eventos extremos de precipitação durante as estações chuvosa e seca.

Para a identificação das condições sinóticas atuantes durante os eventos selecionados foram utilizadas cartas sinóticas de superfície nos horários sinóticos padrão (0000, 0600, 1200, 1800) entre janeiro de 2018 e abril de 2021, disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), a partir de <http://img0.cptec.inpe.br/~rgptimg/Produtos-Pagina/Carta-Sinotica/Analise/Superficie/>.

#### Análises

A partir dos valores dos limiares p99 identificados por Oliveira et al. (2023) para todas as estações pluviométricas consideradas, durante as estações seca e úmida (ver Figura 1), o valor médio do limiar p99 da BRPS foi calculado e utilizado para verificação dos registros dos eventos extremos de precipitação. Logo, foram selecionados apenas eventos cujos valores de precipitação acumulada diária foram superiores a este limiar médio.

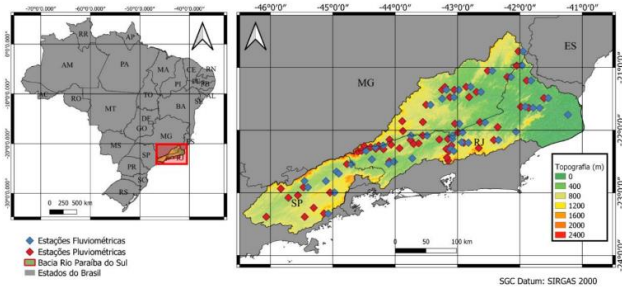


Figura 1 - Representação da área de estudo: lado esquerdo – localização da BRPS em relação ao Brasil e lado direito – Região da BRPS com a localização das estações pluviométricas e fluviométricas e topografia (Fonte: Oliveira, 2022).

Após a identificação dos eventos extremos, realizou-se uma análise visual das cartas sinóticas nos dias de ocorrência destes eventos para a verificação da atuação dos sistemas atmosféricos predominantes como, por exemplo, sistemas frontais e ZCAS.

### Resultados e discussão

O limiar médio p99 para a detecção de eventos extremos de precipitação na BRPS, calculado a partir dos valores encontrados por Oliveira et al. (2023), foi de 50,33 mm. Esse valor foi comparado aos dados de precipitação no período entre 2018 e 2021. Logo, a Tabela 1 mostra o número total de casos de eventos extremos de precipitação para cada ano considerado. A partir desta pode-se observar que, considerando os anos de análise completos, mais de 80 dias por ano apresentaram estações com valores acima do limiar médio na região. Para 2020, por exemplo, Oliveira (2022) revelou que fevereiro representou um mês com anomalias positivas de chuva na BRPS, tendo eventos com registros que superaram os limiares extremos de 95%. De acordo com as medições do INMET, na Estação meteorológica convencional do Mirante de Santana, o acumulado de chuva em fevereiro de 2020 chegou aos 496,7 mm na capital de São Paulo, o mês terminou como o fevereiro mais chuvoso dos 77 anos de medição, registrados entre 1943 a 2020, superando de longe a Normal Climatológica (1981-2010) que é de 249,7 mm (INMET, 2020).

Tabela 1 - Número de casos acima do limiar associados com atuação de sistema.

Número total de casos por ano	
Ano	Número de dias
2018	92
2019	80
2020	85
2021	32

A partir dessa identificação foi possível estipular o número de dias acima do limiar associados com a atuação de ZCAS e frentes frias. Com isso, foi realizado um levantamento da quantidade de casos associados com a atuação desses sistemas atmosféricos. Sabe-se que, em geral os eventos de ZCAS possuem duração média de 5 dias (SILVA et al., 2019). Com essa consideração, a Tabela 2 nos mostra a quantidade de casos destes sistemas associados aos eventos extremos de precipitação durante o período de 2018 a 2021 na região.

Tabela 2 – Quantidade de eventos extremos de precipitação associados à atuação de ZCAS e Frentes frias.

Número de casos associados à atuação de ZCAS e Frente Fria	
Atuação	Nº de eventos
ZCAS	16
Frente Fria	18

A análise visual das cartas durante os dias cujos dados de precipitação registraram valores acima do limiar considerado, associados com a atuação de ZCAS e frentes, é apresentada na Tabela 3. A partir desta, é possível verificar que 44% e 41% do total de eventos extremos de precipitação estava associada a casos de ZCAS e Frentes Frias, respectivamente.

Tabela 3 - Número de dias por ano e total acima do limiar associados com atuação de ZCAS e Frentes.

Número de dias/ano com atuação de ZCAS e frentes			
Ano	ZCAS	Frentes	Total
2018	22	20	42
2019	7	20	27
2020	26	21	47
2021	11	8	19

Como exemplo, foi selecionado um evento extremo de precipitação com atuação conjunta de ZCAS e Frente Fria, no dia 06/02/2021. A atuação destes sistemas está bem definida nas 4 cartas dos horários sinóticos (00, 06, 12 e 18 UTC). A Figura 3 ilustra a atuação conjunta dos sistemas a partir da carta sinótica do dia 06 às 00 UTC. A nebulosidade associada com os sistemas pode ser observada na Figura 4. Vale ressaltar que a ZCAS é caracterizada por uma banda persistente de nebulosidade e precipitação (SELUCHI e CHOU, 2009; REBOITA et al., 2017). Associada a estes sistemas, altos valores de precipitação foram verificados na região. Seguindo a tendência dos totais anuais registrados na BRPS, os maiores valores extremos observados ficam mais concentrados em regiões de maiores altitudes, onde está localizada a Serra da Mantiqueira conforme indicado por Oliveira (2022).

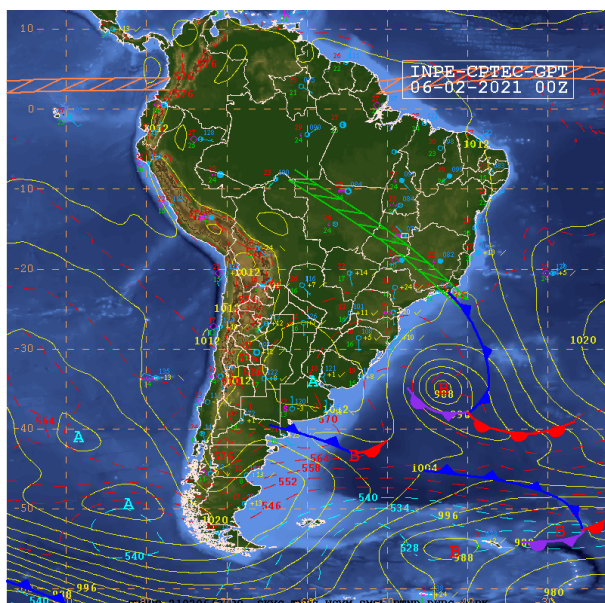


Figura 3 - Carta sinótica referente ao dia 06/02/2021. Fonte: CPTEC, 2023.

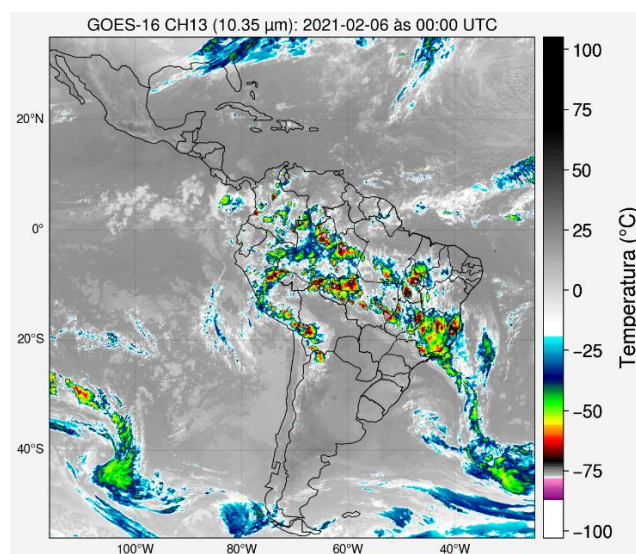


Figura 4 – Imagem de satélite do GOES-16 no Canal 13 do Infravermelho referente ao dia 06/02/2021. Fonte: CPTEC, 2023.

## Conclusões

Este estudo avaliou as condições sinóticas associadas com valores extremos de precipitação registrados entre 2018 e 2021 na BRPS. A partir deste foi observado que em cerca de 60% das ocorrências registradas estão interligadas com a atuação de ZCAS e de sistemas frontais na região. A avaliação dos sistemas atmosféricos com a ocorrência de precipitação intensa na região é muito importante para o desenvolvimento e melhoria de sistemas de previsão de eventos extremos de precipitação na BRPS.

## Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal de Itajubá pela bolsa institucional de Iniciação Científica que possibilitou esse estudo, e ao apoio da Agência Nacional das Águas (AGEVAP) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## Referências

AGEVAP - Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.  
Plano de recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul: Diagnóstico dos recursos hídricos - relatório final. Laboratório de Hidrologia e Estudos de Meio Ambiente, 2006. (Relatório Contratual R-7). Disponível em: <[www.ceivap.org.br/downloads/PSR-010-R0.pdf](http://www.ceivap.org.br/downloads/PSR-010-R0.pdf)>. Acesso em: 27 abr. 2023.

- BARBOSA, J. P. M. Estudo sobre a evolução dos eventos extremos de precipitação no setor paulista da serra do mar. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 17, 1-21, 2007.
- BARCELLOS, D. R., DE QUADRO, M. F. L. Classificação de eventos extremos de precipitação quanto sua intensidade, persistência e abrangência na região das ZCAS. **Metodologias e Aprendizado**, 2, 76-81, 2019.
- BRASILIENSE, C. S. Chuvas Intensas Associadas A Inundações Na Bacia Do Rio Paraíba Do Sul Em Janeiro/2000. **II IPTMU - Encontro sobre Impactos Potenciais de Desastres Naturais em Infraestruturas de Transporte e Mobilidade Urbana**. São José dos Campos, Brasil. 2016.
- CEIVAP - Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Disponível em: <<http://www.ceivap.org.br>>. Acesso em: 27 abr. 2023.
- DEMANBORO, A. C. **Gestão ambiental e sustentabilidade na macrometrópole paulista-Bacia do Rio Paraíba do Sul**. *Sociedade & Natureza*, 27, 515-529, 2015.
- GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROUPELEWSKI, C. F. The South America Monsoon Rainfall over West-Central Brazil. *Journal of Climate*, v. 17, n. 1, p. 47-66, 2004.
- GRIMM, A. M.; VERA, C. S.; MECHOSO, C. R. The South American Monsoon System. In: CHANG, C.-P.; WANG, B.; LAU, N.-C. G. (Org.). *The Global Monsoon System: Research and Forecast*, WMO/TD No 1266 (TMRP Report No 70) Report of the International Committee of the Third International Workshop on Monsoons (IWMIII), 2-6 November 2004, Hangzhou, China, p. 219-238, 2005.
- IORIS, A.A.R. **Os limites políticos de uma reforma incompleta: a implementação da Lei dos Recursos Hídricos na Bacia do Paraíba do Sul**. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, 10(1): 61-85, 2011.
- MARENGO, J. A., ALVES, L. M. **Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 20(2), 215-226, 2005.
- MARENGO, J. A. 2017. Mudanças climáticas, Condições Meteorológicas Extremas e Eventos Climáticos no Brasil. Disponível em:<[http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS\\_MudancasClimaticas.pdf](http://www.fbds.org.br/cop15/FBDS_MudancasClimaticas.pdf)>. Acesso em: 24 jul. 2023.
- OLIVEIRA, Débora Martins. **Development and calibration of a forecasting system for extreme rainfall and flow events as a support for flood prevention: a case study for the Paraíba do Sul River basin**. 2022. 49 f. Doctoral Thesis (Environment and Water Resources Graduate Program) – Institute of Natural Resources, Federal University of Itajubá, Itajubá (Brazil), 2022.
- RAMAGE, C. S. **Monsoon Meteorology**. Academic Press, New York, 296 pg., 1971.
- REBOITA, M. S.; ESCOBAR, G.; CORRÊA, M. P.. Participação em banca de Amanda Caroline de Souza. **Classificação de frentes frias polares, frentes subtropicais e cavados baroclínicos**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Atmosféricas) – Universidade Federal de Itajubá, 2017.
- REBOITA, M. S.; TEODORO, T. A.; FERREIRA, G. W. S.; SOUZA, C. A. **Ciclo de Vida do Sistema de Monção da América do Sul: Clima Presente e Futuro**. *Revista Brasileira De Geografia Física*, v. 15, p. 343-358, 2022.
- SELUCHI, M; BEU, C. ANDRADE, K. M. Características das Frentes Frias Causadoras de Chuvas Intensas no Leste de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, 2017.
- ZHOU, J.; LAU, K. M. **Does a Monsoon Climate Exist Over South America?**, *Journal of Climate*, v.11, n.5, p.1020-1040, 1998.