

## **XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS**

### **PADRÕES CLIMATOLÓGICOS E TENDÊNCIAS VERIFICADAS EM EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO EM BACIAS NO LESTE DO BRASIL**

*Wanderson Luiz-Silva <sup>1</sup>; Pedro Lucas Oliveira Santos <sup>2</sup>, Lucas Katagi Passos Amaro <sup>3</sup>,  
Fabricio Polifke da Silva <sup>4</sup>, Antonio Carlos Oscar-Júnior <sup>5</sup>*

**Abstract:** In the Southeast region of Brazil, the Southeast Atlantic Basin (SAB) is densely populated and industrialized, with a high demand for water resources. In the Northeast region of the country, the São Francisco River Basin (SFB) is also essential for water supply, power generation, and navigation. In this context, the objective of this research is to analyze the climatological aspects and detect trends in precipitation extremes in the SAB and SFB. Six indicators of precipitation extremes are evaluated, and statistical tests are used to determine the significance and magnitude of the trends. The higher frequency of precipitation extremes in the SAB is attributed to the interaction between atmospheric systems and local physiographic features, such as topography. On average, the eastern end of the basin records more than 200 mm in 5 consecutive days of heavy precipitation. Regarding the trends, an increase in severe rainfall is noted in the coastal region of the SAB. The SFB exhibits significant spatial variability in precipitation extremes, with lower intensity in the north of the basin (lower São Francisco) and higher intensity in the south of the basin (upper São Francisco). The trends highlight a scenario of a drier climate over the last decades in the SFB, with reduced precipitation and an increase in consecutive dry days at a rate of +10 days/decade in the middle São Francisco. Given the potential changes in precipitation patterns, it is necessary to implement strategies to mitigate potential impacts, whether due to excess or insufficient rainfall.

**Resumo:** Na região Sudeste do Brasil, a Bacia do Atlântico Sudeste (BAS) é densamente povoada e industrializada, com grande demanda por recursos hídricos. Já na região Nordeste do país, a Bacia do Rio São Francisco (BSF) também é bastante importante para o abastecimento de água, geração de energia e navegação. Nesse contexto, o objetivo dessa pesquisa é analisar os aspectos climatológicos e as tendências detectadas em extremos de precipitação na BAS e na BSF. Seis indicadores de extremos de precipitação são avaliados e testes estatísticos são empregados para determinar a significância e a magnitude das tendências. A maior frequência de extremos de precipitação na BAS está associada com a interação entre sistemas atmosféricos e aspectos fisiográficos locais, como a topografia. Em média, o extremo leste da bacia registra mais de 200 mm em 5 dias consecutivos de chuvas intensas. Em relação às tendências, nota-se um aumento das chuvas severas na região litorânea da BAS. A BSF exibe uma expressiva variabilidade espacial dos extremos de precipitação, com menor intensidade no norte da bacia (baixo São Francisco) e maior intensidade no sul da bacia (alto São Francisco). As tendências salientam um cenário de um clima mais seco ao longo das últimas décadas na BSF, com redução da precipitação e aumento dos dias secos consecutivos a uma taxa de +10 dias/década no médio São Francisco. Diante de possíveis alterações nos padrões de precipitação, se faz necessário a implementação de estratégias para mitigar os possíveis impactos, seja pelo excesso ou pela falta de chuva.

**Palavras-Chave** – Extremos Climáticos; Mudanças Climáticas; Precipitação

1) Departamento de Meteorologia – DMET, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. E-mail: wanderson@igeo.ufrj.br

2) Departamento de Meteorologia – DMET, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. E-mail: pedrolucassantos88@gmail.com

3) Departamento de Meteorologia – DMET, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. E-mail: lucaskatagi@gmail.com

4) Departamento de Meteorologia – DMET, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. E-mail: fabriciopolidfke@igeo.ufrj.br

5) Departamento de Geografia Física – DGF, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. E-mail: antonio.junior@uerj.br

## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas atualmente detectadas em diferentes partes do mundo são responsáveis pelo aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, precipitações intensas e secas prolongadas, segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021). Consequentemente, essas alterações têm um impacto significativo nos sistemas humanos e naturais (Thornton *et al.*, 2014). De acordo com o sexto relatório do IPCC (2021), a influência antropogênica no aquecimento global, que atingiu +1,1°C na temperatura média global desde o século 20, é inegável. Espera-se que o aquecimento global provoque um aumento expressivo no conteúdo de vapor de água atmosférico e alterações no ciclo hidrológico, levando a um aumento nos eventos de precipitação extrema (Westra *et al.*, 2014).

O conhecimento sobre o comportamento desses eventos extremos ao longo dos anos é crucial para estabelecer possíveis medidas de adaptação e gerenciamento de riscos. Especificamente na América do Sul, índices regionais de precipitação mostram um aumento claro na umidade e uma assinatura de intensificação dos eventos de precipitação intensa na parte leste do continente nas últimas décadas (Skansi *et al.*, 2013). No entanto, Gallina *et al.* (2016) afirmam que as abordagens de múltiplos riscos no mundo não consideram os efeitos das mudanças climáticas e se baseiam principalmente em análises estáticas de vulnerabilidade.

Desastres naturais associados à precipitação intensa são generalizados no Brasil, principalmente devido à complexa interação entre fenômenos atmosféricos e os aspectos fisiográficos de cada região, como relevo, vegetação e proximidade do oceano. Além disso, a ocorrência dessas catástrofes é também explicada pelas profundas desigualdades socioespaciais, que aumentam a exposição das populações, especialmente aquelas que vivem em áreas de risco (Debortoli *et al.*, 2017; Oscar-Júnior, 2021). Portanto, nesses desastres, os danos e impactos afetam mais expressivamente as populações mais pobres. Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED/UFSC, 2013), deslizamentos e inundações são os principais desastres que causam mortes no Brasil, especialmente diante de precipitações intensas em grandes centros urbanos e regiões de encostas. No entanto, as secas prolongadas também se apresentam como extremos climáticos associados à precipitação de acentuado impacto no Brasil no decorrer dos últimos anos.

A bacia do Atlântico Sudeste (BAS), localizada na porção leste da região Sudeste do Brasil, apresenta alta densidade populacional, grande atividade econômica e, consequentemente, elevada demanda por recursos hídricos. Por outro lado, a bacia do rio São Francisco (BSF) também possui expressiva importância para a geração de energia, abastecimento de água para o consumo humano e irrigação, turismo e pesca local para as suas áreas abrangentes, principalmente para a região Nordeste do Brasil. Ambas as bacias situadas no leste do Brasil enfrentam inúmeros desafios ambientais e socioeconômicos, como alterações no uso do solo, mudanças climáticas e poluição das águas.

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo fornecer uma visão geral atualizada das principais características climatológicas dos extremos de precipitação na BAS e na BSF e analisar as tendências registradas nas últimas décadas. Esta avaliação é essencial para identificar atributos que ajudem a minimizar a vulnerabilidade por meio da prevenção e aumentar a resiliência em relação a desastres naturais relacionados às chuvas e às secas.

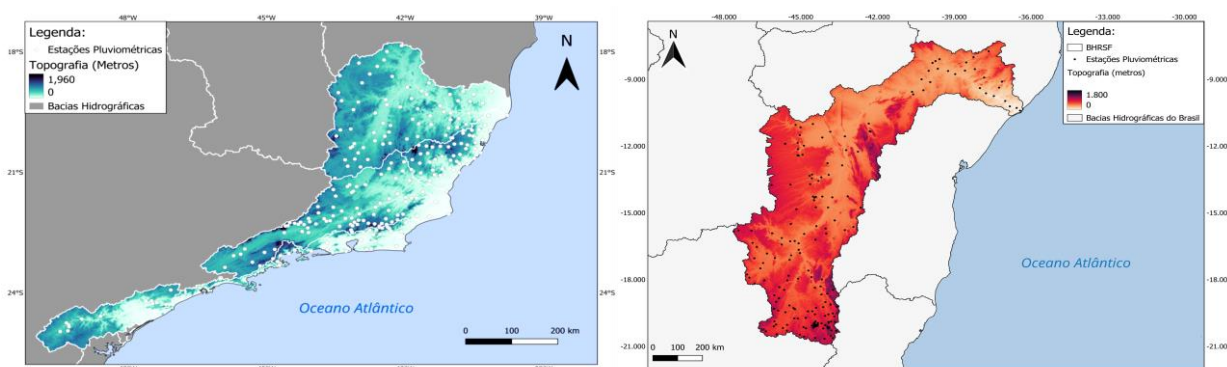
## 2. DADOS E METODOLOGIA

### 2.1. Área de Estudo

A BAS ocupa uma área de cerca de 2,7% do território brasileiro e engloba os Estados do Espírito Santo e do Rio de Janeiro, além do leste dos Estados de Minas Gerais e de São Paulo e extremo leste do Estado do Paraná (Figura 1 à esquerda). Em virtude dos aspectos fisiográficos como

a proximidade com o oceano, o relevo e a vegetação, a bacia é impactada de maneira expressiva por eventos meteorológicos e climáticos extremos. Já a BSF corresponde a cerca de 8% do território nacional, estendendo-se desde o Estado de Minas Gerais, onde o rio nasce, na Serra da Canastra, até o Oceano Atlântico, onde desagua, na divisa entre os Estados de Alagoas e de Sergipe (Figura 1 à direita).

Figura 1 – Bacia do Atlântico Sudeste (à esquerda) e bacia do rio São Francisco (à direita) com a localização dos postos pluviométricos da ANA utilizados nesta pesquisa.



## 2.2. Dados Observados

Neste estudo, foram utilizadas 438 estações pluviométricas espalhadas pela BAS e pela BSF (Figura 1). Os dados diários de precipitação são provenientes de postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As estações selecionadas passaram por um processo de filtragem e escolha manual, com o objetivo de obter os postos pluviométricos com o menor número de falhas possível. A maioria dos conjuntos dos dados cobrem o espaço temporal base de 1975-2022. Os dados foram considerados aptos para o trabalho quando mostraram um mínimo de 30 anos de informações com no máximo 5 anos de falhas.

## 2.3. Indicadores de Extremos Climáticos de Precipitação

Há um consenso na comunidade científica de que qualquer alteração na duração, frequência ou intensidade de eventos climáticos extremos podem afetar acentuadamente o meio ambiente e a sociedade (IPCC, 2021). Os indicadores de extremos climáticos de precipitação (Frich *et al.*, 2002) utilizados para o desenvolvimento da climatologia e para a detecção das tendências, estão descritos na Tabela 1. Para avaliar a significância das tendências climáticas, emprega-se o teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall (Sneyers, 1990). Assumindo a existência de uma tendência linear, utiliza-se o método não-paramétrico conhecido como Curvatura de Sen para estimar a magnitude das tendências.

Tabela 1 – Descrição dos indicadores de extremos climáticos de precipitação utilizados nesta pesquisa.

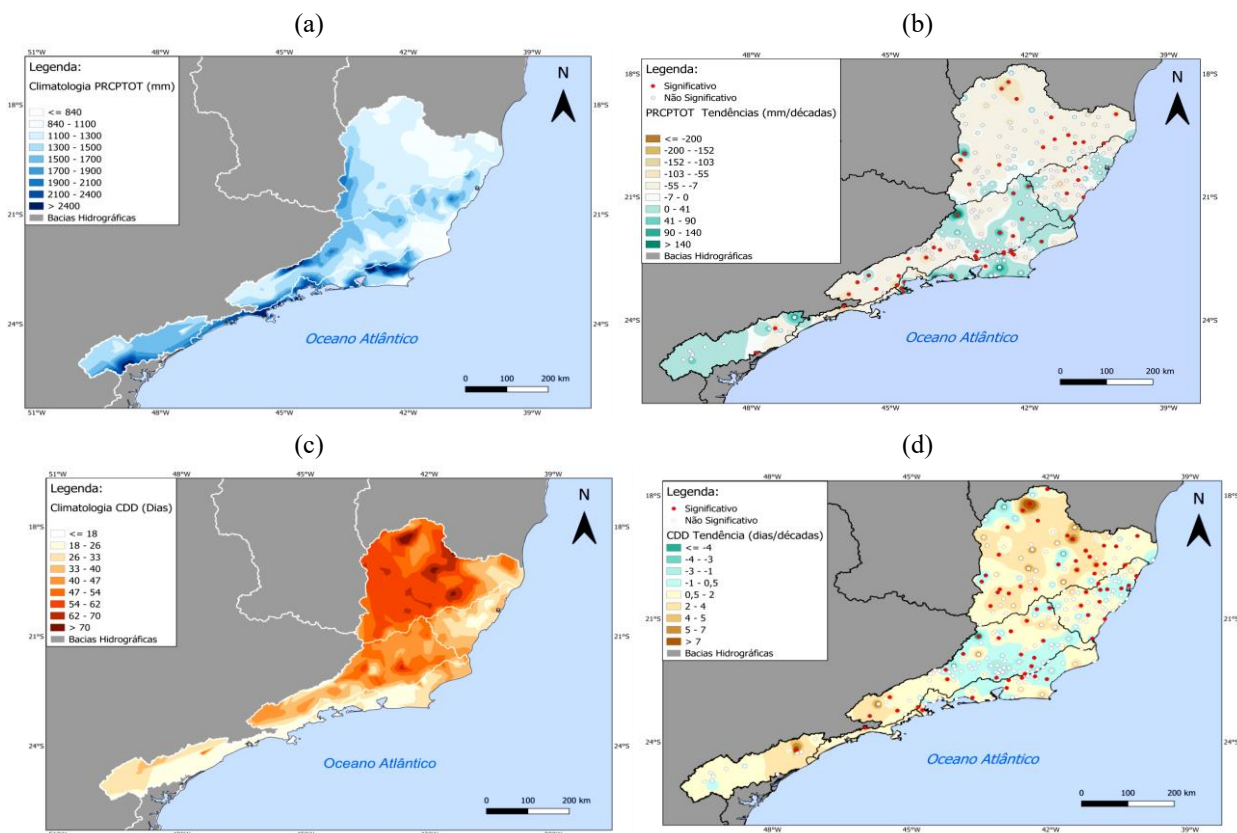
Indicador	Definição	Unidade
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos ( $RR \geq 1\text{mm}$ )	mm
CDD	Número máximo de dias secos consecutivos no ano	dias
Rx1day	Máximo anual de precipitação em 1 dia	mm
Rx5day	Máximo anual de precipitação em 5 dias consecutivos	mm
R30mm	Número de dias em que a precipitação diária é igual ou superior a 30 mm no ano	dias
R95p	Precipitação anual total em que $RR >$ percentil 95	mm

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Bacia do Atlântico Sudeste (BAS)

A climatologia dos acumulados pluviométricos anuais (PRCPTOT) varia de 800 mm a 2400 mm ao longo da BAS, com seus menores valores na área norte da bacia e maiores totais pluviométricos concentrados ao longo da Serra do Mar, ou seja, litoral do Estado de São Paulo, além da Costa Verde e Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro (Figura 2a). A área próxima à Serra da Mantiqueira também apresenta acentuados volumes de chuva. A porção norte da BAS é expressivamente influenciada pelos ventos mais quentes e secos do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS; Reboita *et al.*, 2019). Já as demais regiões sofrem significativo efeito do relevo local, causando chuvas orográficas mais frequentes. As frentes frias (Foss *et al.*, 2017) são os principais sistemas atmosféricos moduladores da precipitação na bacia no decorrer do ano, além dos eventuais episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) nos meses de primavera e de verão (Carvalho *et al.*, 2012). As tendências detectadas exibem aumento significativo de PRCPTOT em locais onde a chuva já é acentuada, como na Costa Verde e na Região Serrana do Rio de Janeiro (Figura 2b), com taxas de até +90 mm/década. Decréscimos significativos na precipitação anual total foram registrados de forma um pouco mais distribuída pela BAS, mas principalmente no Vale do Paraíba e no setor norte da bacia, variando de -50 a -100 mm/década.

Figura 2 – Climatologia anual (primeira coluna) para o período 1991-2020 e tendências observadas por década (segunda coluna) para o período 1975-2022 de (a-b) PRCPTOT [mm] e (c-d) CDD [dias] na BAS. Círculos vermelhos indicam tendências estatisticamente significativas com nível de confiança de 95%.



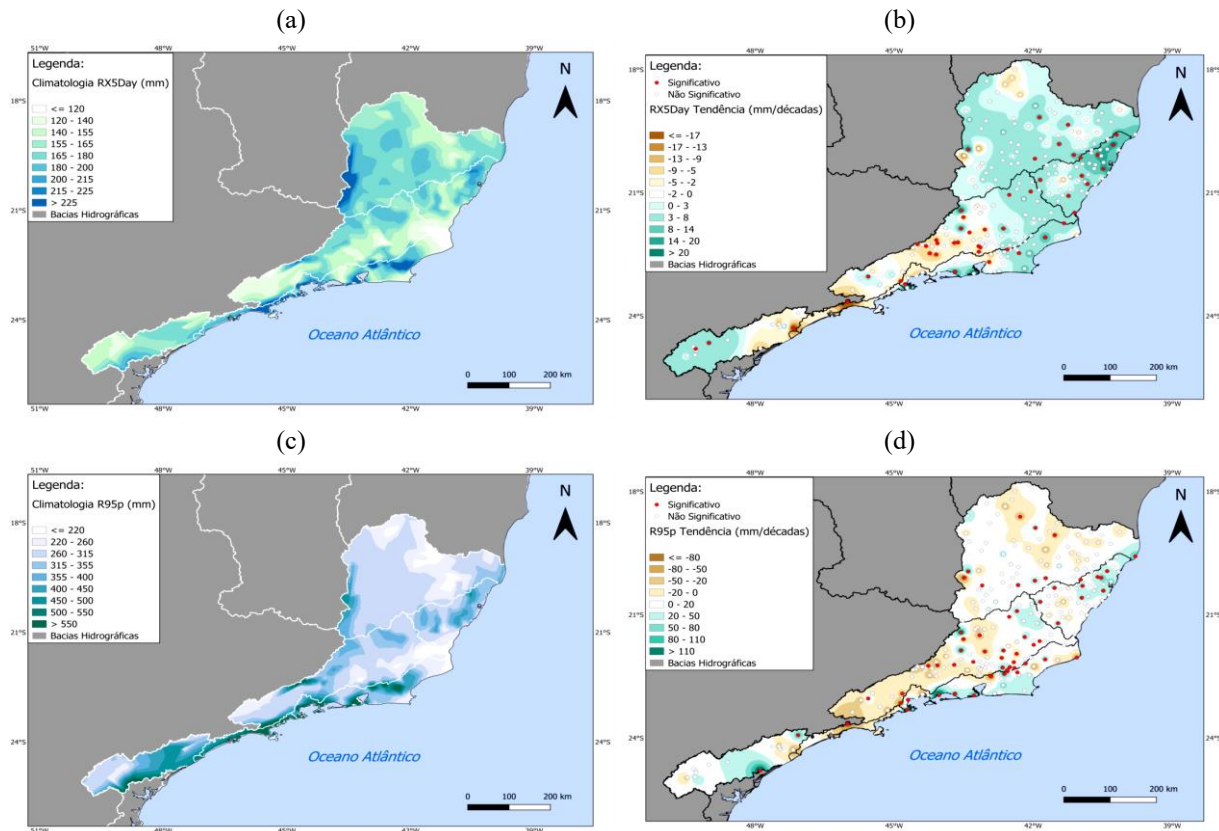
A climatologia dos dias secos consecutivos (CDD) revela como as regiões próximas ao oceano tem menos dias seguidos sem chuva (cerca de 20 dias no máximo), diferente das regiões mais distantes, nas quais os maiores números de dias secos consecutivos podem alcançar mais de 60 dias (Figura 2c). Sistemas frontais mais oceânicos conseguem induzir precipitação um pouco mais



frequente nas regiões próximas à costa, inclusive no inverno, a época mais seca do ano. Já as regiões mais afastadas do oceano podem ficar até 2 meses consecutivos sem registro de precipitação, especialmente no inverno, fato este que piora a propagação de focos de incêndio, principalmente nas últimas semanas da estação. Em relação às tendências identificadas, há reduções significativas dos dias secos consecutivos acontecendo na área central da BAS, envolvendo a Região Serrana do Rio de Janeiro, com diminuições de cerca de -3 dias/década (Figura 2d). Há tendência de elevação significativa de CDD em quase todo o restante da bacia, com taxas de +2 a +7 dias/década, levantando um alerta para períodos de seca mais duradouros e problemas com escassez hídrica.

Em relação à climatologia dos 5 dias consecutivos mais chuvosos (Rx5day), os maiores acumulados pluviométricos se concentram na área leste dos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo, além da porção oeste da bacia do rio Doce (Figura 3a). Isso provavelmente revela uma importante contribuição do oceano nas chuvas locais. Nessas regiões, Rx5day se estabelece em torno de 220 mm. A região Norte Fluminense apresenta os menores valores do indicador, por volta de 150 mm. Frequentemente, os maiores valores de Rx5day na BAS são registrados quando há um canal de umidade persistente entre a Amazônia e a região Sudeste do Brasil com acentuada convecção, por vezes organizado como uma ZCAS (Ferreira *et al.*, 2022). Nas tendências observadas, nota-se um aumento significativo de Rx5day no setor norte da bacia, passando de +10 mm/década (Figura 3b). Por outro lado, o Vale do Paraíba e o litoral de São Paulo parecem registrar uma tendência de diminuição do índice por volta de -10 mm/década.

Figura 3 – Climatologia anual (primeira coluna) para o período 1991-2020 e tendências observadas por década (segunda coluna) para o período 1975-2022 de (a-b) Rx5day [mm] e (c-d) R95p [mm] na BAS. Círculos vermelhos indicam tendências estatisticamente significativas com nível de confiança de 95%.



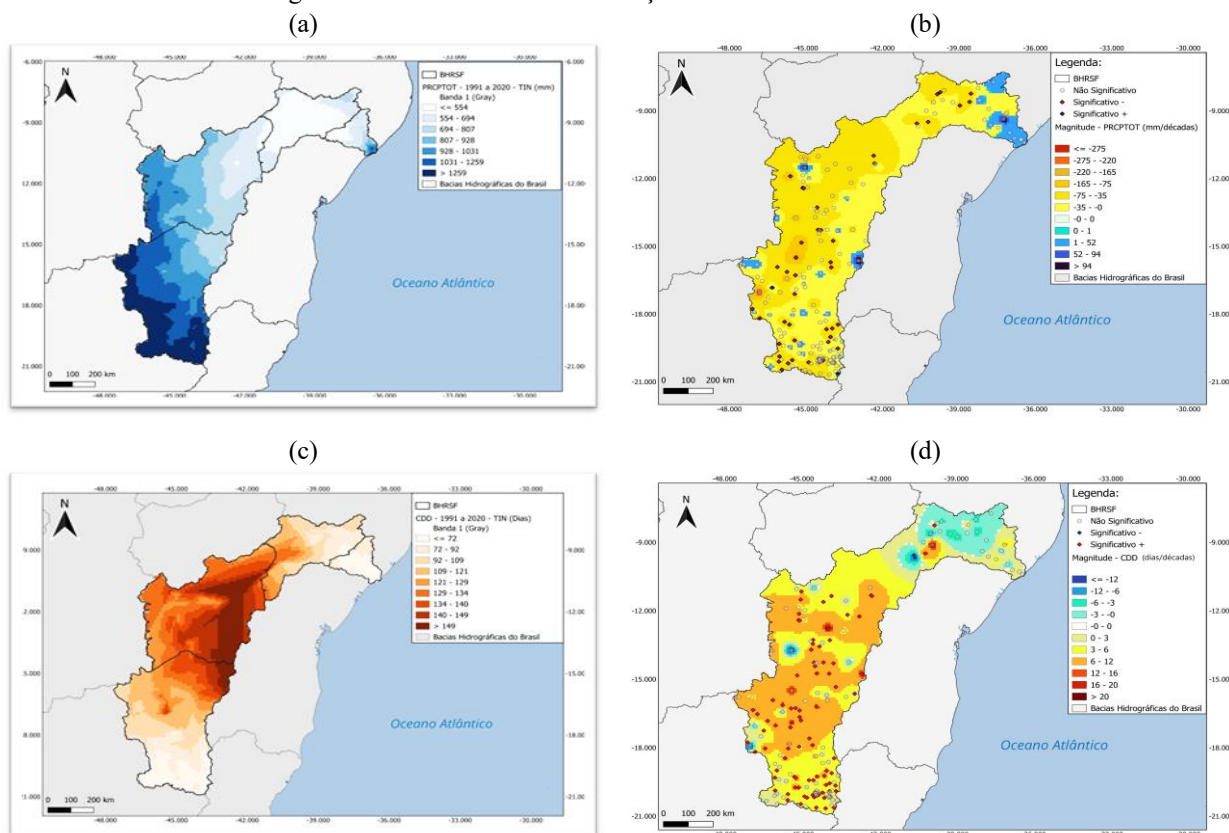
Com base no índice R95p, observa-se que a climatologia é similar a outros índices de precipitação, havendo maiores valores de chuvas fortes em toda a área leste da BAS, podendo alcançar valores superiores a 500 mm (Figura 3c). A porção norte da bacia apresenta mais uma vez

os menores valores, podendo atingir a casa de 240 mm. Esse índice reflete como o conjunto dos aspectos fisiográficos locais influenciam nos totais pluviométricos associados às chuvas intensas, além da passagem de sistemas frontais oceânicos. As tendências verificadas revelam que parte do litoral da BAS apresenta tendência de elevação de R95p, com taxas de cerca de +50 mm/década (Figura 3d). Ou seja, isso pode indicar que nos volumes finais, há chuvas mais severas acontecendo. Alguns pontos do vale do Paraíba e do setor norte da bacia apresentam redução do indicador.

### 3.2. Bacia do Rio São Francisco (BSF)

A climatologia de PRCPTOT mostra que a precipitação total anual varia de 500 mm no norte da BSF até cerca de 1300 mm no sul da bacia (Figura 4a). A área do baixo São Francisco está contida em um clima predominantemente semiárido, ou seja, com baixos acumulados pluviométricos. Já a região do alto São Francisco abrange uma porção tropical do continente, onde os totais pluviométricos são mais expressivos, especialmente durante a primavera e o verão, assim como na BAS (Luiz-Silva *et al.*, 2021). Em relação às tendências detectadas, verifica-se uma diminuição significativa da precipitação total anual ao longo de grande parte da bacia (Figura 4b). A magnitude desta tendência se estabelece em torno de -50 mm/década. Tal redução da precipitação total pode impactar de modo acentuado as atividades socioeconômicas que dependem dos recursos hídricos na BSF.

Figura 4 – Climatologia anual (primeira coluna) para o período 1991-2020 e tendências observadas por década (segunda coluna) para o período 1975-2022 de (a-b) PRCPTOT [mm] e (c-d) CDD [dias] na BSF. Círculos vermelhos indicam tendências estatisticamente significativas com nível de confiança de 95%.

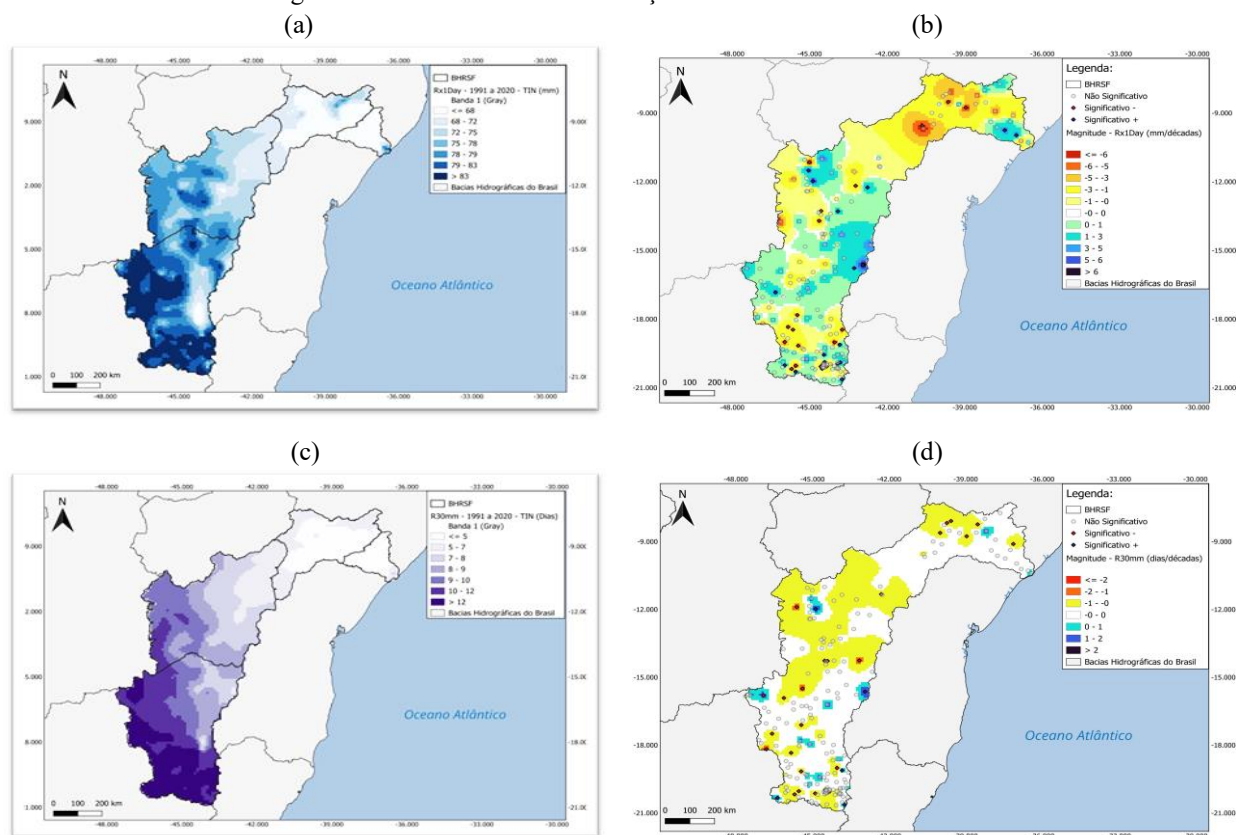


A climatologia de CDD mostra que anualmente é comum que a BSF registre mais de 100 dias consecutivos sem precipitação (Figura 4c). A maior frequência de dias secos seguidos ocorrer na porção central da BAS, no médio São Francisco, onde CDD alcança até 140 dias, ou seja, mais de 4 meses consecutivos sem chuva. Nessas áreas, a evapotranspiração é superior à precipitação na maior

parte dos meses do ano. Nas tendências identificadas, nota-se um aumento significativo no número de dias secos consecutivos em diversas das estações meteorológicas analisadas no setor centro-sul da BSF, com magnitude variando de +5 a +15 dias/década (Figura 4d). Os períodos de estiagem reduzem sensivelmente a vazão dos rios locais, ainda mais com um prolongamento da estação seca.

Com base no índice associado ao maior acumulado pluviométrico em 24 horas (Rx1day), assim como observado para PRCPTOT, nota-se menores valores no norte da BSF e maiores valores no sul da bacia, mas com pouca diferença entre as áreas, variando somente entre 70 e 80 mm, aproximadamente (Figura 5a). Vale destacar que esses valores se referem às médias dos maiores totais pluviométricos em apenas 1 dia, ou seja, certamente há valores superiores ocorrendo na BSF associados a determinados sistemas atmosféricos, como ZCAS e Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN; Reis *et al.*, 2021). As tendências observadas revelam direções bastante heterogêneas de Rx1day no decorrer dos últimos anos (Figura 5b). Enquanto alguns pontos no baixo São Francisco registram redução do indicador (-4 mm/década), outras localidades no médio São Francisco apontam para um aumento dos volumes de chuva em curtos períodos (+5 mm/década), apesar do aumento dos períodos secos nessa região. Isso provavelmente indica má distribuição da chuva no transcurso do tempo.

Figura 5 – Climatologia anual (primeira coluna) para o período 1991-2020 e tendências observadas por década (segunda coluna) para o período 1975-2022 de (a-b) Rx1day [mm] e (c-d) R30mm [dias] na BSF. Círculos vermelhos indicam tendências estatisticamente significativas com nível de confiança de 95%.



A climatologia de R30mm apresenta um comportamento bastante similar aos índices de precipitação anteriores, com menores valores no baixo São Francisco, e maiores valores no alto São Francisco (Figura 5c). Enquanto no norte da BSF a climatologia de R30mm é de 5 dias, no sul da bacia esse valor alcança 12 dias. Com relação às tendências verificadas, há uma diminuição na



quantidade de dias com chuvas superiores a 30 mm por ano em alguns pontos da bacia, concentrados principalmente no médio São Francisco, com magnitude por volta de -1 a -2 dias/década (Figura 5d). Comparando às tendências de Rx1day, verifica-se que a BSF vem mostrando uma modificação mais expressiva em relação à intensidade das chuvas intensas do que em relação à frequência.

#### 4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função da relevante importância da BAS e da BSF para a população e economia local, a investigação acerca da climatologia e das tendências detectadas ao longo das últimas décadas faz-se fundamental para uma melhor compreensão do clima da região. Diante de possíveis alterações nos padrões de precipitação, se faz necessário a implementação de estratégias para mitigar os possíveis danos associados, seja pelo excesso ou pela falta de chuva.

A maior frequência de eventos extremos de precipitação na BAS está associada com a interação entre os sistemas atmosféricos atuantes na região e os aspectos fisiográficos locais, como o relevo, a vegetação e a proximidade com o oceano. Dessa maneira, em geral, os maiores acumulados pluviométricos estão concentrados no litoral do Estado de São Paulo, além da Costa Verde e da Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. Em relação às tendências identificadas, vale destacar o aumento das chuvas intensas especialmente na região litorânea da bacia, o que pode agravar desastres relacionados a inundações e deslizamentos de terra.

A BSF apresenta uma grande variabilidade espacial dos extremos de precipitação, com menor intensidade no norte da bacia (baixo São Francisco) e maior intensidade no sul da bacia (alto São Francisco). As tendências observadas destacam um cenário de um clima mais seco ao longo das últimas décadas na BSF, com redução dos volumes de chuva e aumento dos dias secos consecutivos. Este panorama reforça o alerta associado aos impactos da seca nos recursos hídricos locais.

As mudanças nos padrões de precipitação e a intensificação de chuvas severas e secas prolongadas exigem a implementação de estratégias de adaptação e gestão hídrica eficazes para mitigar os impactos dessas modificações no clima. A compreensão dessas tendências e a adoção de políticas públicas voltadas para a sustentabilidade hídrica são fundamentais para garantir o desenvolvimento econômico e social das bacias, minimizando os impactos adversos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, L.M.V.; JONES, C.; POSADAS, A.N.D.; QUIROZ, R.; *et al.* (2012) “*Precipitation characteristics of the South American Monsoon System derived from multiple datasets*”. Journal of Climate 25(13), pp. 4600-4620.
- CEPED/UFSC. (2013) “*Brazilian Atlas of Natural Disasters*”. Center for Studies and Research in Engineering and Civil Defense of the Federal University of Santa Catarina, Florianópolis.
- DEBORTOLI, N.S.; CAMARINHA, P.I.M.; MARENGO, J.A.; RODRIGUES, R.R. (2017) “*An index of Brazil’s vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change*”. Natural Hazards 86, pp. 557-582.
- FERREIRA, G.W.S.; REBOITA, M.S. (2022) “*A new look into the South America precipitation regimes: observation and forecast*”. Atmosphere 13(6), 873.
- FOSS, M.; CHOU, S.C.; SELUCHI, M.E. (2017) “*Interaction of cold fronts with the Brazilian plateau: A climatological analysis*”. International Journal of Climatology 37(9), pp. 3644-3659.



FRICH, P.; ALEXANDER, L.V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B. (2022) “*Observed coherent changes in climatic extremes during the 2nd half of the 20th century*”. Climatic Research 19, pp. 193-212.

GALLINA, V.; TORRESAN, S.; CRITTO, A.; SPEROTTO, A. (2016) “*A review of multi-risk methodologies for natural hazards: consequences and challenges for a climate change impact assessment*”. Journal of Environmental Management 168, pp. 123–132.

IPCC (2021) “*Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*” [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

LUIZ-SILVA, W.; OSCAR-JÚNIOR, A.C.; CAVALCANTI, I.F.A.; TREISTMAN, F. (2021) “*An overview of precipitation climatology in Brazil: Space-time variability of frequency and intensity associated with atmospheric systems*”. Hydrological Sciences Journal 66(2), pp. 289-308.

OSCAR-JÚNIOR, A.C.S. (2021) “*Precipitation trends and variability in river basins in urban expansion areas*”. Water Resources Management 35, pp. 661-674.

REBOITA, M.S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, B.A.; PINHEIRO, R.F.; ROCHA, R.P. (2019) “*The South Atlantic Subtropical Anticyclone: present and future climate*”. Frontiers in Earth Sciences 7, 8.

REIS, J.S.; GONÇALVES, W.A.; MENDES, D. (2021) “*Climatology of the dynamic and thermodynamic features of upper tropospheric cyclonic vortices in Northeast Brazil*”. Climate Dynamics 57, pp. 3413-3431.

SKANSI, M.M.; BRUNET, M.; SIGRO, J.; AGUILAR, E. (2013) “*Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extremes indices over South America*”. Global and Planetary Change 100, pp. 295-307.

SNEYERS, R. (1990) “*On the statistical analysis of series of observations*”. World Meteorological Organization (WMO), Technical Note 143, 192.

THORNTON, P.K.; ERICKSEN, P.J.; HERRERO, M.; CHALLINOR, A.J. (2014) “*Climate variability and vulnerability to climate change: a review*”. Global Change Biology 20(11), pp. 3313-3328.

WESTRA, S.; FOWLER, H.J.; EVANS, J.P.; ALEXANDER, L.V. (2014) “*Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall*”. Reviews of Geophysics 52(3), pp. 522-555.

## AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao auxílio do Programa de Apoio a Docente Recém-Doutor Antonio Luis Vianna (ALV) 2023/2024 da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) por meio do Edital CEPG N° 565 de 11 de abril de 2023 e Processo N° 23079.222807/2023-98. O primeiro autor agradece também ao apoio da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) por meio do N° do Processo SEI 260003/005700/2024 – APQ1 e Ref. Proc. E-26/210.524/2024 referentes ao auxílio outorgado através do Edital E\_13/2023 – Auxílio Básico à Pesquisa (APQ1) – 2023. O segundo autor agradece ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação

Científica (PIBIC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela bolsa concedida. O terceiro autor agradece ao PIBIC do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida. Todos os autores agradecem também à FAPERJ pelo auxílio através do Edital E\_20/2022 – Programa de Apoio a Projetos Temáticos no Estado do Rio de Janeiro – 2022 por meio do N° do Processo SEI 260003/001158/2023 e Ref. Proc. 210.039/2023.