

## **XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **SECAS METEOROLÓGICA, AGRÍCOLA, HIDROLÓGICA NA BACIA DO RIO ITACAIÚNAS (PA).**

*Paulo Roberto Estumano Beltrão Júnior<sup>1</sup>; João Henrique Macedo Sá<sup>1</sup>; Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão<sup>1</sup>; Juliana Andrade Campos<sup>1</sup>; Yuri Antônio da Silva Rocha<sup>2</sup>; Renata Gonçalves Tedeschi<sup>1</sup>; Rosane Barbosa Lopes Cavalcante<sup>1</sup> & Paulo Rógenes Monteiro Pontes<sup>1</sup>*

#### **RESUMO**

Este estudo investiga a ocorrência e evolução de secas meteorológica, agrícola e hidrológica na Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas, sudeste do Pará, entre 1981 e 2024. Utilizaram-se os índices SPI e SPEI em escalas de 1, 3, 6, 12 e 24 meses, a partir de dados de precipitação (CHIRPS) e evapotranspiração potencial (TerraClimate). Os resultados revelaram padrão sazonal acentuado, com correlação negativa entre precipitação e ETP, e tendência significativa de intensificação de secas, especialmente após 2000. O SPI identificou secas extremas curtas, enquanto o SPEI captou déficits prolongados, ressaltando a importância de ambos os índices para caracterização multiescalar das secas. A análise de tendência (Mann-Kendall, Sen's Slope e Pettitt) indicou agravamento do regime seco, refletindo efeitos das mudanças climáticas e das transformações antrópicas na cobertura da terra. A integração dos dois índices subsidia o planejamento ambiental e estratégias de adaptação ao risco climático regional.

**PALAVRAS-CHAVE:** DÉFICIT HÍDRICO, ÁGUA, MUDANÇAS CLIMÁTICAS.

#### **ABSTRACT**

This study investigates the occurrence and evolution of meteorological, agricultural, and hydrological droughts in the Itacaiúnas River Basin, southeastern Pará, from 1981 to 2024. The Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) were applied at 1-, 3-, 6-, 12-, and 24-month timescales using CHIRPS precipitation and TerraClimate potential evapotranspiration data. Results revealed a marked seasonal pattern, with a negative correlation between precipitation and PET, and a significant trend toward drought intensification, especially after 2000. SPI was effective in detecting short-term extreme droughts, while SPEI captured prolonged moisture deficits, highlighting the complementary nature of both indices for multiscale drought characterization. Trend analyses using Mann-Kendall, Sen's Slope, and Pettitt tests indicated a worsening dry regime, reflecting the impacts of climate change and land cover transformations. The integration of SPI and SPEI supports environmental planning and the development of regional climate risk adaptation strategies.

#### **INTRODUÇÃO**

A região amazônica vem sendo impactada pela intensificação de eventos de seca ao longo das últimas décadas, fenômeno associado às mudanças climáticas e à crescente pressão antrópica sobre os ecossistemas naturais (ZOGAHIB et al., 2024; BRANDÃO; ARIEIRA; NOBRE, 2024). Pesquisas recentes apontam aumento expressivo na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos,

1) Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável – ITVDS; Belém, PA; 051920007244; paulo.junior@pq.itv.org; paulo.pontes@itv.org; joao.macedo@pq.itv.org; edivaldo.serrao@pq.itv.org; juliana.campos@pq.itv.org; renata.tedeschi@itv.org; [rosane.cavalcante@itv.org](mailto:rosane.cavalcante@itv.org)  
2) Instituto de Geociências, Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais (LEMHA). R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA, 66075-110. [eng.yurirocha@gmail.com](mailto:eng.yurirocha@gmail.com)

sobretudo na porção oriental da Amazônia (SANTOS et al., 2017; SERRÃO et al., 2017; GOMES et al., 2018).

Nesse contexto, a Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas (BHRI), no sudeste do Pará, apresenta alterações intensas no uso e cobertura da terra, agravando os efeitos das anomalias climáticas (OLIVEIRA e ARAÚJO, 2013). A região é impactada por diferentes tipos de seca, com repercussões ambientais e socioeconômicas (GOMES et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2024; DUTRA e ELMIRO, 2024). Estudos apontam que o desmatamento foi o principal fator de aumento da vazão anual (CAVALCANTE et al., 2019), e que a preservação de áreas protegidas contribui significativamente para manter a evapotranspiração e os serviços ecossistêmicos (PONTES et al., 2019).

Entre os principais indicadores de seca estão o SPI (Standardized Precipitation Index), sensível a eventos curtos e localizados, e o SPEI (Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index), que inclui a evapotranspiração potencial e se mostra eficaz na detecção de eventos prolongados e de maior abrangência espacial. Ambos os índices são recomendados pela OMM e apresentam papel complementar na avaliação multiescalar das secas, permitindo distinguir situações em que o déficit pluviométrico é agravado por temperaturas elevadas. Essa diferenciação é crucial para compreender a dinâmica das secas meteorológica, agrícola e hidrológica, bem como para delinear estratégias de gestão hídrica (LI et al., 2020; SILVA et al., 2022).

Sendo assim, a seca pode ser classificada de acordo com seus impactos. A seca meteorológica é caracterizada pela redução da precipitação e identificada por índices como o SPI (FONTÃO et al., 2022). A seca agrícola está relacionada ao déficit hídrico no solo, afetando a vegetação e a produção (GONÇALVES et al., 2021; SANTOS et al., 2021). A seca hidrológica resulta da diminuição dos níveis dos corpos hídricos, comprometendo usos múltiplos da água (GOMES et al., 2022; FERNANDES et al., 2021). Esses três tipos de seca estão interligados, sendo que déficits meteorológicos prolongados frequentemente desencadeiam impactos agrícolas e, posteriormente, hidrológicos.

Diante desse cenário, estratégias integradas de monitoramento e mitigação dos riscos socioambientais decorrentes do agravamento das secas na Amazônia são essenciais. Portanto, este estudo visa avaliar a ocorrência, intensidade e padrões espaço-temporais dos diferentes tipos de seca na BHRI entre 1981 e 2024, utilizando os índices SPI e SPEI em escalas temporais de 1, 3, 6, 12 e 24 meses. A finalidade é identificar a concordância entre os índices e subsidiar medidas de adaptação climática.

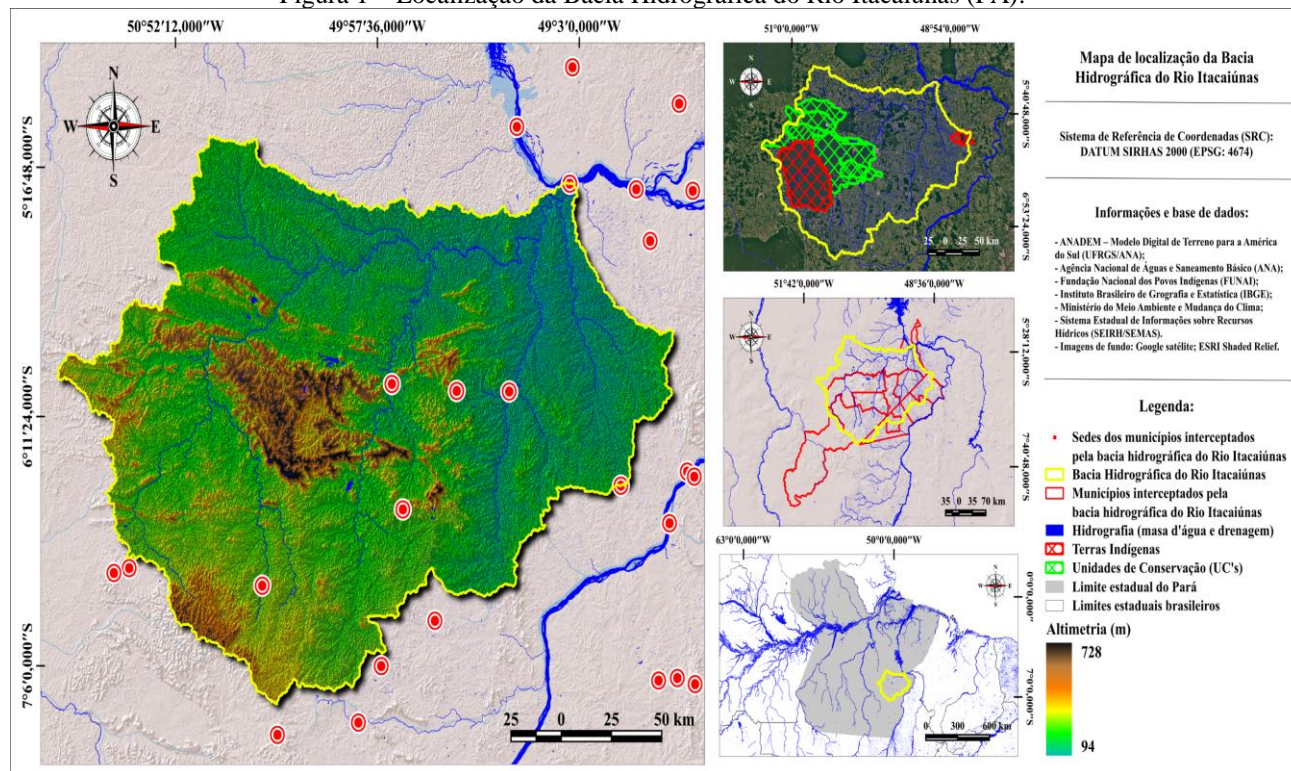
## **METODOLOGIA**

### **Área de estudo**

A área de estudo se refere à BHRI, tributária do Rio Tocantins, que intercepta onze municípios paraenses: Marabá, Parauapebas, Curionópolis, Canaã dos Carajás, Água Azul do Norte, Eldorado dos Carajás, São Geraldo do Araguaia, Piçarra, Ourilândia do Norte, Xinguara e Sapucaia. A bacia possui 41.732 km<sup>2</sup> e perímetro de 1.782,13 km, com variadas feições geomorfológicas e clima sazonal, com períodos úmido e seco bem definidos, o que influencia os padrões de vazão (PONTES et al., 2019; LACERDA et al., 2022; SILVA et al., 2022). Inserida no Arco do Desmatamento, a BHRI passou por intensas mudanças antrópicas desde os anos 1970, com substituição florestal por pastagens. Isso alterou o balanço hídrico, com aumento da vazão e redução da evapotranspiração.

Áreas preservadas, como o Mosaico de Carajás, ainda desempenham papel crucial na manutenção dos serviços ecossistêmicos (PONTES et al., 2019; CAVALCANTE et al., 2019).

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas (PA).



## Bases de dados

Os dados de precipitação foram obtidos a partir do Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station v3.0 (CHIRPS) (Funk et al., 2015; Climate Hazards Center, 2024), um produto estimado que combina dados de satélite com observações de estações meteorológicas, com resolução espacial de  $0,05^\circ$  (~5,5 km). Os dados de Evapotranspiração Potencial (ETP) foi representada pela evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) calculada segundo Penman-Monteith (ASCE), obtida do conjunto TerraClimate extraídos via Google Earth Engine (ABATZOGLOU et al., 2018), com resolução de ~4 km e abrangência mensal de 1981 a 2024. A ETP no TerraClimate é calculada pelo método de Penman-Monteith, que considera variáveis como radiação, temperatura, umidade e vento. Ambos os dados são mensais e expressos em milímetros por mês (mm/mês). Para ambos os dados, foi considerada a série histórica de janeiro de 1981 a dezembro de 2024.

## Processamento e análise

A partir desses dados, foi avaliada a relação estatisticamente significativa ( $p\text{-valor} < 0,05$ ) entre precipitação e ETP, sendo aplicada a correlação de *Spearman* pixel a pixel por meio do *software RStudio*. Para cada mês do ano, foram empilhados os rasters correspondentes de precipitação e ETP. A correlação foi calculada entre os valores mensais de cada pixel ao longo dos anos.

Posteriormente, foram geradas séries temporais do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) e Índice de Precipitação Evapotranspiração Padronizado (SPEI) para as escalas de 1, 3, 6, 12 e 24 meses no *software RStudio*, a partir do pacote SPEI. Os padrões de seca foram representados graficamente utilizando o pacote *ggplot2* do *software R*. A identificação e classificação dos períodos



de seca seguiram os critérios estabelecidos por MCKEE *et al.* (1993) e SVOBODA *et al.* (2012), conforme especificado na Tabela 1.

Tabela 1 – Categoria e intervalo de valores de SPI/SPEI para classificação.

Categoria	Intervalo de SPI/SPEI
Umidade extrema	$\geq +2,00$
Muito úmido	+1,50 a +1,99
Moderadamente úmido	+1,00 a +1,49
Normal	-0,99 a +0,99
Seca moderada	-1,00 a -1,49
Seca severa	-1,50 a -1,99
Seca extrema	$\leq -2,00$

Fonte: Mckee *et al.* (1993) e Svoboda *et al.* (2012).

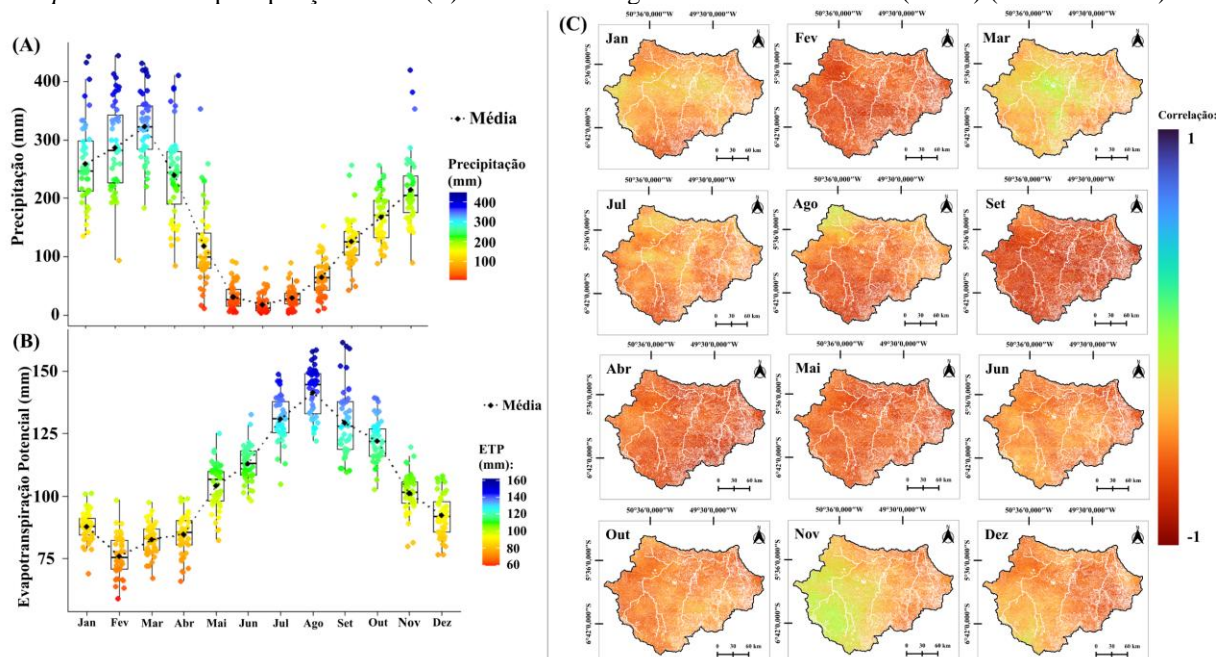
As escalas temporais foram definidas segundo a literatura, sendo 1 a 3 meses para seca meteorológica (MCKEE *et al.*, 1993; SANTOS *et al.*, 2021) 6 e 12 meses para seca agrícola, considerando o período das culturas agrícolas semestrais e anuais (VICENTE-SERRANO *et al.*, 2010; MACHADO-SILVA *et al.*, 2021; SANTOS *et al.*, 2021, COSTA *et al.*, 2023) e 24 meses para seca hidrológica (WMO, 2016; SANTOS *et al.*, 2021), permitindo uma análise multiescalar capaz de distinguir os diferentes tipos de seca conforme a propagação do déficit hídrico no tempo.

Complementarmente, dada sua funcionalidade em contextos climáticos em regiões tropicais e subtropicais, os testes de Mann-Kendall, Sen's Slope e Pettitt foram aplicados para averiguar tendências temporais e ruptura de padrões de seca em um cenário de mudanças climáticas intensificadas (MISHRA E SINGH, 2010; ZARGAR *et al.*, 2011; MACHADO-SILVA *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2023).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Precipitação e Evapotranspiração potencial (ETP)

Figura 2 – Dinâmica interanual média da precipitação (A); ETP (B), e padrão espaço-temporal médio da correlação de Spearman entre precipitação e ETP (C) na Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas (BHRI) (Série Histórica).



Conforme a série histórica, a média anual da precipitação é de  $1879,51 \pm 264,78 \text{ mm.ano}^{-1}$ , variando mensalmente de  $18,37 \pm 16,78 \text{ mm}$  a  $322,71 \text{ mm}$  (Figura 2A). Por sua vez, a ETP anual média é de  $1266,45 \pm 57,10 \text{ mm.ano}^{-1}$ , com variação interanual de  $76,13 \pm 8,18 \text{ mm}$  a  $141,55 \pm 9,74 \text{ mm}$  (Figura 2B). O pico de precipitação ocorre durante o trimestre fevereiro, março e abril, com volume médio de  $282,94 \pm 41,72 \text{ mm}$ , sendo o período de menor ETP, cuja respectiva média nesse mesmo período é de  $81,18 \pm 4,48 \text{ mm}$ .

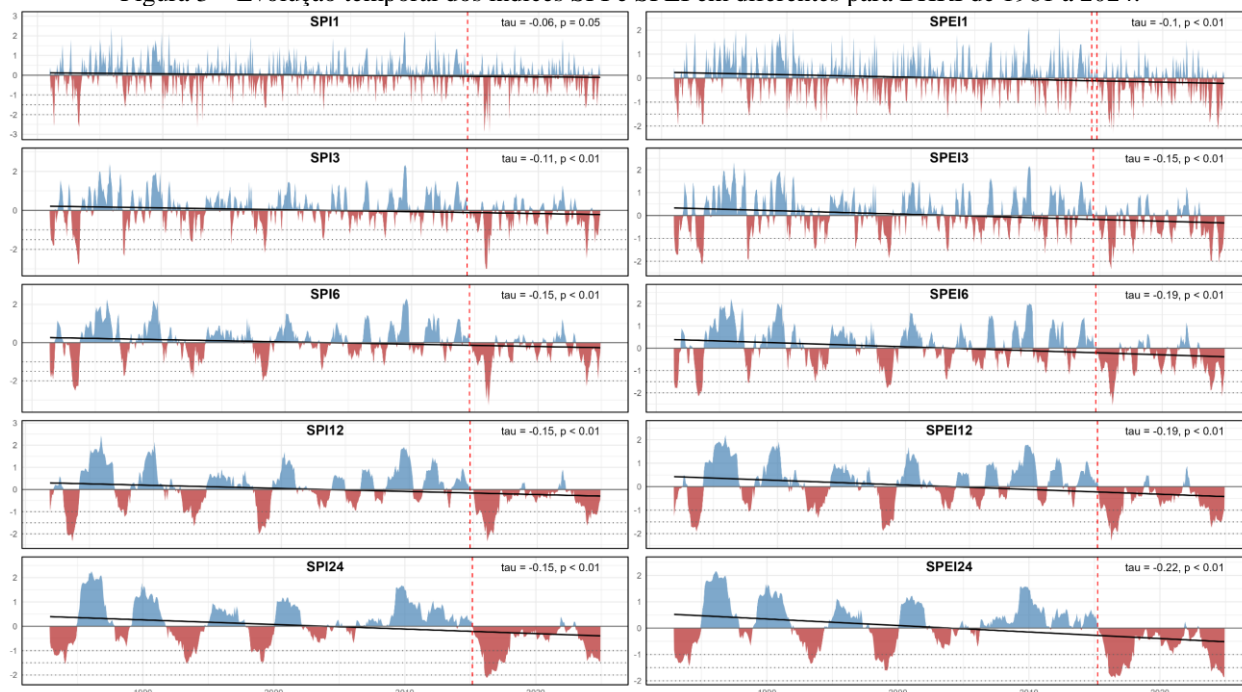
Por outro lado, no trimestre julho, agosto e setembro, é observado maior ETP, com média de  $133,98 \pm 6,60 \text{ mm}$ , sendo análogo ao trimestre junho, julho e agosto, no qual o volume de precipitação é de  $26,59 \pm 7,16 \text{ mm}$ . A precipitação aumenta a umidade do solo e reduz o déficit de pressão de vapor, o que diminui a demanda atmosférica por evaporação, enquanto nos meses de estiagem, o processo é invertido, elevando a ETP.

Nesse contexto, constatou-se que a relação é inversamente proporcional e estatisticamente significativa ( $p \leq 0,05$  em 10 dos 12 meses, com até 100% dos pixels significativos na maioria dos meses, exceto em março e novembro, que apresentaram menores percentuais de significância – 63% e 52,61%, respectivamente; Figura 2C).

### Tendências temporais

Os índices SPI e SPEI para diferentes tipos de seca e escalas temporais no período analisado para a BHRI, indicaram uma tendência estatisticamente significativa de intensificação das condições de seca. Os resultados do teste de *Mann-Kendall* indicam tendências negativas (*Tau* entre -0,06 e -0,22), sugerindo uma crescente frequência de períodos secos. Essa tendência é mais acentuada nas escalas SPEI6, SPEI12 e SPEI24, com valores de *Tau* próximos de -0,19 e -0,22, todos com  $p < 0,01$ , indicando significância estatística robusta.

Figura 3 – Evolução temporal dos índices SPI e SPEI em diferentes para BHRI de 1981 a 2024.



O estimador de *Sen* aponta uma inclinação negativa progressiva à medida que se aumenta a escala temporal dos índices, evidenciando uma intensificação das secas agrícolas e hidrológicas. O SPI1 e o SPEI1, representativos da seca meteorológica, mostram tendências mais suaves e declínios

menos acentuados, com menor magnitude no *Sen's Slope*, mas ainda relevantes para o início do processo de degradação hídrica.

Já o teste de *Pettitt* identificou pontos de ruptura nos regimes hidrológicos a partir de 2014, especialmente entre 2014 e 2015, período coincidente com eventos de *El Niño* e anomalias térmicas. Esses *breakpoints* podem indicar uma mudança estrutural nos padrões climáticos da região, com secas mais frequentes e severas após essa data. A concordância entre os três métodos estatísticos *Mann-Kendall*, *Sen's Slope* e *Pettitt* reforça a evidência de que o regime de secas na BHRI passou por uma transição significativa, sugerindo impactos crescentes das mudanças climáticas e do uso da terra na região.

Tabela 2: Eventos climáticos secos durante o período de 1981-2024 nas escalas temporais 1, 3, 6, 12 e 24 de SPI e SPEI.

	SPI-1	SPEI-1	SPI-3	SPEI-3	SPI-6	SPEI-6	SPI-12	SPEI-12	SPI-24	SPEI-24
Moderado	37	42	15	25	15	20	10	8	11	8
Severo	8	14	6	7	6	6	3	3	1	2
Extremo	5	1	2	0	2	0	0	0	0	0
Total	50	57	23	32	23	26	13	11	12	10

### Secas Meteorológicas (SPI e SPEI 1 e 3)

Os índices SPI e SPEI, nas escalas de 1 e 3 meses, evidenciaram a intensificação das secas meteorológicas na BHRI. Durante o período analisado, o SPI-1 registrou 50 eventos de seca, sendo 5 extremos e 8 severos, enquanto o SPEI-1 apontou 57 eventos, com 1 extremo e 14 severos. Nas escalas de 3 meses, o SPI-3 indicou 23 eventos (2 extremos e 6 severos), e o SPEI-3 registrou 32, com 7 severos e ausência de eventos extremos.

Os eventos severos e extremos concentram-se majoritariamente após 2000, destacando os anos de 2015–2016, 2020, 2023 e 2024, recorrentes em todas as séries analisadas (Figura 3). Tais ocorrências possivelmente coincidem com eventos *El Niño* e aumentos de temperatura, conforme apontado por SANTOS *et al.* (2021) e ZOGAHIB *et al.* (2024). A atuação conjunta de SPI-3 e SPEI-3 em anos como 1998 e 2015–2016 indica impactos críticos na disponibilidade hídrica de curto prazo. O período entre setembro e dezembro de 2015 revelou eventos intensos: SPI-1 classificou a seca como extrema e o SPEI-1 como severa.

No SPI-3, o evento extremo estendeu-se de outubro de 2015 a maio de 2016, enquanto o SPEI-3 destacou a severidade entre julho e novembro de 2024. Estudos como OLIVEIRA *et al.* (2022) identificaram 25 eventos para SPI-1 e 13 para SPI-3 no ABC Paulista (2000–2020), indicando maior frequência na segunda década. Contudo, o efeito do *El Niño* difere regionalmente, sendo mais intenso no Sudeste que na Amazônia, onde circulações locais e desmatamento modulam os impactos (MARENGO *et al.*, 2024; ZOGAHIB *et al.*, 2024). DUTRA e ELMIRO (2024) destacam a eficácia das escalas curtas para secas meteorológicas, enquanto OLIVEIRA *et al.* (2024) reforçam a sensibilidade do SPEI aos cenários RCP.

### Secas Agrícolas (SPI e SPEI 6 e 12)

Os índices SPI-6, SPEI-6, SPI-12 e SPEI-12 evidenciaram, com maior clareza, a frequência e intensidade das secas agrícolas na BHRI. O SPI-6 registrou 23 eventos, com 6 classificados como severos e 2 como extremos, enquanto o SPEI-6 identificou 26 eventos, também com 6 severos, mas

sem ocorrência de secas extremas, o que sugere uma maior sensibilidade do SPEI à variabilidade evaporativa. Já o SPI-12 e o SPEI-12 indicaram, respectivamente, 13 e 11 eventos, ambos com 3 episódios severos, sem registro de secas extremas. Esses resultados indicam maior persistência e gravidade das secas no semestre úmido-seco e transições sazonais.

Os dados corroboram estudos como BRANDO *et al.* (2019), que destacam impactos prolongados em ecossistemas tropicais; SILVA E PEREIRA (2023), que reforçam a efetividade do SPI-6 e SPI-12 na caracterização agrícola e hidrológica das secas; e CUMPLIDO (2023), que evidenciou maior abrangência do SPEI em detectar déficits hídricos prolongados. Ainda, estudos recentes (ARAÚJO JÚNIOR *et al.*, 2020; MARENGO *et al.*, 2024; BRANDÃO *et al.*, 2024; SOUZA *et al.*, 2024) alertam para os riscos crescentes à segurança hídrica e alimentar na Amazônia frente à intensificação das secas e às mudanças climáticas.

### **Secas Hidrológicas (SPI e SPEI 24)**

A análise dos índices SPI-24 e SPEI-24 demonstrou que as secas hidrológicas na BHRI são pouco frequentes, porém apresentam duração prolongada e severidade capaz de comprometer o regime hídrico. Foram identificados 12 eventos pelo SPI-24 (1 severo) e 10 pelo SPEI-24 (2 severos), sem registros extremos. O período de 2015–2017 destacou-se como o mais crítico, refletindo a combinação entre déficit pluviométrico e temperaturas elevadas. Esses resultados reforçam achados de SALIMI *et al.* (2021) e WALKER *et al.* (2024), que associam anomalias térmicas à intensificação das secas quando avaliadas pelo SPEI.

A sensibilidade do SPEI-24 à variabilidade térmica evidencia sua relevância para identificar déficits acumulados que afetam o armazenamento hídrico e o fluxo fluvial. Conforme sugerem Mishra e Singh (2010) e Zargar *et al.* (2011), o uso conjunto de SPI-24 e SPEI-24 é essencial para detectar diferentes mecanismos de seca e subsidiar estratégias de mitigação. Os resultados também dialogam com OLIVEIRA *et al.* (2022) e CUMPLIDO (2023), que ressaltam os efeitos de secas prolongadas sobre o abastecimento e a produção hidrelétrica em bacias tropicais. Portanto, a integração desses índices fornece uma visão abrangente para o planejamento de políticas de gestão hídrica e adaptação climática, considerando os riscos futuros de intensificação das secas na Amazônia Oriental.

### **CONCLUSÕES**

Os resultados evidenciaram uma intensificação significativa das secas na BHRI, marcada por correlação negativa entre precipitação e evapotranspiração potencial e por rupturas nos regimes hidrológicos a partir de 2014.

Os índices SPI e SPEI demonstraram comportamentos complementares, o SPI foi mais sensível à detecção de secas curtas e intensas, enquanto o SPEI destacou-se na identificação de déficits prolongados, especialmente nas escalas agrícola e hidrológica. A análise multi-escalar permitiu distinguir com precisão os diferentes tipos de seca e identificar tendências estatisticamente significativas de agravamento, associadas às mudanças climáticas e à intensificação do uso da terra.

A integração de SPI e SPEI mostrou-se fundamental para o monitoramento contínuo e para o planejamento de ações de mitigação e adaptação regional. Os achados deste estudo contribuem com subsídios técnicos para a formulação de políticas públicas voltadas à gestão sustentável dos recursos hídricos e à resiliência climática da Amazônia Oriental.



## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Tecnológico Vale – ITV por todo o apoio e investimento realizado no grupo de pesquisa de Geologia Ambiental e Recursos Hídricos, o qual possibilitou o desenvolvimento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ABATZOGLOU, J. T., DOBROWSKI, S. Z., PARKS, S. A., e HEGEWISCH, K. C. (2018). “*TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015*”. *Scientific data*, 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>.
- ARAUJO JUNIOR, L. M.; DE SOUZA FILHO, F. de A.; CAMELO CID, D. A.; OLIVEIRA DA SILVA, S. M.; SILVEIRA, C. da S. “*Avaliação de índices de seca meteorológica e hidrológica em relação ao impacto de acumulação de água em reservatório: um estudo de caso para o reservatório de Jucazinho-PE*”. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, [S.l.], v. 13, n. 2, p. 382–398, ago. 2020. DOI: 10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.2.65562.
- BRANDÃO, D. O.; ARIEIRA, J.; NOBRE, C. A. “*Impactos das mudanças climáticas na sociobioeconomia da Amazônia*”. *Estudos Avançados*, v. 38, n. 112, p. 249–256, 2024. DOI: 10.1590/s0103-4014.202438112.014.
- BRANDO, PAULO M.; PAOLUCCI, LUCAS; UMMENHOFER, CAROLINE C.; ORDWAY, ELSA M.; HARTMANN, HENRIK; CATTAN, MEGAN E.; RATTIS, LUDMILA; MEDJIBE, VINCENT; COE, MICHAEL T.; BALCH, JENNIFER. “*Droughts, wildfires, and forest carbon cycling: a pantropical synthesis*”. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Palo Alto, v. 47, p. 555–581, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-082517-010235>.
- CAVALCANTE, R. B. L.; PONTES, P. R. M.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; SOUZA, E. B. de. “*Opposite effects of climate and land use changes on the annual water balance in the Amazon arc of deforestation*”. *Water Resources Research*, v. 55, p. 3092–3106, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2019WR025083>. Acesso em: 23 jun. 2025.
- COSTA, F.R.C., SCHIETTI, J., STARK, S.C. AND SMITH, M.N. (2023), “*The other side of tropical forest drought: do shallow water table regions of Amazonia act as large-scale hydrological refugia from drought?*”. *New Phytol*, 237: 714-733. <https://doi.org/10.1111/nph.17914>
- CUMPLIDO, M. A., INOCENTE, M. C., PEREIRA DE MEDEIROS, T., SAMPAIO DE OLIVEIRA, G., ; MARENGO, J. A. (2023). “*Secas e crises hídricas no Sudeste do Brasil: um histórico comparativo entre os eventos de 2001, 2014 e 2021 com enfoque na bacia do rio Paraná*”. *Revista Brasileira De Climatologia*, 32(19), 129–153. <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16154>
- DUTRA, DÉBORA JOANA; ELMIRO, MARCOS ANTÔNIO TIMBÓ. “*Técnicas De Sensoriamento Remoto Aplicados Na Análise De Seca Em Bacias Hidrográficas: Estudo De Caso Na Sub-Bacia Do Ribeirão Serra Azul – MG*”. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 25, n. 97, p. 21–43, 2024. DOI: [10.14393/RCG259763493](https://doi.org/10.14393/RCG259763493).
- FERNANDES, V. R., CUNHA, A. P. M. DO A., PINEDA, L. A. C., LEAL, K. R. D., COSTA, L. C. O., BROEDEL, E., ... MARENGO, J. (2021). “*Secas e os impactos na região sul do brasil*”. *Revista Brasileira De Climatologia*, 28. <https://doi.org/10.5380/rbclima.v28i0.74>
- FONTÃO, P. A. B., VARGAS MOLINA, J., & PANEQUE SALGADO, P. (2022). “*Avaliação Dos Riscos De Secas Na Região Metropolitana De São Paulo*”. *RAEGA - O Espaço Geográfico Em Análise*, 55, 3–24. <https://doi.org/10.5380/raega.v55i0.77449>
- GOMES, D. C., LIMA, A. M. M. DE, JUNIOR, J. DE A. S., & SERRÃO, E. A. DE O. (2018). “*Impactos das mudanças de uso da terra e dos eventos climáticos extremos em sistemas hidrológicos*



- da amazônia oriental - bacia do rio capim (pa-ma)". REVISTA GEOGRÁFICA ACADÊMICA, 12(2), 153–172.
- GOMES, D. J. C., SILVA, L. P. DA, FERREIRA, N. S., PIRES, E. A., OLIVEIRA, M. R. DA S., LIMA, I. C. P., & DIAS, G. F. DE M. (2022). "Variabilidade hidroclimática e alterações do uso e cobertura da terra, Sub-Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco". Revista Brasileira De Geografia Física, 15(1), 050–067. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p050-067>
- GONÇALVES, S. T. N.; VASCONCELOS JUNIOR, F. C.; SAKAMOTO, M. S.; SILVEIRA, C. S.; MARTINS, E. S. P. R. "Índices e metodologias de monitoramento de secas: uma revisão". Revista Brasileira de Meteorologia, v. 36, n. 3 (Suplemento), p. 495–511, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-77863630007>
- GUMUS, Veysel. Evaluating the effect of the SPI and SPEI methods on drought monitoring over Turkey. *Journal of Hydrology*, v. 626, parte B, 130386, 2023. ISSN 0022-1694. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130386>.
- LACERDA, I. de O. ; LIMA, S. S. ; LOUREIRO, G. E. . "Permanence curve and water availability for grant in The Itacaiúnas Hydrographic Sub-Region (SRHI)". Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 14, p. e51111435983, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i14.3598
- LI, L., SHE, D., ZHENG, H., LIN, P., e YANG, Z. (2020). "Elucidating Diverse Drought Characteristics from Two Meteorological Drought Indices (SPI and SPEI) in China". *Journal of Hydrometeorology*, 21(7), 1513-1530. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0290.1>
- MACHADO-SILVA, F., PERES, L. F., GOUVEIA, C. M., ENRICH-PRAST, A., PEIXOTO, R. B., PEREIRA, J. M. C., ET AL. (2021). "Drought resilience debt drives NPP decline in the Amazon forest. *Global Biogeochemical Cycles*", 35, e2021GB007004. <https://doi.org/10.1029/2021GB007004>
- MARENGO, J. A., CUNHA, A. P., ESPINOZA, J.-C., FU, R., SCHÖNGART, J., JIMENEZ, J. C., COSTA, M. C., RIBEIRO, J. M., WONGCHUIG, S., & ZHAO, S. Y. (2024). "The Drought of Amazonia in 2023-2024". *American Journal of Climate Change*, 13, 567-597.
- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. "The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. In: *Eighth Conference on Applied CLIMatology*", 17–22 Jan. 1993, Anaheim. Proceedings [...]. Boston: American Meteorological Society, 1993.
- MISHRA, ASHOK K.; SINGH, VIJAY P. "A review of drought concepts". *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 391, n. 1–2, p. 202–216, 2010. ISSN 0022-1694. DOI:
- OJHA, SHASHI SHANKAR; SINGH, VIVEKANAND; ROSHNI, THENDIYATH. "Comparison of meteorological drought using SPI and SPEI". *Civil Engineering Journal*, Tehran, v. 7, n. 12, p. 2130–2149, 2021. ISSN 2476-3055. DOI: <https://doi.org/10.28991/cej-2021-03091783>.
- OLIVEIRA, C. DE M. M. DE ., ALVARENGA, L. A., SILVA, V. O., CARVALHO, V. S. O., CAMINHA, A. R., & MELO, P. A.. (2024). "Projeção dos Eventos de Seca Meteorológica e Hidrológica na Bacia Hidrográfica do Rio Verde". *Revista Brasileira De Meteorologia*, 39, e39240059. <https://doi.org/10.1590/0102-7786390059>,
- OLIVEIRA, M. DE, DO ROSÁRIO, N. M. ÉVORA, RIZZO, L. V., REBOITA, M. S., ; DRUMOND, A. R. DE M. (2022). "Identificação e caracterização de eventos climáticos secos e úmidos no ABC Paulista no período de 2000-2020 usando o SPI". *Revista Brasileira De Climatologia*, 31(18), 457–485. <https://doi.org/10.55761/abclima.v31i18.15485>
- PEI, Z.; FANG, S.; WANG, L.; YANG, W. "Comparative Analysis of Drought Indicated by the SPI and SPEI at Various Timescales in Inner Mongolia, China". *Water* 2020, 12, 1925.
- PONTES, P. R. M.; CAVALCANTE, R. B. L.; SAHOO, P. K.; SILVA JÚNIOR, R. O. da; SILVA, M. S. da; DALL'AGNOL, R.; SIQUEIRA, J. O. "The role of protected and deforested areas in the hydrological processes of Itacaiúnas River Basin, eastern Amazonia". *Journal of Environmental Management*, v. 235, p. 489–499, 2019. ISSN 0301-4797. Disponível em:

- SALIMI, H., ASADI, E. e DARBANDI, S. “Meteorological and hydrological drought monitoring using several drought indices”. *Appl Water Sci* 11, 11 (2021).
- SANTOS, M. A. F., COSTA, V. S.; GALVINCIO, J. D. (2021). “Secas Meteorológica, Agrícola, Hidrológica No Município De Serrinha-Ba”. *Revista Brasileira De Climatologia*, 28.
- SANTOS, S. R., SANSIGOLO, C. A., NEVES, T. T. DE A. T., CAMPOS, T. L. DE O. B., & DOS SANTOS, A. P. P. (2017). “Frequências dos eventos extremos de seca e chuva na amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação”. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 10(2), 468–478. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170029>
- SERRÃO, EDIVALDO; LIMA, ALINE; SOUSA, FRANCISCO; FERREIRA, THOMÁS; SANTOS, CLEBER ASSIS DOS; SILVA JUNIOR, JOÃO. “Distribuição espacial de intensidade pluviométrica na calha do rio Solimões: estudo de caso a seca de 2010 na Amazônia”. *Acta Geográfica*, v. 11, n. 25, p. 1-16, 2017. DOI: 10.18227/2177-4307.acta.v11i25.2904.
- SILVA, A. C.; FABIO FARIAS PEREIRA. “Zoneamento e avaliação da severidade das estiagens entre os anos de 1961 até 2019 na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco com base em valores do Índice de Precipitação Padronizado”. *Revista de Geociências do Nordeste*, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 56–68, 2023. DOI: 10.21680/2447-3359.2023v9n2ID32622.
- SILVA, T.; PIRES, V.; COTA, T.; SILVA, Á. “Detection of Drought Events in Setúbal District: Comparison between Drought Indices. *Atmosphere*”, 2022, 13, 536. <https://doi.org/10.3390/atmos13040536>
- SOSA, GASTÓN D.; FERNÁNDEZ LONG, MARÍA E.; SPESCHA, Liliana B. “Evaluación de tres índices como indicadores de sequía agrícola en la Región Pampeana”. *Revista de la Facultad de Agronomía (UBA)*, Buenos Aires, v. 40, n. 1, p. 16–24, 2020.
- SOUZA, C. A.; OLIVEIRA JUNIOR, E. S.; HACON, S. S. “Serviços ecossistêmicos da Amazônia Brasileira”. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 17, n. 1, p. 178–198, 2024.
- SVOBODA, M., HAYES, M.; WOOD, D., 2012, “Standardized precipitation index user guide”, WMO-No 1090, World Meteorological Organisation, Geneva.
- VICENTE-SERRANO, S. M.; BEGUERÍA, S.; LÓPEZ-MORENO, J. I. “A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index”. *Journal of CLIMATE*, v. 23, p. 1696–1718, 2010. DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- WALKER, DAVID W.; OLIVEIRA, JULIANA LIMA; CAVALCANTE, LOUISE; KCHOUK, SARRA; NETO, GERMANO RIBEIRO; MELSEN, LIEKE A.; FERNANDES, FRANCISCO BERGSON P.; MITROI, VERONICA; GONDIM, RUBENS S.; MARTINS, EDUARDO SÁVIO PASSOS RODRIGUES; VAN OEL, PIETER R. “It's not all about drought: What “drought impacts” monitoring can reveal”. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 103, 104338, 2024.
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: *Handbook of Drought Indicators and Indices*. Org. por M. Svoboda and B.A. Fuchs. Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.
- ZARGAR, AMIN; SADIQ, REHAN; NASER, BAHMAN AND KHAN, FAISAL I.; 2011. “A review of drought indices”. *Environmental Reviews*. 19(NA): 333-349.
- ZOGAHIB, A. L. N. ; SIMAS, D. C. de S. ; NORTE FILHO, A. F. do .; NORTE, N. N. B. de O. .; SALES, R. A. C. de .; LIMA, J. S. de .; BRAGA, M. A. P. de L. . “Climate changes and its impacts on cities: case study of characteristics of the drought in the State of Amazonas, Brazil”. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 13, n. 9, p. e9913946940, 2024. DOI: 10.33448/rsd-v13i9.46940.