



Artigo Original

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v20n12026p173-185

Submetido em: 17 abr. 2026

Aceito em: 21 ago. 2026

Análise hidrológica das secas no município Paraíba do Sul, Rio de Janeiro

Hydrological Analysis of Droughts in the Municipality of Paraíba do Sul, Rio de Janeiro

Análisis hidrológico de las sequías en el municipio de Paraíba do Sul, Río de Janeiro

Douglas da Silva Ferreira  <https://orcid.org/0009-0003-5947-0437>

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

Doutorando em Ciências Naturais pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

E-mail: silva.douglas37@gmail.com

Eliane Barbosa Santos  <https://orcid.org/0000-0003-4280-5336>

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

Doutorado em Ciências Climáticas pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Professora Associada do Laboratório de Meteorologia (LAMET).

E-mail: elianeps@uenf.br

Resumo: A análise das secas em diferentes escalas temporais é essencial para orientar ações de mitigação frente à escassez hídrica. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi analisar a intensidade e duração de secas no município de Paraíba do Sul (RJ), por meio do Índice de Seca de Vazão (Streamflow Drought Index - SDI), considerando escalas temporais de 3, 6 e 12 meses. Para isso, foram utilizados dados diários de vazão da estação fluviométrica local (Código 58380001), com série histórica de 49 anos (1973–2021), obtidos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Após o cálculo do SDI, aplicou-se o teste de Mann-Kendall para identificar tendências temporais. Os resultados indicaram tendência negativa em todas as escalas temporais analisadas, sugerindo maior ocorrência de secas no futuro. Além disso, observou-se um aumento dos eventos extremos e severos nos últimos anos, o que reforça o cenário de intensificação da escassez hídrica e destaca a necessidade de estratégias de gestão e adaptação.

Palavras-chave: Eventos extremos. Vazão. Recursos hídricos.

Abstract: The analysis of droughts at different spatial scales is essential to support mitigation actions in response to water scarcity. Therefore, the objective of this study was to analyze the intensity and duration of droughts in the municipality of Paraíba do Sul (RJ), using the Streamflow Drought Index (SDI) at temporal scales of 3, 6, and 12 months. Daily streamflow data from the local gauging station (Code 58380001), with a 49-year historical record (1973–2021), obtained from the Brazilian National Water and Sanitation Agency (ANA), were used. After calculating the SDI, the Mann–Kendall test was applied to identify temporal trends. The results indicated a negative trend at all analyzed temporal scales, suggesting a higher occurrence of droughts in the future. In addition, an increase in extreme and severe events was observed in recent years, reinforcing the scenario of intensified water scarcity and highlighting the need for management and adaptation strategies.

Keywords: Extreme events. Streamflow. Water resources.

Resumen: Análisis de las sequías en diferentes escalas temporales es esencial para orientar acciones de mitigación frente a la escasez hídrica. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue analizar la intensidad y duración de las sequías en el municipio de Paraíba

do Sul (RJ), mediante el Índice de Sequía de Caudal (Streamflow Drought Index - SDI), considerando escalas temporales de 3, 6 y 12 meses. Para ello, se utilizaron datos diarios de caudal de la estación fluviométrica local (Código 58380001), con una serie histórica de 49 años (1973–2021), obtenidos de la Agencia Nacional de Aguas y Saneamiento Básico (ANA). Después del cálculo del SDI, se aplicó la prueba de Mann-Kendall para identificar tendencias temporales. Los resultados indicaron una tendencia negativa en todas las escalas temporales analizadas, lo que sugiere una mayor ocurrencia de sequías en el futuro. Además, se observó un aumento de eventos extremos y severos en los últimos años, lo que refuerza el escenario de intensificación de la escasez hídrica y destaca la necesidad de estrategias de gestión y adaptación.

Palabras clave: Eventos extremos. Caudal. Recursos hídricos.

1 Introdução

As secas são caracterizadas como fenômenos naturais, que dependendo da intensidade e duração podem causar sérios problemas econômicos, afetando principalmente as comunidades com maior vulnerabilidade econômica (Rajsekhar; Singh; Mishra, 2015). Além dos impactos diretos na produção agrícola e no abastecimento hídrico, esses eventos podem comprometer a segurança alimentar, aumentar os custos com energia e agravar desigualdades sociais, especialmente em regiões com baixa capacidade de adaptação e infraestrutura limitada (Jean et al., 2024).

As mudanças climáticas têm intensificado a frequência e a severidade de eventos extremos, como secas mais prolongadas e intensas, com impactos diretos sobre os recursos hídricos e os usos múltiplos da água. Nesse contexto, Santana, Santos e Silva (2020), Gomes et al. (2021) e Santana, Santos e Lugon (2023) identificaram indícios de alterações nos padrões pluviométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (BHRPS), evidenciando a heterogeneidade espacial dos regimes de precipitação. Esses autores verificaram que determinadas regiões da bacia apresentaram tendência significativa de diminuição da precipitação, enquanto outras registraram tendência significativa de aumento, ambas ao nível de significância de 5%, o que reforça a complexidade dos processos climáticos atuantes na região. Essa variabilidade espacial sugere que os impactos das mudanças climáticas não se manifestam de maneira uniforme, exigindo análises mais detalhadas em escala local e sub-bacias.

Ferreira, Santana e Santos (2025) realizaram uma análise de tendência das vazões máximas, mínimas e médias anuais nas três regiões com maior demanda hídrica da BHRPS, Trecho Paulista, Médio Paraíba do Sul e Piabanha. Os autores verificaram que, das 12 estações fluviométricas analisadas, sete apresentaram tendência negativa estatisticamente significativa ao nível de 5%. Na avaliação da magnitude das tendências por década, constatou-se que os maiores declínios de vazão ocorrem nas regiões do Médio Paraíba do Sul e do Piabanha, com reduções que podem atingir até 20 m³/s.

Devido a essas mudanças hidrometeorológicas na BHRPS, torna-se essencial o monitoramento contínuo dos recursos hídricos e a avaliação de seus impactos em escala local. Nesse contexto, os índices de seca são essenciais para identificar períodos críticos e apoiar estratégias de gestão hídrica, permitindo antecipar riscos e orientar políticas voltadas à segurança hídrica. Entre os diversos índices disponíveis, destaca-se o

Índice de Seca de Vazão (Streamflow Drought Index – SDI), amplamente utilizado em estudos hidrológicos por basear-se exclusivamente em dados de vazão fluvial.

Nalbantis e Tsakiris (2009) foram pioneiros na formulação do SDI, demonstrando sua robustez para caracterizar secas hidrológicas em diferentes escalas temporais. Desde então, o índice tem sido aplicado em diversas regiões do mundo, consolidando-se como uma ferramenta eficaz para quantificar e monitorar a severidade das secas, subsidiando processos de planejamento e gestão adaptativa dos recursos hídricos (Tareke; Awoke, 2022; Gonçalves et al., 2023; Coelho et al., 2024; Baez-Villanueva et al., 2024; Singh et al., 2025).

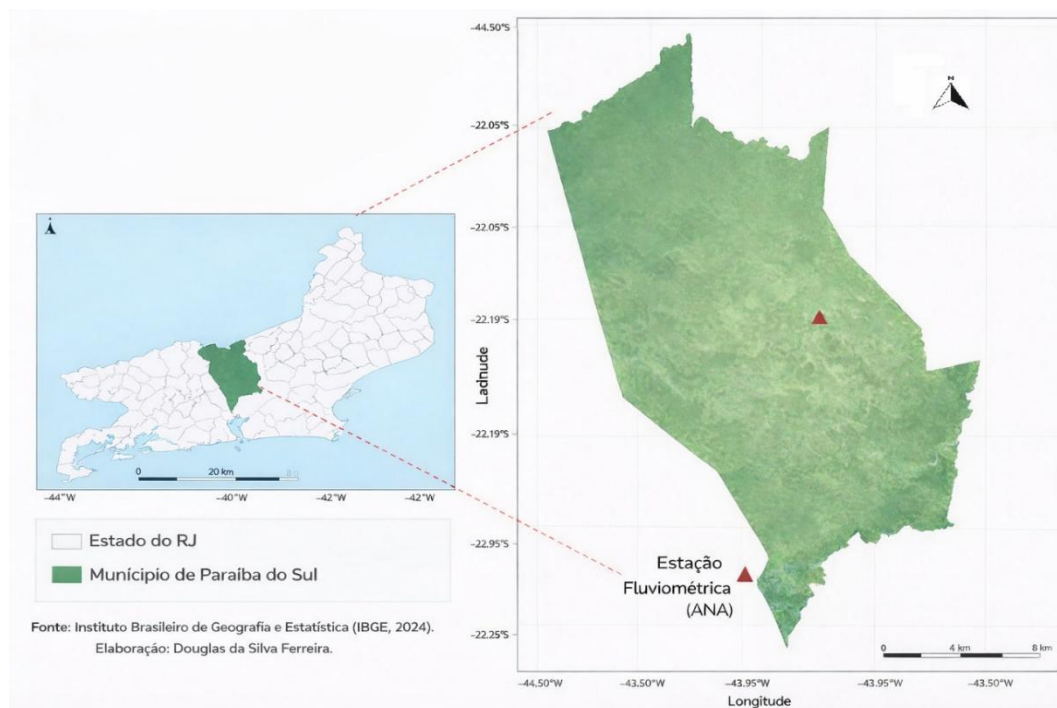
Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar a intensidade e duração de secas no município de Paraíba do Sul (RJ), por meio do SDI, considerando escalas temporais de 3, 6 e 12 meses. Essa abordagem busca contribuir para a compreensão da dinâmica hidrológica local e oferecer subsídios para o planejamento e a gestão sustentável dos recursos hídricos.

2 Material e Método

2.1 Caracterização da Área e Estudo

O município de Paraíba do Sul está localizado no estado do Rio de Janeiro, conforme ilustrado na Figura 1, e integra a BHRPS, situando-se na região conhecida como Médio Paraíba do Sul. O município possui área territorial de 571,117 km² e população de 42.063 habitantes, conforme o Censo Demográfico de 2022 (IBGE, s.d.). O bioma predominante na região é a Mata Atlântica, com altitude média de aproximadamente 275 m e temperatura média anual em torno de 20 °C (Prefeitura Municipal de Paraíba do Sul, s.d.).

Figura 1 - Localização geográfica do município de Paraíba do Sul (RJ), área de estudo delimitada.



O município de Paraíba do Sul é banhado pelo rio Paraíba do Sul, cuja nascente localiza-se na Serra da Bocaina, no estado de São Paulo, a uma altitude aproximada de 1.800 m. A foz do rio situa-se no município de São João da Barra, no estado do Rio de Janeiro, onde deságua no oceano Atlântico. Desde sua nascente até a foz, o rio percorre cerca de 1.100 km (CEIVAP, 2020).

2.2 Dados

Para este estudo foram utilizados dados diários de vazão da estação fluviométrica localizada no município de Paraíba do Sul (RJ) (Código 58380001), com série histórica compreendida entre os anos de 1973 a 2021. Os dados foram obtidos junto a rede hidrometeorológica gerenciada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Após o processamento e organização dos dados por meio da linguagem de programação R (R CORE TEAM, 2025), foi calculado o Índice de Seca de Vazão (SDI) nas escalas temporais de 3, 6 e 12 meses, correspondentes às análises de secas meteorológicas, agrícolas e hidrológicas, respectivamente. Em seguida, foi aplicado o teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) para avaliar tendências nas séries temporais do SDI em cada uma das escalas analisadas.

2.3 Índice de Seca de Vazão (SDI)

O SDI foi calculado com base no acumulado das vazões ao longo do período definido, sendo posteriormente padronizado em relação à média e ao desvio padrão da série histórica. Esse procedimento permite caracterizar eventos de seca com base em sua intensidade e duração (Tareke; Awoke, 2022). Matematicamente, podemos calcular o SDI da seguinte maneira (Hao et al., 2017):

$$X_t^{(k)} = \sum_{i=0}^{k-1} Q_{t-i} \quad (1)$$

onde:

- X é a vazão acumulada em k meses;
- Q_{t-i} é a vazão média mensal;
- k é a escala temporal.

Em seguida, a série $X^{(k)}$ é ajustada a uma distribuição estatística paramétrica Gamma ou Log-normal. A partir do ajuste, obteve-se a função densidade de probabilidade $f(x)$ e, conseqüentemente, a função de distribuição

acumulada $G(x)$, definida como a probabilidade de a variável aleatória X assumir valores menores ou iguais a um valor observado x , conforme a equação abaixo:

$$G(x) = \int_0^x f(t) dt \quad (2)$$

Caso haja situações em que ocorrem valores nulos na série acumulada, a função de distribuição acumulada pode ser corrigida para considerar a frequência de ocorrência de valores zero.

Caso a variável acumulada apresente valores $x = 0$, a $G(x)$ é ajustada como

$$H(x) = q + (1 - q) \cdot G(x), \quad (3)$$

onde q é a frequência relativa de ocorrência de $x = 0$.

Posteriormente, a probabilidade acumulada associada a cada valor observado deve ser transformada em um valor da distribuição normal padrão, por meio da aplicação da função inversa da normal, resultando nos valores do SDI, os quais apresentam média zero e desvio-padrão unitário.

Com isso, a probabilidade acumulada P_t é transformada em um valor da normal padrão:

$$SDI_t = \Phi^{-1}(P_t), \quad (4)$$

onde Φ^{-1} é a função inversa da distribuição normal padrão.

Dessa forma, valores negativos do SDI indicam condições de déficit de vazão, caracterizando eventos de seca hidrológica, enquanto valores positivos representam condições normais ou úmidas. A magnitude do índice permite classificar a severidade das secas, e sua análise em diferentes escalas temporais possibilita a avaliação dos impactos hidrológicos em curto, médio e longo prazo. Conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação das secas segundo o SDI.

SDI	Classe
≥ 0	Sem Seca
-1,0 a 0	Seca Branda
-1,5 a -1,0	Seca Moderada
-2,0 a -1,5	Seca Severa
$\leq -2,0$	Seca Extrema

Fonte: Adaptado de Hao et al., 2017.

Para este estudo, a implementação do SDI foi realizada por meio do pacote "drought" disponível na linguagem de programação R (Hao et al., 2017).

2.4 Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) foi aplicado para avaliar tendências nas séries temporais do SDI em cada uma das escalas temporais analisadas. Esse teste estatístico, não paramétrico, é amplamente adotado em estudos hidrológicos e climáticos por sua capacidade de detectar tendências monotônicas sem exigir pressupostos sobre a distribuição dos dados. A hipótese nula considera que não há tendência na série analisada, enquanto a hipótese alternativa pressupõe a existência de uma tendência, que pode ser avaliada tanto por testes unilaterais quanto bilaterais.

Dada uma série temporal composta pelos valores $x_1, x_2, \dots, x_n$, a estatística do teste é obtida conforme a expressão a seguir:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (5)$$

onde:

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & \text{se } x_j < x_i \\ 0, & \text{se } x_j = x_i \\ -1, & \text{se } x_j > x_i \end{cases} \quad (6)$$

Segundo Kendall (1975), a estatística S apresenta distribuição normal, com média e variância definidas por:

$$E(S) = 0 \quad (7)$$

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^n f_p(f_p-1)(2f_p+5)}{18} \quad (8)$$

em que n indica o total de observações da série, e f_p refere-se à frequência de ocorrência do elemento p .

A estatística associada ao teste de Mann-Kendall é expressa pelo valor de Z_{mk} , que é calculado a partir da equação apresentada a seguir.

$$Z_{mk} = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{para } S > 0 \\ 0, & \text{para } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{VAR(S)}}, & \text{para } S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

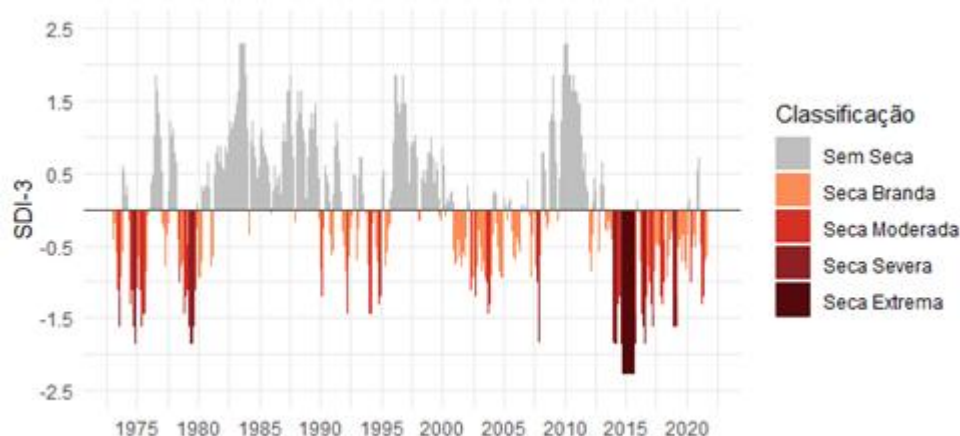
Em um teste bilateral adotando-se um nível de significância α , a hipótese nula de inexistência de tendência na série é rejeitada quando o valor-p é inferior a α . Nessa situação, a tendência é classificada como crescente ou decrescente conforme o sinal do parâmetro Z_{mk} .

3 Resultados

A Figura 2 apresenta a série temporal do SDI calculado na escala de 3 meses para o município de Paraíba do Sul (RJ). No início da série histórica, destacam-se secas moderadas e severas (1974–1975 e 1978–1979), intercaladas por curtos períodos sem seca. Entre 1981 e 1989 prevaleceu a ausência de secas, com apenas episódios isolados de seca branda. Já no intervalo de 1990 a 1995, ocorreram principalmente secas brandas, alternadas com eventos moderados. Posteriormente, entre 1999 e 2008, as secas tornaram-se mais frequentes e intensas, resultando em episódios severos entre dezembro de 2007 e janeiro de 2008, quando o SDI atingiu $-1,85$, valor próximo ao registrado no início da série.

As maiores ocorrências de seca foram registradas entre 2012 e 2021, com destaque para 2014–2015, período marcado por secas severas e extremas inéditas na série. Nesse intervalo, o SDI atingiu seu menor valor ($-2,28$) e foram contabilizados 11 meses consecutivos de seca extrema (novembro de 2014 a outubro de 2015). Esse período crítico de 2014–2015 coincide com a intensa crise hídrica registrada no Sudeste do Brasil, amplamente documentada por estudos que apontam déficits pluviométricos persistentes e impactos severos sobre os recursos hídricos (Coelho et al., 2016; Cunha et al., 2019).

Figura 2 - Série temporal do Índice de Seca de Vazão (SDI) na escala de 3 meses para o município de Paraíba do Sul (RJ).

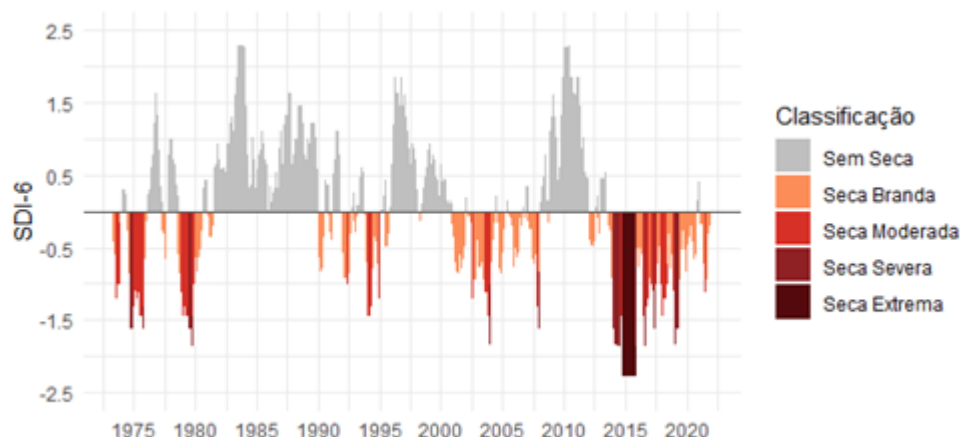


Fonte: Elaborado pelos autores.

Esses resultados evidenciam que os eventos de seca no município de Paraíba do Sul (RJ) não se distribuem de forma homogênea ao longo do tempo, refletindo a influência de sistemas atmosféricos de grande escala, como o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN). A depender de sua intensidade e posicionamento, esses sistemas podem interferir de forma direta ou indireta no regime pluviométrico do Sudeste e de outras regiões do Brasil (Keller Filho; Assad; Lima, 2005; Minuzzi et al., 2007). Conforme destacado por Reboita et al. (2010), os menores acumulados de precipitação na região Sudeste ocorrem, em geral, durante o inverno austral, estando associados à atuação do ASAS.

A Figura 3 apresenta a série temporal do índice na escala de 6 meses. O comportamento geral da série mostra-se semelhante ao identificado na escala de 3 meses (Figura 2), com a ocorrência de períodos de seca moderada e severa no início da série histórica, seguidas por intervalos sem registro de seca. Posteriormente, observa-se um aumento na intensidade e na frequência dos eventos secos, principalmente a partir do ano de 2014.

Figura 3 - Série temporal do Índice de Seca de Vazão (SDI) na escala de 6 meses para o município de Paraíba do Sul (RJ).



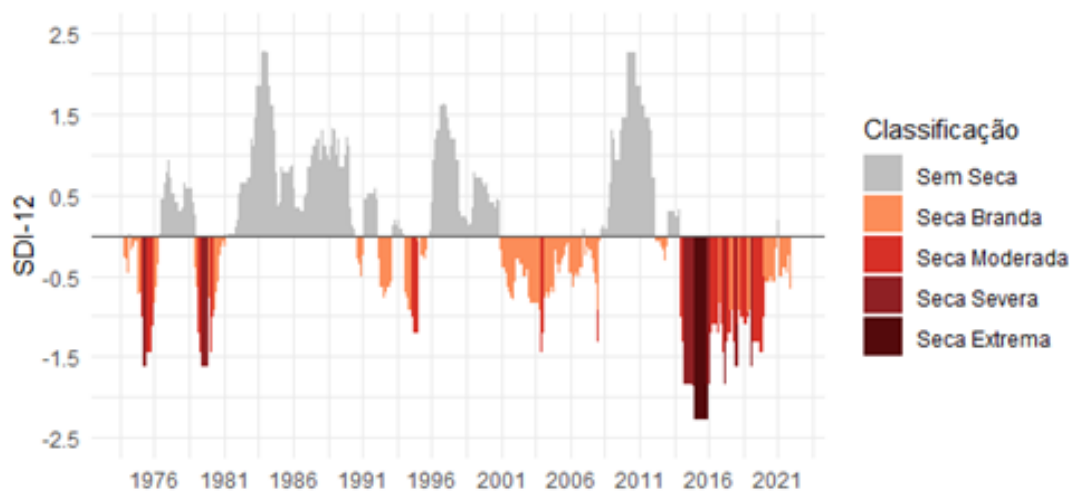
Fonte: Elaborado pelos autores.

Na escala de 6 meses, também se evidenciam os eventos extremos registrados entre dezembro de 2014 e novembro de 2015, confirmando o mesmo padrão observado na escala de 3 meses, com 11 meses consecutivos de seca extrema. Nesse período, o menor valor do SDI foi de $-2,28$, registrado em dezembro de 2014 e entre junho e novembro de 2015. De acordo com Cavalcanti e Marques (2016), esse cenário evidenciou conflitos pelo uso da água e fragilidades na gestão compartilhada da Bacia do Rio Paraíba do Sul.

A Figura 4 apresenta a série temporal do SDI na escala de 12 meses. De modo geral, o comportamento da série é semelhante ao observado nas escalas de 3 e 6 meses (Figuras 2 e 3), embora alguns eventos identificados nessas escalas não se mantenham na de 12 meses, em razão da suavização natural decorrente da acumulação temporal mais extensa.

No início da série histórica, entre 1976 e 1980, observa-se um período contínuo sem registro de secas, o que contrasta com as escalas menores, nas quais foram identificadas secas brandas pontuais nesse mesmo intervalo. Esse padrão reforça a capacidade da escala de 12 meses de captar tendências hidrológicas mais amplas, reduzindo a sensibilidade a variações mensais. Entre 1990 e 2007, predomina a ocorrência de secas brandas, intercaladas por períodos sem seca e poucos episódios moderados, indicando relativa estabilidade hidrológica nesse intervalo.

Figura 4 - Série temporal do Índice de Seca de Vazão (SDI) na escala de 12 meses para o município de Paraíba do Sul (RJ).



Fonte: Elaborado pelos autores.

O final da série histórica evidencia as secas mais intensas e persistentes de todo o período analisado. Do período analisado, destaca-se especialmente o ano de 2015, quando foram registrados episódios de seca extrema em todos os meses. O valor mais crítico do SDI ocorreu em dezembro de 2015 ($-2,27$), caracterizando uma condição hidrológica extrema. A sucessão de secas extremas ao longo de 2015, observada na escala de

12 meses, confirma a gravidade do evento e seus impactos diretos sobre o abastecimento urbano, a agricultura e a gestão dos recursos hídricos na região Sudeste (Cavalcanti; Marques, 2016, Nobre *et al.*, 2016).

A Tabela 2 apresenta os resultados do teste de Mann-Kendall aplicado às três escalas temporais consideradas neste estudo (3, 6 e 12 meses), adotando-se o nível de significância de 5%. Em todas as escalas, os valores de p foram inferiores a 0,05, confirmando tendência estatisticamente significativa a 5%. Os coeficientes τ (tau) negativos indicam uma tendência decrescente do SDI, sugerindo que os valores do SDI tendem a se tornar progressivamente mais negativos ao longo do tempo, o que implica um aumento na frequência e/ou intensidade de eventos de seca.

Tabela 2 – Resultado do teste de Mann-Kendall.

	SDI (3 meses)	SDI (6 meses)	SDI (12 meses)
Valor-p	$6,5707 \times 10^{-10}$	$2,4824 \times 10^{-10}$	$5,1368 \times 10^{-13}$
Valor-tau (τ)	-0,172	-0,176	-0,203

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tais resultados estão em consonância com o estudo de Santana, Santos e Silva (2020), que analisaram dados de 92 postos pluviométricos distribuídos ao longo da BHRPS, com o objetivo de caracterizar a ocorrência de secas na região. Para tal, esses autores utilizaram o Índice de Precipitação Padronizado na escala temporal de 12 meses e, posteriormente, aplicaram o teste de Mann-Kendall para a detecção de tendências. No setor do Médio Paraíba do Sul, onde se insere o município de Paraíba do Sul, todas as estações analisadas apresentaram tendências estatisticamente significativas ao nível de 5%, sendo todas elas negativas.

Diante desses resultados, destaca-se a relevância da análise multiescalar do SDI, que além de permitir identificar os períodos críticos, também permite compreender a evolução e a persistência dos eventos de seca. Tal abordagem é fundamental para subsidiar estratégias de monitoramento e planejamento adaptativo frente à variabilidade climática, contribuindo para políticas públicas mais eficazes de gestão hídrica e mitigação de impactos socioeconômicos.

4 Considerações finais

Este estudo analisou a ocorrência de secas em diferentes escalas temporais no município de Paraíba do Sul (RJ), visando subsidiar estratégias de gestão e mitigação dos impactos associados à escassez hídrica. Para esse propósito, aplicou-se o Índice de Seca de Vazão (SDI) nas escalas temporais de 3, 6 e 12 meses, complementado pelo teste de Mann-Kendall para a detecção de tendências nas séries temporais do SDI em cada uma das escalas analisadas.

Os resultados obtidos evidenciaram que os eventos de seca não se distribuem de forma homogênea ao longo do tempo, apresentando períodos de relativa estabilidade intercalados com fases críticas de maior intensidade e persistência. Embora secas moderadas e severas tenham sido registradas desde o início da série histórica, o período entre 2012 e 2021 se destacou pela ocorrência de secas extremas inéditas, especialmente em 2014–2015, quando se verificou a maior duração e intensidade de todo o registro. Esse episódio coincidiu com a crise hídrica que afetou o Sudeste do Brasil, confirmando a vulnerabilidade regional frente a déficits pluviométricos prolongados.

Os resultados também indicaram que diferentes escalas temporais captam distintos aspectos da evolução das secas, enquanto as escalas de 3 e 6 meses refletem maior sensibilidade a variações mensais e permitem identificar episódios críticos de curta duração, a escala de 12 meses evidencia tendências hidrológicas mais amplas e persistentes. Essa complementaridade reforça a importância da abordagem multiescalar para compreender a dinâmica das secas e subsidiar estratégias de gestão hídrica.

Por fim, a identificação de tendências negativas e a confirmação da intensificação dos eventos de seca ao longo das últimas décadas ressaltam a necessidade de políticas públicas eficazes, voltadas ao monitoramento contínuo, à gestão integrada dos recursos hídricos e ao planejamento adaptativo. Tais medidas são fundamentais para reduzir vulnerabilidades socioeconômicas e mitigar os impactos sobre o abastecimento urbano, a agricultura e demais setores dependentes da água.

Referências

- AGUIAR, F. C. A Geografia, o lugar e os sujeitos. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 20, n. 1, p. 29-37, jan./abr. 2018. DOI: <https://doi.org/10.19180/1809-2667.v20n12018p29-37>. Disponível em: <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/9579>. Acesso em: 22 jun. 2018.
- BAEZ-VILLANUEVA, O. M.; ZAMBRANO-BIGIARINI, M.; MIRALLES, D. G.; BECK, H. E.; SIEGMUND, J. F.; ALVAREZ-GARRETON, C.; VERBIST, K.; GARREAUD, R.; BOISIER, J. P.; GALLEGUILLOS, M. On the timescale of drought indices for monitoring streamflow drought considering catchment hydrological regimes. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 28, n. 6, p. 1415–1439, 28 mar. 2024.
- CAVALCANTI, B.; MARQUES, G. Recursos hídricos e gestão de conflitos. A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul a partir da crise hídrica de 2014-2015. **Revista Portuguesa e Brasileira de Gestão**, Lisboa, v. 15, n. 1, p. 4-16, mar. 2016.
- CEIVAP - Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Relatório de Situação. **Bacia do Paraíba do Sul**. 2020. Disponível em: <<https://www.ceivap.org.br/conteudo/relsituacao2020.pdf>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2025.
- COELHO, A. L. S.; LYRA, G. B.; HERMS, F. W.; LIMA, J. R. Q.; SOUZA, L. P.S; HERMANN, M. E. B.; RIBEIRO, C. E. C. Extreme hydroclimatic events based on standardized precipitation (SPI) and streamflow

drought (SDI) indices in the headwater region of the Paraíba do Sul River, Southeast Brazil: trends and climate variability [pré-print]. **Research Square**, 2024.

COELHO, C. A. S.; OLIVEIRA, C. P.; AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; CARPENEDO, C. B.; SILVEIRA CAMPOS, J. L. P.; TOMAZIELLO, A. C. N.; PAMPUCH, L. A.; CUSTÓDIO, M. S.; DUTRA, L. M. M.; DA ROCHA, R. P.; REHBEIN, A. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, v. 46, p. 3737–3752, 2016.

CUNHA, A. P. M. A.; ZERI, M.; LEAL, K. D.; COSTA, L.; CUARTAS, L. A.; MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M.; BARBOSA, A. A.; CUNNINGHAM, C.; GARCIA, J. V. C; BROEDEL, E. ; ALVALÁ, R.; RIBEIRO-NETO, G. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, v. 10, n. 11, p. 642, 24 out. 2019.

FERREIRA, D. S.; SANTANA, G. R. de A.; SANTOS, E. B. Análise de vazões na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 37, n. 21, p. 68–92, DOI: 10.55761/abclima.v37i21.19826, 2025.

GOMES, F. B. R.; VARGAS, I. S.; PROCÓPIO, A. S.; CASTRO, S. R.; RIBEIRO, C. B. de M. Estudo da variabilidade espaço-temporal e tendências de precipitação na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 365–390, 2021.

GONÇALVES, S. T. N.; VASCONCELOS JÚNIOR, F. C.; SILVEIRA, C. S.; CID, D. A. C.; MARTINS, E. S. P. R.; COSTA, J. M. F. Comparative analysis of drought indices in hydrological monitoring in Ceará's semi-arid basins, Brazil. **Water**, v. 15, n. 7, p. 1259, 23 mar. 2023.

HAO, Z.; HAO, F.; SINGH, V.; OUYANG, W.; CHENG, Hon. An integrated package for drought monitoring, prediction and analysis to aid drought modeling and assessment. **Environmental Modelling & Software**, v. 91, p. 199-209, maio 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Paraíba do Sul (RJ) | Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/paraiba-do-sul.html> . Acesso em: 17 de dezembro de 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malha municipal do Estado do Rio de Janeiro – 2024 [shapefile]**. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2024/UFs/RJ/RJ_Municipios_2024.zip . Acesso em: 15 de outubro de 2025.

JEAN, W.; SÁTIRO, G.; RODRIGUES, P.; CASTANHO, A.; OLIVEIRA, E.; LOPES, J.; ROCHA, J.; DÁVALOS, N. Estudo sobre pobreza energética e segurança energética no seminário brasileiro: vulnerabilidade e resiliência socioambiental. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**, Brasília, n. 32, p. 35-44, jun./dez. 2024.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40,n.4, p.311–322, 2005.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4 ed. London: Charles Griffin, 1975.

MANN, H.B. Non-parametric tests against trend. **The econometric society. Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945.

MINUZZI, R.; SEDIYAMA, G.; BARBOSA, E.; MELO-JÚNIOR, J. C. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.22, n.3, p.338–344, 2007.

NALBANTIS, I.; TSAKIRIS, G. Assessment of hydrological drought revisited. **Water Resources Management**, v. 23, p. 881–897, 2009.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, L. A.; ALVES, L. M. Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, n. 2, p. 252–262, fev. 2016.

Prefeitura Municipal de Paraíba do Sul, 2025. Disponível em: <https://paraibadosul.rj.gov.br/pagina-oficial/dados-gerais/> . Acesso em: 17 dez. 2025.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2025. Acesso: <https://www.R-project.org/>.

RAJSEKHAR, D.; SINGH, V.; MISHRA, A. Multivariate drought index: an information theory based approach for integrated drought assessment. **Journal of Hydrology**, v. 526, p. 164-182, 2015.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 185 -204, 2010.

SANTANA, G. R. A.; SANTOS, E. B.; LUGON JUNIOR, J. Características climáticas e análise de tendência pluviométrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Alterações antrópicas & meio Ambiente**. 1 ed. Campina Grande: EPTEC, p. 187-194, 2023.

SANTANA, G. R. A.; SANTOS, E. B.; SILVA, M. G. A. J. Caracterização Espaço-Temporal das Secas na Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 4, p. 364-375, 2020. ISSN 0101-9759. e-ISSN 1982-3908.

SINGH, B.; RAI, P.; SINGH, S.; SUDHAMSU, G.; RANI, P.; MANSOUR, L.; YADAV, K. K.; CHOI, J. R. ; ELSAHABI, M. ; MALIK, A. Streamflow drought index-based prediction of hydrological drought using M5P and gene expression programming models. **Applied Water Science**, v. 15, art. 183, 03 jul. 2025.

TAREKE, K.; AWOKE, A. Hydrological drought analysis using Streamflow Drought Index (SDI) in Ethiopia. **Advances in Meteorology**, p. 1-19, Art. ID 7067951, 2022.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), Processo Nº SEI-260003/001746/2025. Os autores também agradecem à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), pela disponibilização dos dados.