

ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DAS VAZÕES MÁXIMAS NO RIO PARAÍBA DO SUL: PROPOSIÇÃO DE ABORDAGEM SIMPLIFICADA PARA CORREÇÃO DE SÉRIES FLUVIOMÉTRICAS COM TENDÊNCIA TEMPORAL

Asdrubal Jesus Farias-Ramirez¹ ; Marcus Vinícius Galbetti^{1,2} ; Anderson Assis Nogueira³ ;

Antonio Carlos Zuffo^{1,4} & Marco Antonio Jacomazzi^{1,5}

RESUMO – O dimensionamento de estruturas hidráulicas em bacias antropizadas requer estimativas precisas de vazões de projeto, cuja premissa clássica de estacionariedade tem sido progressivamente contestada pela literatura. Esse estudo analisou a frequência das vazões máximas para a série fluviométrica 58250000 no Rio Paraíba do Sul, no trecho correspondente ao município de Resende-RJ imediatamente a jusante da Usina Hidrelétrica (UHE) do Funil, propondo uma abordagem simplificada para correção de séries fluviométricas. Os testes estatísticos não paramétricos de Mann-Kendall e Pettitt revelaram tendência decrescente significativa ($u = -4,973$; $\alpha = 1\%$) com ponto de mudança em 1967, inferindo-se a influência da operação da UHE Funil no regime hidrológico. Aplicou-se o método de correção para homogeneização da série, seguido de transformação de vazões médias diárias para vazões instantâneas, a vazão provável centenária atingiu $1.773 \text{ m}^3/\text{s}$, enquanto a para a série corrigida resultou em $1.517 \text{ m}^3/\text{s}$, assim, a correção proposta produziu vazões de projeto 17% superiores. Os resultados demonstram a necessidade de incorporação de correções de não-estacionariedade e escala temporal para o dimensionamento confiável da infraestrutura hidráulica.

Palavras-Chave – Vazões de projeto; Cheias; Não-estacionariedade.

ABSTRACT– The design of hydraulic structures in anthropogenically altered basins requires accurate estimates of design flows, for which the classical assumption of stationarity has been increasingly challenged in the literature. This study analyzed the frequency of maximum flows for the 58250000 gauging series on the Paraíba do Sul River, in the section corresponding to the municipality of Resende, Rio de Janeiro, immediately downstream of the Funil Hydroelectric Power Plant (HEPP), proposing a simplified approach for correcting gauging series. The nonparametric statistical tests of Mann-Kendall and Pettitt revealed a significant decreasing trend ($u = -4.973$; $\alpha = 1\%$) with a turning point in 1967, inferring the influence of the Funil HPP's operation on the hydrological regime. The correction method was applied to homogenize the series, followed by the transformation of daily mean flows to instantaneous flows; the probable 100-year flow reached $1,773 \text{ m}^3/\text{s}$, while that for the corrected series resulted in $1,517 \text{ m}^3/\text{s}$; thus, the proposed correction produced design flows that were 17% higher. The results demonstrate the need to incorporate corrections for non-stationarity and temporal scale for the reliable design of hydraulic infrastructure.

Key-words – Design flows; Floods; Non-stationarity

1) Tropical Water Research Alliance – TWRA, Piracicaba, São Paulo, Brasil, ajfara@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1544-8759>

2) Faculdade de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS, Rodovia Dourados-Itahum, km 12, Dourados MS; (67) 9803-3107 marcusgalbetti@gmail.com

3) Engenheiro na A2N Engenharia e Soluções Sustentáveis LTDA, Rua da Brandura, 350 - Jardim da Paz, CEP: 13.470-473, Americana SP, (19) 99215-2491, anderassis@gmail.com

4) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, FEC/UNICAMP, Cidade Universitária "Zeferino Vaz" 13083-970, Campinas SP, (19) 999348-3117, zuffoac@unicamp.br

5) Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91501-970, Porto Alegre/RS, (19) 98156-4809, marcoantonio@rasa.eng.br

INTRODUÇÃO

Por décadas, a prática de engenharia hidrológica fundamentou-se na hipótese de estacionariedade das séries temporais, assumindo que eventos extremos passados refletem adequadamente o comportamento futuro das cheias. Entretanto, estudos recentes têm demonstrado que essa premissa vem sendo progressivamente comprometida em diversas regiões do mundo devido à influência combinada das variações climáticas, alterações no uso e cobertura do solo e operação de reservatórios hidrelétricos, impactando o dimensionamento seguro de estruturas hidráulicas em bacias hidrográficas fortemente antropizadas (Blöschl et al., 2017; Milly et al., 2008; Salas e Obeysekera, 2013).

Arnbjerg-Nielsen *et al.* (2013), alertaram que mudanças climáticas podem intensificar eventos extremos de precipitação, demandando revisão periódica das bases hidrológicas de projeto para garantir a resiliência da infraestrutura frente a cenários em evolução. Mudanças temporais nas séries de vazões máximas podem produzir distorções importantes nas estimativas probabilísticas, conduzindo à subestimação ou superestimação dos eventos extremos e comprometendo critérios de segurança hidráulica (Serinaldi e Kilsby, 2015; Vogel et al., 2015).

Dessa forma, a comunidade científica tem alertado para as limitações da premissa da estacionariedade em um contexto de variações climáticas e alterações antropogênicas no uso do solo, em vez disso induzem não-estacionariedade nos regimes fluviais, para corrigir o viés de subestimação inerente às séries de vazões médias diárias quando comparadas às vazões instantâneas de pico, assim a não-estacionariedade hidrológica representa atualmente um dos principais desafios da engenharia de recursos hídricos (Prosdocimi et al., 2014; Serinaldi e Kilsby, 2015; Singh et al., 2024; Vogel et al., 2015).

No Brasil a presença de não-estacionariedade em séries de vazões máximas foi documentada por Bartiko *et al.* (2017), em um estudo no Sul do Brasil apresentam comportamento não-estacionário, onde reportaram que, para um horizonte de planejamento de 10 anos, o tempo de retorno da cheia centenária altera-se para 48-75 anos quando considerado um modelo não-estacionário, evidenciando o viés inerente à premissa clássica de estacionariedade. Ballarin *et al.* (2022), confirmaram estes achados para o estado de São Paulo, demonstrando que tendências e mudanças abruptas em séries de precipitação extrema afetam significativamente as vazões de projeto.

Nesse contexto Jacomazzi *et al.* (2023), propuseram metodologia para correção de séries de vazões máximas considerando variações decadais, obtendo estimativas de vazões prováveis cerca de 10% superiores após correção pelo período úmido prolongado.

A operação de reservatórios hidrelétricos constitui uma fonte adicional de não-estacionariedade que demanda atenção específica. Magilligan e Nislow (2005), documentaram que mudanças hidrológicas associadas às barragens, têm alterado significativamente as vazões mínimas e máximas a longo de diferentes escalas temporais, indicando o impacto da construção de barragens nas mudanças dos regimes hidrológicos dos rios. Esta modificação antrópica do regime fluvial é particularmente crítica em trechos imediatamente a jusante de reservatórios operacionais.

No caso do rio Paraíba do Sul, essa problemática assume relevância ainda maior devido à elevada importância econômica e estratégica da bacia hidrográfica. O trecho localizado no município de Resende, estado do Rio de Janeiro, destaca-se por encontra-se imediatamente a jusante da Usina Hidrelétrica (UHE) do Funil, operada por Furnas. Essa particularidade geográfica significa que o regime fluvial local sofre impacto direto nas suas vazões, que são regularizadas e alteradas pela política de operação do reservatório.

Estudos prévios na bacia do Rio Paraíba do Sul por de Oliveira *et al.* (2023), identificaram variabilidade espaço-temporal relevante nos regimes de chuvas, reforçando a necessidade de análises específicas para cada trecho de interesse.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a frequência das vazões máximas no rio Paraíba do Sul, no trecho de Resende-RJ a jusante da Usina Hidrelétrica (UHE) do Funil, propondo uma abordagem simplificada para correção de séries fluviométricas com tendência temporal. Para isso, são aplicados testes estatísticos de tendência e mudança de regime hidrológico, seguidos da correção das vazões máximas médias diárias para vazões instantâneas de cheia, fornecendo uma base mais representativa e segura para o dimensionamento hidráulico de infraestruturas na região de estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

Para esse estudo das vazões máximas prováveis foi selecionada a estação fluviométrica 58250000 em Resende-RJ, que faz parte da bacia do curso d'água 58 - RIO PARAÍBA DO SUL; operada e atualizada pela concessionária Furnas. Esta série hidrológica foi selecionada por ser extensa, atualizada, sem anos incompletos de observações e com poucas lacunas para preenchimento ou com informações não consistentes e próxima ao ponto de interesse da futura implantação de uma ponte ferroviária (Figura 1).

No inventário das séries históricas de vazão diária foi utilizado como critérios para seleção: (i) a seção de medição de vazão ser próxima à ponte projetada; (ii) estar a jusante do reservatório da UHE de Funil (operada por Furnas); (iii) extensão da série (anterior a 1970) e qualidade dos dados (quantidade de falhas, etc) e (iii) estar ativa. A localização, o período analisado e a área da bacia são

apresentadas na Tabela 1; além da série hidrológica citada, foram utilizadas outras quatro para complementação e preenchimento das falhas; na estão a localização dos principais postos na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

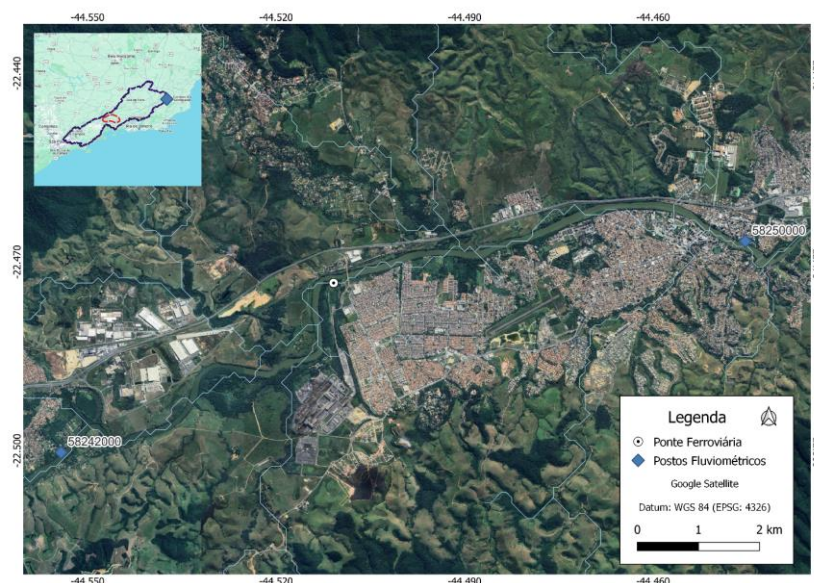


Figura 1 – Mapa de localização das estações fluviométricas ativas na bacia do Rio Paraíba do Sul, próximas à Resende-RJ.

Tabela 1 – Características da estação de medição fluviométrica no rio Paraíba do Sul/RJ.

Estação de Aferição			Área da bacia (km ²)	Período analisado	Coordenadas	
Código	Nome	Cidade			Latitude	Longitude
58204000	Guaratinguetá	Guaratinguetá	10.800	1941-2021	-21,8119°	-45,1825°
58242000	UHE Funil Jusante 1	Itatiaia	13.400	1956-2016	-22,5003°	-44,5542°
58250000⁽²⁾	Resende	Resende	14.000	1931-2017	-22,4667°	-44,4453°
58300000	UHE Funil Jusante 2	Barra Mansa	15.800	1940-2016	-22,5375°	-44,1758°
58630002	Anta	Sapucaia	32.700	1933-2022	-22,0353°	-42,9908°

Fonte: (1) <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>; e (2) Série hidrológica de vazões máximas anuais utilizada para o estudo de descargas máximas de projeto

O posto fluviométrico selecionado está, aproximadamente 19 km à jusante da barragem de Funil, passando pela cidade de Resende-RJ; o segundo posto mais próximo da ponte é o 58242000 que está a 6,3 km desta e 5,3 km da barragem. Ambos os postos hidrométricos estão ativos sendo que o 58250000 possui série histórica compreendida entre os anos 1931 e 2017, totalizando 87 anos, sendo 13% desses falhos. Já o posto 58242000 conta com uma série que inicia em 1956, estendendo até 2016, porém há longos períodos sem dados, perfazendo 30% de anos falhos.

Para avaliar se existe tendência temporal na série hidrológica histórica das vazões máximas anuais diárias (Qdmax), foram combinados os testes estatísticos não paramétricos de Spearman (SP), Mann Kendall (MK) e Pettitt (PT), descritos em Pellegrino (1995) e Back (2001).

As hipóteses estatísticas do teste de tendência MK são: (i) H_0 , se não existe tendência temporal significativa, e a hipótese alternativa (ii) H_a se há uma tendência temporal. O objetivo dos testes é verificar se a hipótese nula pode ser aceita ou rejeitada e, assim, o módulo do valor da variável estatística u não deve exceder o valor tabulado. Para confirmar a inexistência de uma tendência temporal monótona para as séries hidrológicas, seguindo as recomendações de Naghettini e Pinto (2007) foi empregado simultaneamente o teste não-paramétrico de Spearman.

O ponto de mudança abrupta ou início da tendência foi determinado pelo teste não paramétrico de Pettitt. Este teste verifica se duas amostras da mesma série pertencem à mesma população (onde N é o número de observações de toda a série hidrológica).

A estatística $U(t,N)$ deste teste é calculado pela contagem do número de vezes que a observação da primeira amostra é maior do que os membros da segunda; a variável $U(t,N)$ é calculada sequencialmente para todos os valores da série hidrológica, e o valor da estatística do teste PT é o máximo $U(t,N)$ estimado, ou seja, $k(t) = \text{Max}_{0 < t < T} |U(t,T)|$.

Segundo Back (2001), a significância do teste é estimada pela equação 1, considerando o nível de significância $\alpha_0=5\%$; por meio dessa equação calcula-se o valor crítico (k_{crit}) da estatística PT; para comprovar que houve alguma mudança brusca na série hidrológica, o módulo da estatística $k(t)$ deve ser maior que o k_{crit} .

$$k_{crit} \cong \mp \sqrt{\frac{-Ln\left(\frac{\alpha_0}{2}\right) * (N^3 + N^2)}{6}} \rightarrow \mp \sqrt{\frac{-Ln\left(\frac{0,05}{2}\right) * (N^3 + N^2)}{6}} \quad (1)$$

Uma vez identificada uma variabilidade periódica nas séries hidrológicas de vazões máximas anuais diárias, esses valores foram corrigidos, eliminando a variação temporal. Para tanto, utilizou-se a metodologia descrita em Jacomazzi *et al.* (2022). O resultado da correção é uma série aleatória, estacionária, na qual o período anterior (início da série referente ao ano de ruptura) é acrescido pelo coeficiente angular do período recente, no qual permanecem os valores observados.

Após correção dos dados fluviométricos do Posto 58250000 para uma série histórica “sem variação temporal” foi realizada a correção da vazão máxima média diária anual, para a vazão máxima instantânea anual.

As séries de vazões diárias disponibilizadas pelo SNIRH-Hidroweb são vazões médias diárias calculadas pela média das observações às 07:00 horas e às 17:00 horas. A aplicação de métodos estatísticos diretamente a estas séries não corrigidas para as vazões instantâneas leva à subdimensionamentos das estruturas hidráulicas de proteção aos efeitos das enchentes.

Fuller (1914), citado em Silva e Tucci (1998), apresentou uma relação matemática entre as vazões máxima média diária ($Q_d.med$) e a máxima instantânea ($Q_d.max$) em função da área da bacia,

esta relação foi ajustada para uma região dos Estados Unidos. Vários outros autores apresentaram relações desse tipo para diferentes regiões do mundo, algumas dessas resumidas na Tabela 2. Após correção das vazões máximas diárias anuais da estação fluviométrica 58250000, procedeu-se a correção da vazão $Q_{max.média.diária}$ para máxima instantânea.

Para estimar a probabilidade de ocorrência de eventos extremos máximos, utilizou-se a distribuição Fisher-Tippet Tipo I (distribuição Gumbel); os parâmetros α (escala) e β (posição) foram estimados pelo método da máxima verossimilhança, conforme sugerido por Beijo (2002) e Bautista (2002); finalmente, foi utilizado o teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov descrito em Naghettini e Pinto (2007) para avaliar se os dados se ajustavam à distribuição teórica de probabilidade.

Tabela 2 - Equações propostas para transformação de vazões médias diárias máximas anuais em vazões máximas instantâneas anuais, em relação a Área da bacia de contribuição.

Autor	Região	Equação Proposta	Valores de correção (R)
Füller (1914)	Rio Tohickson	$Qd_{max}/Qd_{med} = 1 + \frac{2,66}{A^{0,30}}$	1,152
Gray (1970)	Central Plains	$Qd_{max}/Qd_{med} = \frac{11}{A^{*0,26}}$	1,17
Tucci et al. (1991)	Brasil	$Qd_{max}/Qd_{med} = 1 + \frac{15,03}{A^{0,59}}$	1,0537
R médio =			1,127

Em que: A - área da bacia de drenagem em Km² e A* em milhas quadradas; Qmed - Vazão média diária máxima anual e Q_{max} - Vazão máxima diária anual

Fonte: Silva e Tucci (1998).

RESULTADOS

O posto fluviométrico selecionado (5825000) linha preta contínua da Figura 2, dos 87 anos da série fluviométrica houve 12 anos com falhas sendo: 1961, 1964, 1979 a 1982, 1996, 1998, 2001, 2009 a 2010 e 2018, representando 14% do período, comparado com o posto 58204000 além de ser longa (quase 100 anos de observação) apresentou poucas falhas, assim como a 58630002 (90 anos, segundo eixo vertical). A partir das relações entre as séries fluviométricas (Figura 3), as falhas da série histórica hidrológica 58250000 foram preenchidas; também foram estendidos alguns anos sem dados, para obter finalmente uma série contínua entre 1922 e 2022, perfazendo 100 anos de valores das vazões diárias máximas anuais.

A aplicação dos testes estatísticos na série fluviométrica da vazão máxima anual para a 58250000 é apresentado na Tabela 3, onde foram estimados os testes não paramétricos, o módulo do valor da estatística de MK foi 4,973, sendo superior ao nível de significância de 1% e, portanto, não rejeita-se a hipótese de tendência da série histórica; também o teste de Pettitt identifica que o máximo valor calculado do teste $U_{t,T} = 1665$, em 1967, foi significativo e, portanto pode ser considerado como uma mudança abrupta no comportamento da série hidrológica de vazões máximas anuais.

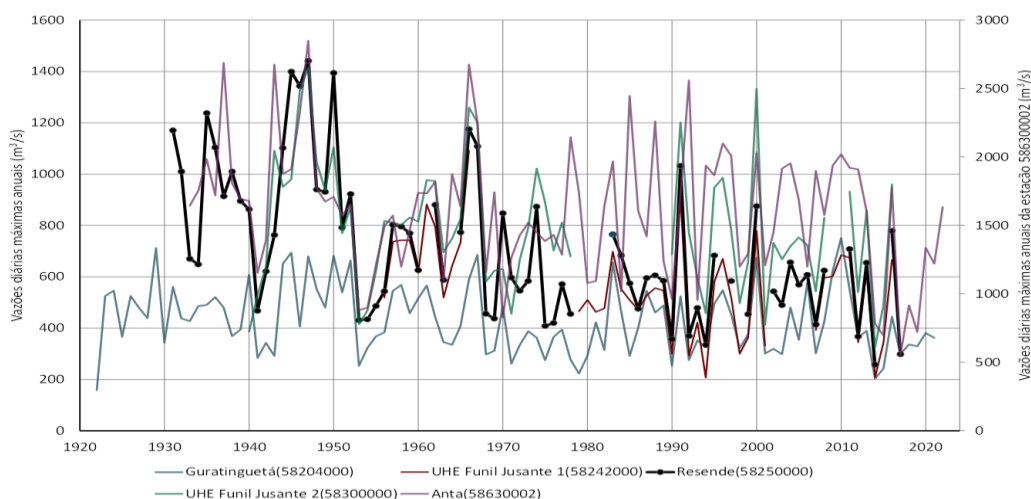


Figura 2– Vazões diárias máximas anuais para as séries históricas na bacia do Rio Paraíba do Sul, à Resende-RJ.

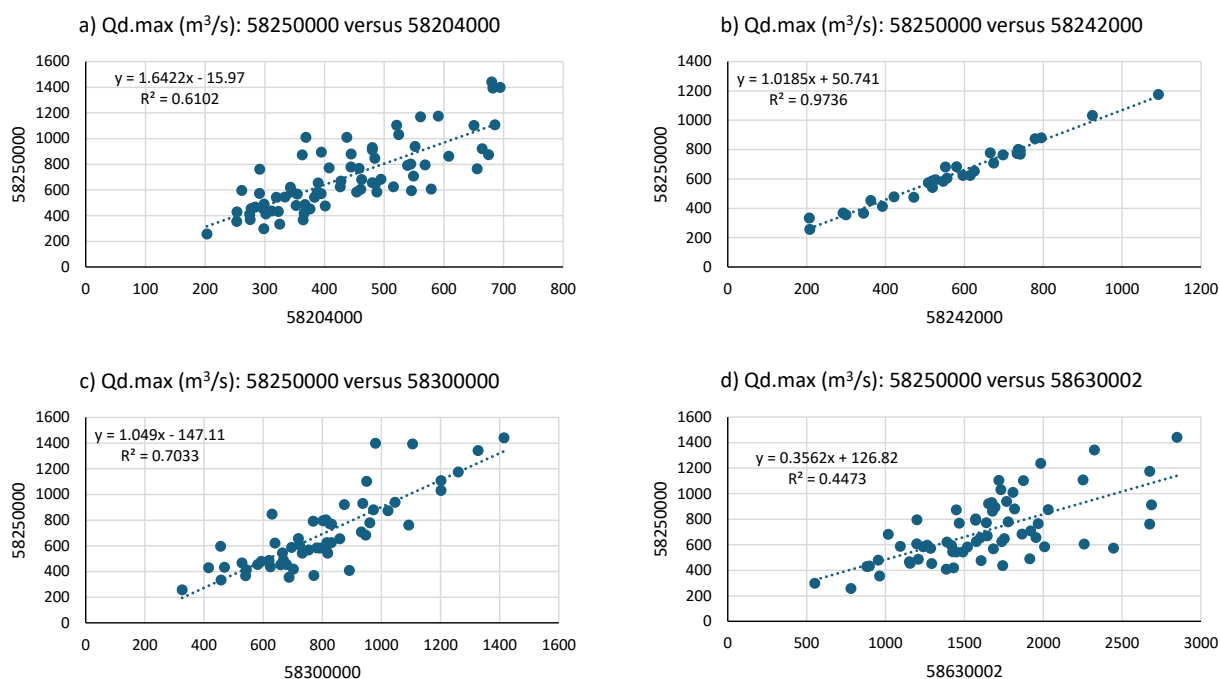


Figura 3 – Correlação entre as séries históricas das vazões diárias anuais para as séries históricas estudadas na bacia do Rio Paraíba do Sul, à Resende.

Conforme informações do site <https://www.furnas.com.br>, a construção da UHE de Furnas foi iniciada em 1961 pela Chevap (Companhia Hidrelétrica do Vale do Paraíba) sendo que em 1969, teve início a operação pela FURNAS, dessa forma, infere-se que as observações após 1967 tendem a diminuir as estimativas das vazões de projeto e, portanto, deve ser utilizado para corrigir os demais períodos da série a fim de garantir a segurança hidráulica das estruturas dimensionadas.

Identificado esses períodos distintos, realizou-se a “atualização” dos valores das vazões diárias máximas instantâneas anuais do período seco (1922-1967) e período úmido (1967-2022), por meio da aplicação do método descrita em Jacomazzi *et al.* (2022), conforme ilustrado pela Figura 4.

Tabela 3 - Testes estatísticos não paramétricos de aleatoriedade e tendência para as estações fluviométrica das vazões diárias máximas anuais da 58250000 na bacia do Rio Paraíba do Sul, à Resende.

Série fluviométrica	58250000
Período analisado	1922 – 2022 (100 anos)
Teste de Tendência de Mann Kendall (MK)	
Teste u(tn)	-4,973
Nível de significância (1)	H0:1%
Significado tendência (2)	Tend -
Teste de Tendência de Pettitt (PT)	
Teste $U_t, T: U_t, T = \text{MAX} U $	1665
k_{CRIT} :	788,01
Ano de mudança:	1967
Nível de significância (1)	H0: 1%, há mudança abrupta

- (1) Nível de Significância: H0: 1% - não rejeita hipótese H0 para $\alpha_0=1\%$; a. H0:51% - não rejeita hipótese H0 para $\alpha_0=5\%$; b. Ha: Rejeita H0;
(2) Significado Tendência: NS – não significativo, sem tendência; Tend+ - tendência positiva significativa; Tend- - tendência negativa significativa.

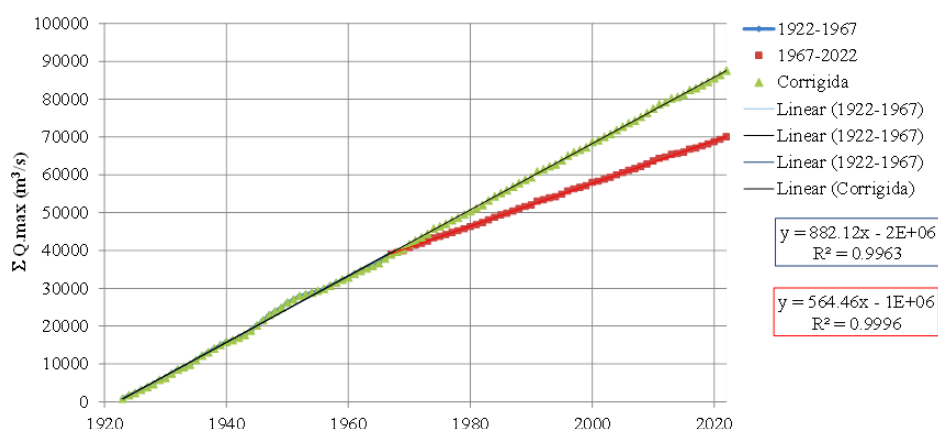


Figura 4 – Correção para a variação cíclica do longo período (1920 a 2020) da série histórica do posto 58250000, operada por Furnas, para o período úmido do ciclo de variação decadal, na bacia do Rio Paraíba do Sul, à Resende-RJ.

A partir dos valores de vazão diária máxima anual corrigidos, procedeu-se às estimativas das vazões máximas prováveis e suas respectivas probabilidades de ocorrências. Na Tabela 4 estão as vazões máximas anuais prováveis estimadas para a série anterior à operação da UHE de Funil (1922 a 1967), observando quão diferente são as estimativas das vazões máximas considerando-se ou não as correções, onde as estimativas das vazões prováveis da série corrigida são, em média, 17% superior à da série completa sem correção.

Tabela 4 - Estimativas dos parâmetros da distribuição de probabilidade Gumbel e das vazões máximas anuais prováveis ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) da série 58250000 do rio Paraíba do Sul, município de Resende – RJ.

Tempo de retorno (Tr, anos)	Vazões máximas anuais instantâneas prováveis ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)		
	Série observada, anterior à implantação da UHE de Funil (1922-1967)	Série Observado (1922 - 2022), sem correção	Série Corrigida (1922 - 2022)
10	1249	1039	1252
25	1463	1232	1462
100	1780	1517	1773
1.000	2302	1987	2285
10.000	2824	2455	2795
Posição (α)	226,27	203,50	221,80
Escala (β)	739,54	581,04	752,70

CONCLUSÕES

Os testes estatísticos não paramétrico conseguiram identificar que a operação da UHE Funil, iniciada em 1969, influenciou significativamente o regime de vazões máximas no trecho estudado, reduzindo as vazões anuais e tornou essa série fluviométrica não-estacionária. Os resultados desse estudo mostraram que a correção proposta homogeneizou a estatística amostral, resultando em estimativas prováveis de cheia 17% superiores quando comparada à série observada não corrigida.

A abordagem simplificada proposta permite sua aplicação prática da engenharia hidrológica, constituindo uma ferramenta essencial para análise da frequência em rios regulamentados.

REFERÊNCIAS

- ARNBJERG-NIELSEN, K., WILLEMS, P., OLSSON, J., BEECHAM, S., PATHIRANA, A., BÜLOW GREGERSEN, I., MADSEN, H., NGUYEN, V. T. V. (2013). "Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems: a review". *Water Sci Technol*, 68(1), 16–28.
- BACK, Á. J. (2001). "Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas". *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(5), 717–726.
- BALLARIN, A. S., ANACHE, J. A. A. A., WENDLAND, E., JAMIL, ·, ANACHE, A. A., WENDLAND, EDSON, ANACHE, J. A. A. A., WENDLAND, E. (2022). "Trends and abrupt changes in extreme rainfall events and their influence on design quantiles: a case study in São Paulo, Brazil". *Theoretical and Applied Climatology*, 149(3–4), 1753–1767.
- BARTIKO, D., CHAFFE, P. L. B., BONUMÁ, N. B. (2017). "Não-estacionariedade em séries de vazões máximas diárias do Sul do Brasil". *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 22, e48. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.0217170054>
- BAUTISTA, E. A. L. (2002). *A distribuição generalizada de valores extremos no estudo da velocidade máxima do vento em Piracicaba, SP*. Universidade de São Paulo, 47 p.
- BEIJO, L. A. (2002). *Distribuição de Gumbel: estudo de métodos de estimação dos parâmetros e ajuste aos dados de precipitação máxima de Lavras, Minas Gerais*. Universidade Federal de Lavras. <https://repositorio.ufla.br/handle/1/30904>, 91p.
- BLÖSCHL, G., HALL, J., PARAJKA, J., PERDIGÃO, R. A. P., MERZ, B., ARHEIMER, B., ARONICA, G. T., BILIBASHI, A., BONACCI, O., BORGA, M., ČANJEVAC, I., CASTELLARIN, A., CHIRICO, G. B., CLAPS, P., FIALA, K., FROLOVA, N., GORBACHOVA, L., GÜL, A., HANNAFORD, J., ŽIVKOVIĆ, N. (2017). "Changing climate shifts timing of European floods". *Science*, 357(6351), 588–590.
- DE OLIVEIRA, D. M., CARVALHO, V. S. B., DA SILVA, B. C., REBOITA, M. S., DE CAMPOS, B. (2023). "Hydrological and Precipitation Extremes and Trends over the Paraíba do Sul River Basin, Brazil". *Climate*, 11(7), 138.
- JACOMAZZI, M. A., ZUFFO, A. C., GALBETTI, M. V., SHINMA, T. A., PIRES, NATHALYA DALA ZEN NASCIMENTO, S., DUARTE, JOHANSSON, F. T. (2023). "Estimativa de Eventos Extremas em Rios com Medições de Vazão, Considerando as Variações Decadais". *XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 10 p.
- JACOMAZZI, M. A., ZUFFO, A. C., IMTEAZ, M. A., BOULOMYTIS, V. T. G., GALBETTI, M. V., SHINMA, T. A. (2022). "Maximum Extreme Flow Estimations in Historical Hydrological Series under the Influence of Decadal Variations". *Hydrology* 2022, Vol. 9, Page 130, 9(8), 130.

- Magilligan, F. J., & Nislow, K. H. (2005). Changes in hydrologic regime by dams. *Geomorphology*, 71(1–2), 61–78.
- MILLY, P. C. D., BETANCOURT, J., FALKENMARK, M., HIRSCH, R. M., KUNDZEWICZ, Z. W., LETTENMAIER, D. P., STOUFFER, R. J. (2008). “*Climate change: Stationarity is dead: Whither water management?*”. *Science*, 319(5863), 573–574.
- NAGHETTINI, M., PINTO, É. J. DE A. (2007). *Hidrologia estatística*. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 552p.
- PELLEGRINO, G. Q. (1995). *Análise espaço-temporal de dados hidrológicos da bacia do rio Piracicaba*. Universidade de São Paulo, 117 p. <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-20181127-160100/>
- PROSDOCIMI, I., KJELDSSEN, T. R., SVENSSON, C. (2014). “*Non-stationarity in annual and seasonal series of peak flow and precipitation in the UK*”. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(5), 1125–1144.
- SALAS, J. D., OBEYSEKERA, J. (2013). “*Revisiting the Concepts of Return Period and Risk for Nonstationary Hydrologic Extreme Events*”. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3), 554–568.
- Serinaldi, F., Kilsby, C. G. (2015). Stationarity is undead: Uncertainty dominates the distribution of extremes. *Advances in Water Resources*, 77(1), 17–36.
- SILVA, E. A., TUCCI, C. E. M. (1998). “*Relação entre as vazões máximas diária e instantânea*”. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 3(1), 133–151. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/231546>
- SINGH, A., SHARMA, P. J., TEEGAVARAPU, R. S. V. (2024). “*Understanding non-stationarity patterns in basin-scale hydroclimatic extremes*”. *International Journal of Climatology*, 44(11), 3867–3887.
- VOGEL, R. M., LALL, U., CAI, X., RAJAGOPALAN, B., WEISKEL, P. K., HOOPER, R. P., MATALAS, N. C. (2015). “*Hydrology: The interdisciplinary science of water*”. *Water Resources Research*, 51(6), 4409–4430.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Tropical Water Research Alliance (TWRA) pelo fomento e suporte acadêmico-institucional essenciais para a realização deste estudo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento.