ASSIMILAÇÃO DAS ABORDAGENS PARCIMONIOSAS EM ANÁLISE DE FREQUÊNCIA NÃO ESTACIONÁRIA: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Leonardo Costa Fontoura [1] & Daniel Henrique Marco Detzel [2]

Palavras-Chave – Não estacionariedade, Bibliometria, Regressão bivariada.

INTRODUÇÃO

A hipótese de estacionaridade tem sido historicamente um dos principais pressupostos em análises hidrológicas, assumindo que as características estatísticas dos processos permanecem constantes ao longo do tempo. Entretanto, evidências crescentes associadas às mudanças climáticas, alterações no uso e ocupação do solo e outras intervenções antrópicas em bacias hidrográficas têm questionado essa premissa, motivando uma ampla discussão sobre a necessidade de abordagens capazes de representar processos hidrológicos não estacionários. Nesse contexto, o trabalho de Milly *et al.* (2008) tornou-se um marco ao argumentar que a estacionaridade não poderia mais ser considerada uma condição válida para diversas aplicações em recursos hídricos, impulsionando o desenvolvimento de novas metodologias para análise de eventos extremos.

Desde então, diversos estudos passaram a empregar modelos não estacionários baseados em distribuições de probabilidade cujos parâmetros são condicionados a covariáveis explicativas, tais como índices climáticos, temperatura média e índices de reservatórios (COLES, 2001; TAN e GAN, 2015; ZHANG *et al*., 2015; XIONG *et al*., 2020). Apesar dos avanços obtidos, a literatura ainda apresenta importantes desafios relacionados à seleção de modelos, à interpretação física das covariáveis e ao equilíbrio entre complexidade e robustez estatística. Em particular, observa-se que muitas abordagens não estacionárias dependem de estruturas parametrizadas complexas, frequentemente sem uma discussão aprofundada sobre critérios de parcimônia (SERAGO e VOGEL, 2018). Além disso, permanece ausente um consenso sobre os procedimentos mais adequados para atualização de cheias de projeto sob condições não estacionárias, em razão das elevadas incertezas associadas à detecção, atribuição e projeção de tendências hidrológicas futuras. (LARRAURI e LALL, 2020; VOGEL e KROLL, 2020; LOMBARDI e DAVIS, 2022; ABDELMOATY e PAPALEXIOU, 2023).

Nesse cenário, Serago e Vogel (2018) propuseram uma abordagem alternativa fundamentada em modelos de regressão bivariada, com suporte a covariáveis, para estimação de cheias de projeto. A abordagem é baseada em princípios de robustez, parcimônia e quantificação explícita das incertezas. A proposta destacou-se por questionar a crescente complexidade dos modelos não estacionários e por oferecer uma estrutura conceitual capaz de apoiar a tomada de decisão em condições de elevada incerteza.

Considerando a relevância alcançada por esse trabalho na literatura, o presente estudo tem como objetivo analisar o impacto científico de Serago e Vogel (2018) por meio de uma revisão bibliométrica de suas citações. Para isso, foram avaliadas as publicações que referenciam o estudo, buscando identificar como o artigo tem sido utilizado pela comunidade científica e quais fatores explicam sua ampla disseminação no campo da modelagem hidrológica.

1) Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, UFPR, leonardo.fontoura@ufpr.br
2) Professor Permanente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, UFPR, detzel@ufpr.br

METODOLOGIA

O presente estudo consiste em uma revisão bibliométrica e qualitativa das citações ao trabalho de Serago e Vogel (2018). O levantamento bibliográfico foi realizado por meio da ferramenta "Citado por" disponível no Google Acadêmico, considerando todas as publicações que referenciaram o artigo desde sua publicação até janeiro de 2026.

Inicialmente, foram identificados todos os trabalhos retornados pela plataforma. Em seguida, foi realizada uma etapa de depuração dos resultados, com a remoção de registros duplicados. Após essa filtragem, foram obtidas 112 publicações para análise.

Cada publicação foi examinada individualmente com o objetivo de identificar o contexto em que Serago e Vogel (2018) foi citado. As citações foram então classificadas em sete categorias temáticas: Comparação (C), Extensão (E), Aplicação (A), Parcimônia (P), Revisão (R), Metodologia (M) e Fundamentação Teórica (FT), conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Classes utilizadas para classificação das citações

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
C - Comparação	Uso de Serago e Vogel (2018) com intuito de comparação com outros modelos ou resultados obtidos.
E - Extensão	Uso de Serago e Vogel (2018) como base para desenvolvimento ou modificação, como inclusão de novas covariáveis ou estruturas.
A - Aplicação	Uso de Serago e Vogel (2018) em dados reais ou estudos de caso, com implementação prática (parcial ou completa).
P - Parcimônia	Uso de Serago e Vogel (2018) para justificar modelos simples, com número reduzido de parâmetros ou menor complexidade
R - Revisão	Uso de Serago e Vogel (2018) como parte do estado da arte ou listagem de estudos, sem detalhamento metodológico
M - Metodologia	Referência ao método proposto por Serago e Vogel (2018), incluindo equações, formulações ou descrição do procedimento, sem aplicação direta em dados
FT - Fundamentação Teórica	Uso de Serago e Vogel (2018) apenas como fundamentação teórica em relação a temas como não estacionariedade, mudanças climáticas e hidrologia em geral

A classificação foi realizada com base na função desempenhada pela referência dentro do texto analisado. Uma mesma publicação poderia citar Serago e Vogel (2018) em diferentes contextos ao longo do texto, sendo, portanto, enquadrada em mais de uma categoria. Nesses casos, a publicação foi contabilizada uma vez em cada categoria identificada. Entretanto, múltiplas citações pertencentes à mesma categoria dentro de uma mesma publicação foram contabilizadas apenas uma única vez.

RESULTADOS

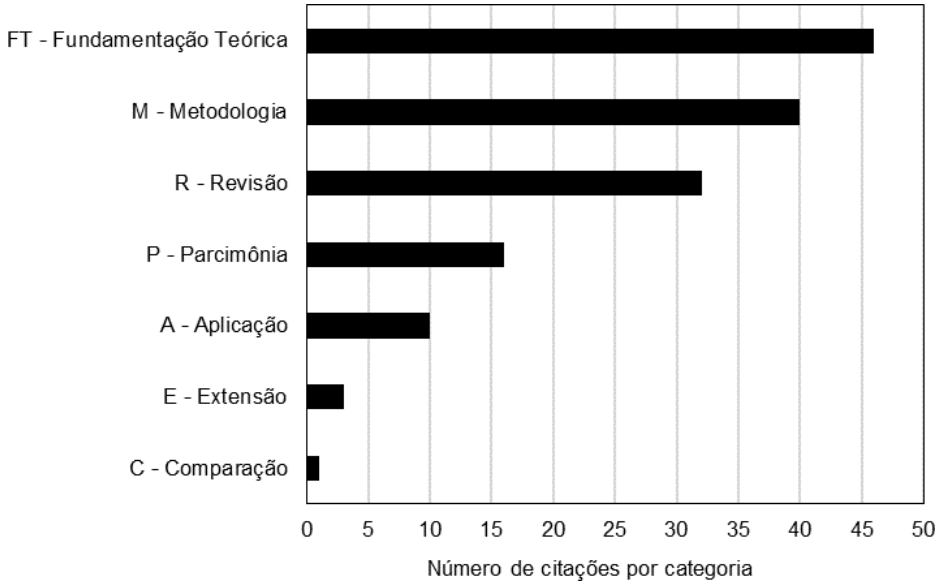
Na Tabela 1 e Figura 1 é apresentada a quantidade de citações classificadas com base nas categorias propostas. Foram identificadas 112 publicações que citaram Serago e Vogel (2018) entre 2017 e 2026, resultando em 148 ocorrências classificadas nas categorias de análise. A maior parte das citações está associada à Fundamentação Teórica (31,08%) e à Metodologia (27,03%), totalizando 58,11% das ocorrências classificadas. Apenas 6,76% das citações correspondem a aplicações práticas do método e 2,03% a extensões metodológicas, evidenciando que a metodologia ainda carece de mais aplicações

em estudos de caso. A categoria Parcimônia representa 10,81% das ocorrências, demonstrando a relevância do trabalho na discussão sobre modelos hidrológicos robustos e de baixa complexidade.

Tabela 1 – Quantidade de citações por categoria

CATEGORIA	QUANTIDADE	PERCENTUAL (%)
C – Comparação	1	0,68
E – Extensão	3	2,03
A – Aplicação	10	6,76
P – Parcimônia	16	10,81
R – Revisão	32	21,62
M – Metodologia	40	27,03
FT - Fundamentação Teórica	46	31,08
Total	148	100,00

Figura 1 - Quantidade de citações por categoria



Uma das mais importantes citações à Serago e Vogel (2018), o trabalho de Levin (2025), constitui uma extensão direta da metodologia proposta pelos autores. Especificamente, a autora introduz um procedimento para estimar a probabilidade de inundação em um determinado ano a partir de uma variável climática estocástica, incorporando explicitamente a incerteza associada à distribuição dessa covariável. O método foi aplicado a bacias da região centro-norte dos Estados Unidos, para as quais registrou-se as diferenças entre a análise de frequência convencional e sua versão não estacionária baseada em regressão bivariada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O elevado impacto de Serago e Vogel (2018) decorre principalmente de sua contribuição conceitual e metodológica para a modelagem hidrológica não estacionária. Ainda assim, os resultados do levantamento bibliométrico aqui apresentados mostram que a grande maioria dos estudos que mencionam o trabalho permanecem na esfera conceitual e metodológica. Isso evidencia haver oportunidades para avanços da abordagem, o que pode incluir estudos comparativos com outros métodos de análise não estacionária de frequência de cheias. Nesse sentido, recomenda-se a

realização de mais aplicações práticas da metodologia proposta por Serago e Vogel (2018), visando avaliar seu desempenho e sua robustez em diferentes estudos de caso.

REFERÊNCIAS

ABDELMOATY, H. M.; PAPALEXIOU, S. M. (2023). "*Changes of extreme precipitation in CMIP6 projections: should we use stationary or nonstationary models?*". Journal of Climate, v. 36, p. 2999-3014.

COLES, S. (2001). *An introduction to statistical modeling of extreme values*. London: Springer.

LARRUARI, P. C.; LALL, U. (2020). "*Assessing the exposure of critical infrastructure and other assets to the climate induced failure of aging dams in the US*". In: Final Report for the Global Risk Institute.

LOMBARDI, R.; DAVIS, M. A. L. (2022). "*Incorporating alluvial hydrogeomorphic complexities into paleoflood hydrology, magnitude estimation and flood frequency analysis, Tennessee River, Alabama*". Journal of Hydrology, v. 612, p. 128085.

MILLY, P. C. D. *et al.* (2008). "*Stationarity is dead: Whither water management?*". Science, v. 319, p. 573-574.

SERAGO, J. M.; VOGEL, R. M. (2018). "*Parsimonious nonstationary flood frequency analysis*". Advances in Water Resources, v. 112, p. 1-16.

TAN, X.; GAN, T. Y. (2015). "*Nonstationary analysis of annual maximum streamflow of Canada*". Journal of Climate, v. 28, p. 1788-1805.

VOGEL, R. M.; KROLL, C. N. (2020). "*A comparison of estimators of the conditional mean under non-stationary conditions*". Advances in water resources, v. 143, p. 103672.

XIONG, B. *et al*. (2020). "*Nonstationary frequency analysis of censored data: a case study of the floods in the Yangtze River from 1470 to 2017*". Water Resources Research, v. 56, p. e2020WR027112.

ZHANG, Q. *et al*. (2015). "*Evaluation of flood frequency under non-stationarity resulting from climate indices and reservoir indices in the East River basin, China*". Journal of Hydrology, v. 527, p. 565-575.