ÍNDICES DE SECA CLÁSSICOS E RECENTES: REVISÃO E CLASSIFICAÇÃO PARA O MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO

Iago José de Lima Silva [1] ; Wesley Douglas Oliveira Silva [2]& Andressa Ellen Apolinário [3]

Palavras-Chave – Seca; Índices de Seca; Monitoramento Hidrometeorológico.

INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno natural recorrente em diferentes condições climáticas e produz impactos significativos sobre os sistemas ambientais, sociais e econômicos, afetando a agricultura, os recursos hídricos e o abastecimento humano (Campos; Studart, 2001; Fernandes et al., 2009; Mishra; Singh, 2010). Em função de sua complexidade, a caracterização da seca exige ferramentas capazes de detectar sua ocorrência, intensidade, duração e abrangência espacial (Steinemann, 2003).

Nesse contexto, os índices de seca constituem instrumentos fundamentais para a quantificação e o monitoramento desse fenômeno, uma vez que transformam diferentes variáveis hidrometeorológicas em indicadores numéricos comparáveis no tempo e no espaço (Hao; Aghakouchak, 2013; Mishra; Singh, 2010). Esses índices podem ser baseados em precipitação, temperatura do ar, evapotranspiração, escoamento superficial, vazão fluvial, umidade do solo e dados de sensoriamento remoto (Fernandes et al., 2009).

Entretanto, não existe um índice único capaz de representar satisfatoriamente todos os tipos de seca e todas as realidades ambientais, pois sua aplicação depende da escala temporal, da disponibilidade de dados e do objetivo do estudo (Oliveira Júnior et al., 2012). Assim, compreender as características dos índices clássicos e recentes é essencial para selecionar ferramentas mais adequadas ao monitoramento climático, agrícola e hidrológico.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão sintética dos principais índices de seca, com ênfase em sua classificação, variáveis de entrada e aplicações no monitoramento hidrometeorológico, a partir da sistematização proposta pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 2016).

METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliométrica e documental, tendo como referência principal o manual de indicadores e índices de seca da OMM (2016). Os índices de seca foram distribuídos em duas categorias: hidrológicos e meteorológicos. As categorias indicam a especificação de estudo de cada índice bem como a sua variedade. Além da função principal de cada índice de seca e, ainda servem de orientação para possíveis pesquisas.

Os dados de entrada indicados na catalogação do manual da OMM estão em siglas, sendo eles: AS = águas subterrâneas; CAD = capacidade de água disponível no solo; CC = coeficiente de cultivo; CF = vazões fluviais; CS = cobertura do solo; DC = dados de colheita; DHS = déficit de água no solo; EM = reservatório; ER = região ecológica; ET = evapotranspiração; ETP = evapotranspiração potencial; GW = águas subterrâneas; MN = manta de neve; Mod = modelagem; Múltiplo = vários indicadores; P = precipitação; Rad = radiação solar; RD = dados de reservatório; Sat = satélite; SF =

1) Afiliação: Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (CTEC/UFAL), iago.silva@icat.ufal.br;
2) Afiliação: Afiliação Professor do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (CTEC-UFAL), wesley.silva@ceca.ufal.br;
3) Afiliação: Mestre do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (CTEC/UFAL), andressaellenadm@hotmail.com.

vazão fluvial; T = temperatura; TPR = temperatura do ponto de orvalho; TS = tipo de solo; V = dados do vento; VAL = teor de água disponível.

A partir dessa sistematização inicial, realizou-se uma pesquisa bibliométrica e documental nas plataformas Scopus, Springer e Web of Science, com o objetivo de identificar o principal índice representativo de cada grupo analisado. Assim, buscou-se selecionar os índices meteorológicos e hidrológicos mais recorrentes e aplicáveis ao monitoramento da seca, considerando variáveis de entrada, finalidades de uso e relevância na literatura.

RESULTADOS

Em termos gerais, considerando as evidências bibliométricas e documentais, o SPI destaca-se como o principal índice meteorológico de seca, representando cerca de 22% de todas as publicações sobre índices de seca e 38,5% dos estudos da categoria meteorológica. Já entre os índices hidrológicos, o SDI é o mais representativo, concentrando aproximadamente 43,6% das publicações da categoria.

Os índices hidrológicos são mais voltados à avaliação dos impactos da seca sobre os sistemas hídricos, como rios, reservatórios, aquíferos e sistemas de abastecimento, conforme o quadro 1. Diferentemente dos índices meteorológicos, que identificam principalmente o déficit atmosférico ou pluviométrico, os índices hidrológicos permitem compreender os efeitos acumulados da seca na disponibilidade de água, conforme quadro 2.

O SDI é um índice hidrológico baseado exclusivamente na vazão (Modarres 2007). O SDI, proposto por Nalbantis e Tsakiris (2008), destaca-se por utilizar a vazão acumulada como variável de entrada, permitindo caracterizar secas hidrológicas associadas à redução do escoamento fluvial ao longo do tempo. Por sua simplicidade metodológica e relação direta com a disponibilidade hídrica em rios, o SDI apresenta-se como um índice representativo para o monitoramento da seca hidrológica.

Quadro 1 – Índices de seca hidrológica.

Índices de seca	Ano	Parâmetros de entrada	Função
Índice de seca hidrológica de Palmer (PHDI)	1965	P, T, CAD	Secas que afetam os recursos hídricos em escala de tempo
Índice de abastecimento de água de superfície (SWSI)	1982	P, EM, CF, MN	Detectar secas associadas a flutuações hidrológicas
Índice agregado de seca (ADI)	2003	P, ET, CF, EM, CAD, MN	Analisar a disponibilidade de água no regime climático
Índice de água padronizado (SWI)	2004	GW	Monitorar rios e córregos
Índice padronizado de vazão fluvial (SSFI)	2007	SF	Monitorar condições hidrológicas
Índice de seca do fluxo fluvial (SDI)	2008	SF	Monitorar secas em referência a vazões especificas
Índice de neve e derretimento normalizado (SMRI)	2014	P, T, CF, Mod	Concentra-se no efeito do congelamento da precipitação
Índice padrão de fornecimento de reservatório (SRSI)	2015	RD	Monitorar sistemas de reservatórios

Os índices meteorológicos são tradicionalmente utilizados para identificar déficits de precipitação e caracterizar períodos secos ou úmidos em diferentes escalas temporais, conforme o quadro 2. Esses índices utilizam principalmente variáveis como precipitação, temperatura do ar, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real.

O SPI se destaca entre os índices meteorológicos por sua simplicidade operacional, pois utiliza apenas dados de precipitação. Essa característica permite sua aplicação em diferentes regiões e escalas

temporais, como 1, 3, 6, 9, 12 ou mais meses, possibilitando a análise de secas de curta, média e longa duração. Estudos aplicados com o SPI são recorrentes em Portugal, na Sérvia, no Ceará, no sertão alagoano e no leste do nordeste brasileiro, demonstrando sua utilidade para identificar padrões espaço-temporais de seca e subsidiar o planejamento climático e hídrico (Santos et al., 2010; Gois et al., 2007; Nascimento et al., 2017; Silva et al., 2020).

Quadro 2 – Índices de seca meteorológica.

Índices de seca	Ano	Parâmetros de entrada	Função
Índice de Aridez (AI)	1925	P, T	Monitorar secas em escalas curtas e os efeitos agrícolas e meteorológicos
Coeficiente hidrotérmico de Selyaninov (HTC)	1928	P,T	Monitoramento de seca agrícola
Índice de anomalia pluviométrica (RAI)	1965	P	Aplicado em secas agrícolas, e as que afetam os recursos hídricos
Índice de severidade de seca Palmer (PDSI)	1965	P, T, CAD	Monitorar secas agrícolas
Índice Z de Palmer	1965	P, T, CAD	Comparar diferentes períodos de seca
Deciles	1967	P	Monitorar Secas meteorológica, agrícola e hidrológica
Índice de sequência do Keetch-Byram (KBDI)	1968	P, T	Útil em contextos agrícolas
Índice de umidade das culturas (CMI)	1968	P, T	Monitorar secas que afetam a agricultura
Índice normalizado de anomalias (SAI)	1977	P	Detectar secas em áreas de frequente ocorrência
Índice de zona de seca (DAI)	1980	P	Previsão de secas e inundações
Índice de secas da Administração Oceânica Nacional e da Atmosfera (NDI)	1987	P	Condições de seca que afetam a agricultura
Índice de precipitação padronizado (SPI)	1993	P	Monitoramento de períodos secos ou úmidos
Índice de seca específico das culturas (CSDI)	1993	P, T. TPR, V, Rad, CAD, Mod, DC	Efeito da seca em culturas especificas
Índice Z da China (CZI)	1995	P	Monitoramento de períodos secos ou úmidos
Índice efetivo de seca (EDI)	1996	P	Vigilância de secas meteorológicas e agrícolas
Índice de reivindicações de Seca (IDR)	1996	P, T, MN, EM, CF	Monitorar abastecimento de água em bacias e rios
Índice de severidade de seca autocalibrado de Palmer (sc-PDSI)	2004	P, T, CAD	Aplicado em secas meteorológicas, agrícola e hidrológica.
Índice de reconhecimento de secas (DRI)	2005	P, T	Casos que os efeitos na agricultura ou nos recursos hídricos importam
Índice de precipitação padronizada e evapotranspiração (SPEI)	2010	P, T	Condições associadas a inúmeros efeitos da seca
Índice de referência de seca para a agricultura (ARID)	2011	P, T, Mod	Detectar a seca sobre a agricultura

CONCLUSÕES

Os índices meteorológicos e hidrológicos são complementares no monitoramento da seca. O SPI destaca-se como um dos índices mais utilizados para identificar déficits de precipitação em diferentes escalas temporais, enquanto o SDI é amplamente empregado na análise da seca hidrológica por utilizar diretamente a vazão acumulada. Assim, a integração entre esses indicadores pode aprimorar

o diagnóstico da seca e apoiar a tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos. Ademais, a escolha do índice deve considerar o objetivo da análise, a escala de estudo e a disponibilidade de dados, sendo recomendada a integração entre diferentes indicadores para ampliar a precisão do diagnóstico e apoiar a tomada de decisão em contextos de escassez hídrica.

REFERÊNCIAS

CAMPOS, J. N. B.; STUDART, T. M. C. (2001). "Secas no Nordeste do Brasil: origens, causas e soluções" in *Anais do IV Diálogo Interamericano de Gerenciamento de Águas*, Foz do Iguaçu/PR.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L.; AMORIM, A. O.; CARDOSO, A. S. (2009). *Índices para a quantificação da seca*. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás/GO.

GOIS, G.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; SILVA, J. S.; SILVA JÚNIOR, J. L. C.; MONTEIRO, P. S. (2007). "Avaliação da seca através do Índice de Precipitação Padronizada (SPI) em alguns municípios do sertão alagoano" in *Anais do XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, Aracaju/SE.

HAO, Z.; AGHAKOUCHAK, A. (2013). "Multivariate Standardized Drought Index: a parametric multi-index model". *Advances in Water Resources*, v.57, p.12-18.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. (2010). "A review of drought concepts". *Journal of Hydrology*, v.391, n.1-2, p.202-216.

MODARRES, R. (2007). "Streamflow drought time series forecasting". Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, v.21, n.3, p.223-233.

NALBANTIS, I.; TSAKIRIS, G. (2009). "Assessment of hydrological drought revisited". Water Resources Management, v.23, n.5, p.881-897.

NASCIMENTO, F. W. D. S.; SILVEIRA, C. S.; MARCOS JÚNIOR, A. D.; TEIXEIRA FILHO, A. R. S. (2017). "Análise da variabilidade do Índice Padronizado de Precipitação (SPI) para o Sistema Jaguaribe-Metropolitano" in *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Florianópolis/SC.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; LYRA, G. B.; GOIS, G.; BRITO, T. T.; MOURA, N. S. H. (2012). "Análise de homogeneidade de séries pluviométricas para determinação do índice de seca IPP no estado de Alagoas". *Floresta e Ambiente*, v.19, n.1, p.101-112.

OMM – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE METEOROLOGIA; GWP – GLOBAL WATER PARTNERSHIP. (2016). *Manual de indicadores e índices de seca*. Programa de Gestão Integrada de Secas, Série 2 de Ferramentas e Diretrizes para a Gestão Integrada de Secas, Genebra.

SANTOS, J. F.; PULIDO-CALVO, I.; PORTELA, M. M. (2010). "Spatial and temporal variability of droughts in Portugal". *Water Resources Research*, v.46, W03503.

SILVA, D. F.; LIMA, M. J. S.; SOUZA NETO, P. F.; GOMES, H. B.; SILVA, F. D. S.; ALMEIDA, H. R. R. C.; PEREIRA, M. P. S.; COSTA, R. L. (2020). "Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação para o Leste do Nordeste". *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.2, p.449-464.

STEINEMANN, A. (2003). "Drought indicators and triggers: a stochastic approach to evaluation". *Journal of the American Water Resources Association*, v.39, n.5, p.1217-1233.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001.