

ANÁLISE MULTICRITÉRIO E INCERTEZA NA CONSTRUÇÃO DE ÍNDICES DE DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE HÍDRICA: REVISÃO INTEGRATIVA (2015 A 2026)

**MULTICRITERIA ANALYSIS AND UNCERTAINTY IN BUILDING WATER
PERFORMANCE AND SUSTAINABILITY INDICES: AN INTEGRATIVE REVIEW
(2015 TO 2026)**

Ciências Exatas e da Terra, Engenharias • 27/10/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/792992813](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/792992813)

Eliandro Lima de Amorim¹

RESUMO

Índices compostos e métodos de apoio multicritério à decisão são usados para comparar o desempenho e a sustentabilidade de sistemas hídricos, mas o resultado depende das escolhas de ponderação, normalização e agregação. Este artigo sintetizou como a literatura publicada entre 2015 e 2026 constrói esses índices e trata a incerteza associada a eles em três domínios: agricultura irrigada, edificações e bacias hidrográficas. Adotou-se a revisão integrativa, com buscas assistidas pela plataforma Consensus, triagem orientada pelo PRISMA 2020 e extração em matriz padronizada. Dos 211 registros únicos, 72 estudos foram incluídos. A ponderação objetiva (26,4%) e a subjetiva por especialistas (22,2%) foram as mais frequentes; a participação de atores locais na definição dos pesos apareceu em 5,6% dos estudos. A agregação aditiva predominou (37,5%), seguida dos métodos de distância ao ideal (22,2%). Mais da metade dos estudos (54,2%) não relatou tratamento da incerteza, apenas três aplicaram análise probabilística formal e nenhum usou inferência bayesiana. Nenhum trabalho combinou ponderação participativa com análise formal de incerteza, e o semiárido brasileiro apareceu em dois estudos. Índices hídricos destinados ao semiárido deveriam informar a distribuição dos rankings sob incerteza dos pesos, e não apenas uma ordenação única.

Palavras-chave: análise multicritério; indicadores compostos; incerteza; recursos hídricos; semiárido.

ABSTRACT

Composite indices and multicriteria decision aid methods are used to compare the performance and sustainability of water systems, yet results depend on weighting, normalization and aggregation choices. This article synthesized how the literature published between 2015 and 2026 builds such indices and handles their

uncertainty in three domains: irrigated agriculture, buildings and river basins. An integrative review was carried out, with searches assisted by the Consensus platform, screening guided by PRISMA 2020 and extraction into a standardized matrix. Of 211 unique records, 72 studies were included. Objective weighting (26.4%) and expert-based subjective weighting (22.2%) were the most frequent, while local stakeholders took part in weight setting in 5.6% of the studies. Additive aggregation prevailed (37.5%), followed by distance-to-ideal methods (22.2%). More than half of the studies (54.2%) reported no treatment of uncertainty, only three applied formal probabilistic analysis and none used Bayesian inference. No study combined participatory weighting with formal uncertainty analysis, and the Brazilian semiarid region appeared in two studies. Water indices intended for semiarid regions should report the distribution of rankings under weight uncertainty rather than a single ordering.

Keywords: multicriteria analysis; composite indicators; uncertainty; water resources; semiarid.

1. INTRODUÇÃO

A seca de 2012 a 2018 no Nordeste brasileiro levou reservatórios a níveis mínimos no mesmo período em que crescia a demanda de água para irrigação, o que obrigou a alterar a operação dos açudes para preservar estoques destinados às cidades e aos grandes projetos irrigados (Marengo *et al.*, 2021). Os choques de seca no Semiárido reduziram a área colhida, o valor da produção e a produtividade, e a oferta adequada de água atenuou parte dessas perdas (Costa, Sant'Anna e Young, 2021). Decidir onde investir, como alocar a água e como regular serviços hídricos exige, portanto, comparar sistemas que diferem ao mesmo tempo em eficiência, finanças, ambiente e efeitos sociais.

Índices compostos e métodos multicritério respondem a essa demanda ao reunir muitos indicadores em um escore ou em uma ordenação. O manual da OCDE e do Centro Comum de Investigação da Comissão Europeia organiza a construção desses índices em etapas que vão do marco teórico à normalização, à ponderação e agregação e, por fim, à análise de robustez e sensibilidade (Nardo *et al.*, 2008). Revisões sobre índices de sustentabilidade hídrica registram grande variedade de estruturas e indicadores (Jarzebski *et al.*, 2024). O ponto frágil está nas escolhas metodológicas: o peso nominal atribuído a um indicador não coincide necessariamente com sua importância efetiva no índice (Becker *et al.*, 2017), e a troca da regra de agregação ou de normalização altera rankings de forma apreciável (Milewski, Lezzaik e Rotz, 2020; Srivastava e Parmar, 2022). Quando um índice orienta metas regulatórias ou a distribuição de recursos públicos, essa instabilidade deixa de ser detalhe técnico e passa a definir quem é classificado como eficiente ou deficiente.

Este artigo teve por objetivo sintetizar como a literatura de 2015 a 2026 pondera, agrega e testa a robustez de índices de desempenho e sustentabilidade hídrica. Cinco questões orientaram a revisão: que métodos de ponderação e de agregação são usados; como a incerteza é tratada; em que medida atores locais participam da definição dos pesos; que diferenças existem entre agricultura irrigada, edificações e bacias; e que lacunas se apresentam para o semiárido brasileiro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Índices Compostos Aplicados à Água

Um índice composto reúne indicadores medidos em unidades diferentes em um valor único, capaz de ordenar sistemas, acompanhar sua evolução e comunicar resultados a gestores e usuários. O manual da OCDE organiza sua construção em dez etapas: marco teórico, seleção de dados, imputação de valores ausentes, análise multivariada, normalização, ponderação e agregação, análise de robustez e sensibilidade, retorno aos dados originais, ligação com outros indicadores e visualização dos resultados (Nardo *et al.*, 2008). A sequência explicita que ponderar e agregar são decisões do analista, e não propriedades dos dados, e que essas decisões precisam ser testadas antes de o índice ser usado.

Na gestão da água, a avaliação por indicadores ganhou espaço porque nenhum indicador isolado descreve, ao mesmo tempo, disponibilidade, uso, qualidade, governança e efeitos socioeconômicos. A revisão de Juwana, Muttill e Perera (2012) reuniu índices de sustentabilidade hídrica construídos com componentes, pesos e regras de agregação distintos, o que dificulta comparar resultados entre estudos. Nos índices de qualidade da água, a história se repete: a seleção de variáveis, a definição de pesos e a função de agregação produzem ambiguidade e eclipsamento, situação em que um parâmetro crítico deixa de aparecer no escore final (Kachroud *et al.*, 2019). No Brasil, Faro *et al.* (2019) aplicaram índices à avaliação do estresse de sistemas de recursos hídricos.

Na agricultura irrigada, a tradição é o benchmarking por indicadores de desempenho. O quadro proposto no âmbito do IPTRID reúne indicadores de serviço, de uso da água, de produtividade e de finanças, e passou a orientar comparações entre distritos e associações de usuários (Malano, Burton e Makin, 2004). Revisão

recente sobre a gestão da água agrícola identificou, porém, falta de padronização e excesso de indicadores, e recomendou conjuntos mais enxutos e comparáveis (Ahmad *et al.*, 2024). Essa limitação é o ponto de partida para os índices globais: quando dezenas de indicadores precisam ser reduzidos a uma ordenação, os métodos multicritério oferecem regras explícitas para fazê-lo.

2.2. Ponderação dos Indicadores

A ponderação define quanto cada indicador contribui para o resultado e pode seguir três lógicas. Na ponderação subjetiva, os pesos derivam do julgamento de especialistas. O método mais difundido é o AHP, que organiza o problema em hierarquia de objetivo, critérios e alternativas e obtém os pesos por comparações par a par em escala de 1 a 9; a coerência dos julgamentos é aferida pela razão de consistência, considerada aceitável quando inferior a 0,10 (Saaty, 2008). A técnica Delphi, aplicada em rodadas sucessivas de consulta, também é usada para convergir opiniões de especialistas ou de atores locais. Quando os consultados são usuários, gestores e comunidades, e não apenas técnicos, a ponderação passa a ser participativa e incorpora ao índice prioridades do território (Crispim, Silva e Fernandes, 2021; Bezerra *et al.*, 2021).

Na ponderação objetiva, os pesos são extraídos da estrutura dos dados. A entropia de Shannon é a opção mais frequente: após a normalização, calcula-se a entropia de cada critério, e o peso cresce com o grau de diferenciação entre as alternativas, de modo que indicadores quase constantes recebem pesos próximos de zero (Zhu, Tian e Yan, 2020). O método CRITIC acrescenta a correlação entre critérios, que a entropia pura ignora (Mukhametzyanov, 2021).

A vantagem é a independência em relação a opiniões; a desvantagem é que o peso passa a medir variabilidade, e não relevância para a gestão.

A ponderação combinada procura reunir as duas lógicas, como no acoplamento entre AHP e entropia para avaliar a qualidade de águas costeiras (Xiao *et al.*, 2022). Seja qual for a origem, vale a advertência de Becker *et al.* (2017): o peso nominal não equivale à importância efetiva do indicador, que depende também das correlações e da variância dos demais componentes.

2.3. Normalização e Agregação

Antes de agregar, os indicadores precisam ser postos em escala comum. A normalização linear entre mínimo e máximo é a mais usada, com sinal invertido para os indicadores de custo, mas também se aplicam razões em relação a um valor de referência, escalas categóricas e padronização estatística. Cada opção altera a distribuição dos valores e, por consequência, o ranking final (Milewski, Lezzaik e Rotz, 2020).

A agregação pode ser compensatória ou não compensatória. A média aritmética ponderada é plenamente compensatória: um bom resultado em um indicador neutraliza um resultado ruim em outro. A média geométrica reduz essa compensação, porque penaliza valores baixos, e as agregações híbridas combinam soma dentro de grupos e média geométrica entre grupos. O TOPSIS ordena as alternativas pela proximidade relativa à solução ideal, formada pelos melhores valores de cada critério, e pelo afastamento da solução anti-ideal; o coeficiente de proximidade varia entre 0 e 1 e permite ranquear corpos d'água, sistemas ou projetos (Li *et al.*, 2018). O

método é simples de calcular e de interpretar, mas sensível à normalização e a valores extremos.

O PROMETHEE pertence à família dos métodos de sobreclassificação. Para cada critério, o decisor escolhe uma função de preferência, com limiares de indiferença e de preferência, e o método compara as alternativas par a par; dessas comparações resultam fluxos positivos e negativos, cuja diferença gera o fluxo líquido que ordena as alternativas no PROMETHEE II (Brans e Vincke, 1985). A família inclui versões para intervalos, restrições, classificação e decisão em grupo, e a análise gráfica GAIA auxilia a leitura dos conflitos entre critérios (Behzadian *et al.*, 2010). Como a superioridade em um critério só se converte em preferência quando ultrapassa os limiares definidos, a compensação é parcial, o que diferencia o PROMETHEE das médias e do TOPSIS.

2.4. Incerteza e Robustez de Rankings

Um índice carrega incertezas de três origens: os dados, que trazem erros de medição e lacunas; os pesos, que variam conforme quem é consultado ou conforme a amostra; e a estrutura do modelo, definida pelas escolhas de normalização e agregação. A análise de robustez verifica se as conclusões resistem a essas incertezas. A forma mais simples é a sensibilidade de um fator por vez, que altera um peso e observa o ranking; ela é intuitiva, mas não capta interações entre fatores. Por isso, a robustez das escolhas de ponderação e agregação deve ser examinada em conjunto (Dobbie e Dail, 2013).

A simulação de Monte Carlo trata os pesos como variáveis aleatórias: milhares de vetores de pesos são sorteados de distribuições

uniformes, normais ou triangulares, o ranking é recalculado a cada sorteio e registra-se a frequência com que cada alternativa ocupa cada posição. Os estudos que adotaram esse procedimento mostram um padrão recorrente: as alternativas claramente superiores ou inferiores mantêm suas posições na maioria dos cenários, enquanto as intermediárias se deslocam várias posições (Vinogradova, Podvezko e Zavadskas, 2021; Kannan *et al.*, 2021; Vavatsikos *et al.*, 2022). A leitura dos resultados torna-se probabilística, com faixas de posição no lugar de um lugar fixo. A análise de sensibilidade global, por sua vez, decompõe a variância do resultado entre os fatores de entrada e identifica quais escolhas mais influenciam o índice.

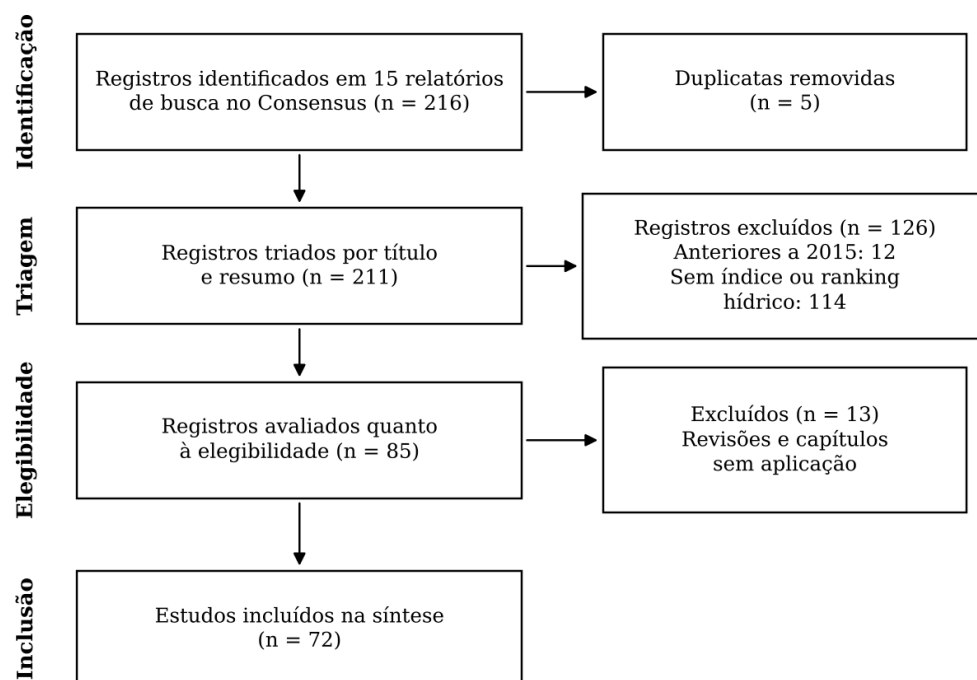
A inferência bayesiana oferece uma terceira via. Pelo teorema de Bayes, o conhecimento prévio sobre parâmetros é atualizado à medida que chegam novas observações, e o resultado é a distribuição posterior completa, com intervalos críveis em vez de estimativas pontuais (Haddad, 2025). Na hidrologia, essa lógica se consolidou na previsão probabilística de vazões e na combinação de modelos por média bayesiana (Darbandsari e Coulibaly, 2021). Aplicada a índices compostos, ela permitiria tratar os pesos como parâmetros com distribuição própria e atualizá-los com dados operacionais, aproximando a construção de índices da quantificação de incerteza já praticada na modelagem hidrológica.

3. METODOLOGIA

Realizou-se revisão integrativa (Whittemore e Knafl, 2005), com o fluxo de seleção registrado segundo o PRISMA 2020 (Page *et al.*, 2021). As buscas foram feitas na plataforma Consensus, que recupera artigos do acervo Semantic Scholar, entre 2025 e outubro de 2026,

em 15 consultas temáticas sobre PROMETHEE, TOPSIS, ponderação por entropia, índices compostos, desempenho e benchmarking em irrigação, convergência entre métodos, simulação de Monte Carlo, ponderação participativa, edificações, secas e perímetros do semiárido. Foram incluídos estudos empíricos ou metodológicos, publicados de 2015 a 2026, que construísem índice ou ranking com dois ou mais indicadores ligados à água. Excluíram-se registros anteriores a 2015, revisões e capítulos sem aplicação e estudos sem construção de índice (Figura 1).

Figura 1. Fluxo de seleção dos estudos (PRISMA 2020)



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Cada estudo foi codificado quanto a país, domínio, ponderação (subjetiva, objetiva, participativa, combinada ou endógena), agregação (aditiva, distância ao ideal, sobreclassificação, outra ou comparação de métodos) e tratamento da incerteza (probabilístico formal, sensibilidade determinística, representação de imprecisão, apenas comparação entre métodos ou nenhum). Atributos ausentes

no registro foram codificados como não identificados. A síntese combinou frequências simples e leitura narrativa por questão; a matriz completa constitui o material suplementar.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Panorama do Corpus

Os 72 estudos incluídos distribuíram-se em 16 publicações entre 2015 e 2019, 26 entre 2020 e 2022 e 30 entre 2023 e 2026, o que indica produção crescente. Bacias, reservatórios e recursos hídricos regionais reuniram 37 estudos (51,4%), a agricultura irrigada 25 (34,7%) e as edificações e sistemas urbanos 10 (13,9%). A China foi o país mais frequente, com 14 estudos, e o Brasil apareceu em 11 (15,3%), mas apenas dois tratavam do semiárido. Em 18 registros não foi possível identificar o país. O Quadro 1 resume 20 estudos representativos dos três domínios.

Quadro 1. Síntese de 20 estudos incluídos, por domínio

Estudo	País	Aplicação	Ponderação	Agregação	Incerteza
Kamali et al. (2017)	Brasil	Agricultura	Especialistas	Aditiva	Monte Carlo
Crispim, Silva e Fernandes (2021)	Brasil	Água rural	Participativa (Delphi)	Aditiva	Não relatada
Frizzone et al. (2023)	Brasil	Irrigação	Não	Aditiva	Não relatada

⚠ Esta tabela possui muitas colunas e foi cortada para impressão. Para visualizá-la completa, acesse o artigo original em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/analise-multicriterio-e-incerteza-na-construcao-de-indices-de-desempenho-e-sustentabilidade-hidrica-revisao-integrativa-2015-a-2026?noblockage>

Nota: NI, não identificado no registro; DEA, análise envoltória de dados.

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

4.2. Ponderação dos Indicadores

A ponderação objetiva foi a mais comum (19 estudos; 26,4%), quase sempre pela entropia de Shannon, que atribui maior peso ao indicador de maior dispersão. Esse peso mede a capacidade de discriminar alternativas, e não a relevância do indicador para a gestão. A diferença tem consequências práticas. Em avaliação dinâmica da conservação de água agrícola, todos os indicadores melhoraram e o índice piorou, porque a entropia deslocou peso para os indicadores com desempenho pior e mais disperso (Zhu, Xing e Yan, 2021). A entropia pura também ignora a correlação entre critérios e responde mal a zeros e valores extremos (Mukhametzhanov, 2021). Kedir, Berhanu e Alamirew (2022) calcularam em paralelo um índice com pesos iguais, cautela rara no corpus.

A ponderação subjetiva por especialistas apareceu em 16 estudos (22,2%), com AHP, AHP fuzzy, Delphi e Best-Worst Method; o AHP verifica a coerência dos julgamentos pela razão de consistência (Saaty, 2008). Cinco estudos combinaram pesos subjetivos e objetivos, como Lv *et al.* (2023), recurso que impede que um indicador conceitualmente importante, mas pouco variável, desapareça do índice. A participação de atores locais limitou-se a

quatro estudos (5,6%). Crispim, Silva e Fernandes (2021) usaram Delphi para ponderar um índice de sustentabilidade hídrica rural, e Bezerra *et al.* (2021) obtiveram pesos em oficinas com atores de bacias latino-americanas, nas quais a governança teve as piores pontuações. Em 26 estudos (36,1%) o registro não permitiu identificar a ponderação, falha de relato que já compromete a reprodutibilidade dos índices.

4.3. Agregação e Normalização

A agregação aditiva, por média ponderada, foi usada em 27 estudos (37,5%). Ela é compensatória: um desempenho alto em um indicador cobre um desempenho baixo em outro. Agregações híbridas, com soma dentro dos grupos e média geométrica entre eles, reduzem essa compensação em índices de serviços de abastecimento (Srivastava e Parmar, 2022), e a escolha da função de agregação afeta o eclipsamento de indicadores críticos em índices de qualidade da água (Uddin *et al.*, 2022). Métodos de distância ao ideal, sobretudo TOPSIS, apareceram em 16 estudos (22,2%) e os de sobreclassificação, como PROMETHEE e ELECTRE, em 9 (12,5%).

Nove estudos compararam métodos. AHP, TOPSIS e PROMETHEE alcançaram correlações de 0,951 e 0,910 entre rankings (Vargas *et al.*, 2023), e TOPSIS e PROMETHEE indicaram praticamente as mesmas melhores alternativas na seleção de modelos de propagação de cheias (Şahin e Özkaya, 2023). A concordância, no entanto, concentra-se nas extremidades. No ranqueamento de hidrelétricas, TOPSIS, PROMETHEE II e ELECTRE III coincidiram nas alternativas mais sustentáveis e divergiram nas posições intermediárias, por efeito dos limiares de preferência e da forma de cada método tratar os mesmos pesos (Shaktawat e Vadhera, 2021). Em reúso de água

cinza, a concordância entre quatro métodos variou de parcial a forte (Daniel, Ahammed e Shaikh, 2023). A comparação de métodos é útil, mas não substitui a análise da incerteza dos pesos.

4.4. Incerteza e Robustez

Mais da metade do corpus (39 estudos; 54,2%) não relatou nenhum tratamento da incerteza, e outros 12 (16,7%) limitaram-se a comparar métodos. A representação da imprecisão por números fuzzy, cinza, intervalares ou modelos de nuvem apareceu em 10 estudos (13,9%), como no PROMETHEE cinza aplicado à proteção de mananciais (Kuang, Kilgour e Hipel, 2015) e no índice de uso da água das províncias chinesas com entropia e modelo de nuvem (Zhang *et al.*, 2022). A sensibilidade determinística, por cenários de pesos ou variação de um fator por vez, foi aplicada em 8 estudos (11,1%); Milewski, Lezzaik e Rotz (2020) variaram normalização, pesos e agregação de um índice de risco de aquíferos.

Apenas três estudos (4,2%) fizeram análise probabilística formal. Kamali *et al.* (2017) aplicaram Monte Carlo sobre julgamentos de especialistas, Silva, Alencar e Almeida (2022) usaram análise de sensibilidade global em modelo de risco para adaptação urbana a cheias, e Carstensen, Murray e Lindegarth (2023) estimaram a confiança de um índice de estado ecológico. Nenhum estudo empregou inferência bayesiana, embora ela produza a distribuição posterior completa e intervalos críveis na modelagem hidrológica (Haddad, 2025). Nas edificações, Monte Carlo é o método mais usado para quantificar incerteza em simulação energética (Tian *et al.*, 2018), mas não foi acoplado a índices hídricos. A prática segue atrás do que o manual da OCDE já prevê como etapa obrigatória (Nardo *et al.*, 2008).

4.5. Domínios de Aplicação

Na agricultura irrigada, a ponderação objetiva respondeu por 10 dos 25 estudos e 19 deles não relataram tratamento da incerteza. O domínio herda a tradição do benchmarking e da análise envoltória de dados: nos projetos públicos brasileiros, menos da metade alcançou eficiência técnica (Fragoso e Pizaia, 2023). Na bacia do Jaguaribe, um índice com critérios de produção, água, economia e emprego mostrou que o baixo desempenho surge quando mais de um critério é inadequado, com valores abaixo de 0,3 em cenários secos (Frizzzone *et al.*, 2021).

As edificações formaram o menor grupo, mas nove dos dez estudos relataram alguma verificação de robustez. Há índices para escolas, com 123 componentes ponderados pelo Best-Worst Method em 35 unidades (Güngör, Bozkurt e Firat, 2025), e indicador fuzzy aplicado a 82 escolas (Flores e Ghisi, 2024), porém nenhum incorporou a incerteza climática. As bacias concentraram a maior diversidade metodológica, com as cinco ponderações combinadas, seis estudos com representação de imprecisão e três com ponderação participativa.

4.6. Lacunas e Agenda de Pesquisa

Quatro lacunas se destacam. Nenhum estudo combinou ponderação participativa com análise probabilística da incerteza: quem consulta atores locais não testa a estabilidade dos pesos, e quem testa a estabilidade usa pesos de especialistas ou estatísticos. O semiárido brasileiro apareceu em apenas dois estudos, sem análise formal de incerteza. Séries temporais são raras, e o comportamento anômalo da entropia em avaliações dinâmicas

(Zhu, Xing e Yan, 2021) recomenda cautela com índices de acompanhamento anual. Por fim, a alta proporção de ponderações não identificadas pede protocolos de relato mais completos e bases de dados abertas.

A agenda que decorre dessas lacunas é tratar os pesos obtidos com atores locais como distribuições, e não como valores fixos, propagá-los por Monte Carlo e decompor a variância por índices de Sobol. A inferência bayesiana permitiria atualizar essas distribuições à medida que novos dados operacionais e hidrológicos se acumulam. Em perímetros irrigados, escolas e bacias sujeitas a secas, o resultado esperado é uma probabilidade de cada sistema ocupar cada posição, o que separa as alternativas de desempenho estável daquelas cuja posição depende dos pesos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura de 2015 a 2026 constrói índices hídricos sobretudo com pesos objetivos ou de especialistas e agregação aditiva ou de distância ao ideal. A participação de atores locais é rara, e a incerteza costuma ser ignorada ou reduzida à comparação entre métodos, que confirma as alternativas extremas e deixa instáveis as intermediárias. Edificações relatam mais verificações de robustez, a agricultura irrigada menos, e as bacias reúnem a maior variedade de métodos. A lacuna central é a ausência de índices que unam ponderação participativa e análise probabilística, agravada pela baixa presença do semiárido brasileiro. Para a região, onde a disponibilidade hídrica oscila fortemente entre anos, índices que informem a probabilidade de cada sistema ocupar cada posição seriam mais úteis à regulação e à alocação de água do que ordenações únicas. A revisão tem limites: as buscas usaram uma

única plataforma, a extração partiu dos registros recuperados e parte dos atributos não pôde ser identificada. A replicação em Scopus, Web of Science e SciELO, com leitura integral dos textos, deve refinar as frequências aqui apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, M.; HAIE, N.; GONÇALVES, J.; PINHO, J.; YEN, H.; YAKUBU, M.; MOHAMMED, M.; SULEIMANA, A. Performance assessment and indicators for agricultural water management: a review. **Water and Environment Journal**, v. 38, p. 192-211, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/wej.12913>.

BECKER, W.; SAISANA, M.; PARUOLO, P.; VANDECASTEELE, I. Weights and importance in composite indicators: closing the gap. **Ecological Indicators**, v. 80, p. 12-22, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.056>.

BEHZADIAN, M.; KAZEMZADEH, R.; ALBADVI, A.; AGHDASI, M. PROMETHEE: a comprehensive literature review on methodologies and applications. **European Journal of Operational Research**, v. 200, p. 198-215, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.021>.

BEZERRA, M.; VOLLMER, D.; ACERO, N.; MARQUES, M.; RESTREPO, D.; MENDOZA, E.; COUTINHO, B.; ENCOMENDEROS, I.; ZULUAGA, L.; RODRÍGUEZ, O.; SHAAD, K.; HAUCK, S.; GONZÁLEZ, R.; HERNANDEZ, F.; MONTELONGO, R.; TORRES, E.; SERRANO, L. Operationalizing integrated water resource management in Latin America: insights from application of the Freshwater Health Index. **Environmental Management**, v. 69, p. 815-834, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-021-01446-1>.

BRANS, J.; VINCKE, P. A preference ranking organisation method: the PROMETHEE method for multiple criteria decision-making. **Management Science**, v. 31, p. 647-656, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.31.6.647>.

CARSTENSEN, J.; MURRAY, C.; LINDEGARTH, M. Mixing apples and oranges: assessing ecological status and its confidence from multiple and diverse indicators. **Journal of Environmental Management**, v. 344, 118625, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118625>.

COSTA, L.; SANT'ANNA, A.; YOUNG, C. Barren lives: drought shocks and agricultural vulnerability in the Brazilian Semi-Arid. **Environment and Development Economics**, v. 28, p. 603-623, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1017/s1355770x21000176>.

CRISPIM, D. L.; SILVA, G. D. P.; FERNANDES, L. L. Rural water sustainability index (RWSI): an innovative multicriteria and participative approach for rural communities. **Impact Assessment and Project Appraisal**, v. 39, p. 320-334, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/14615517.2021.1911752>.

DANDAPAT, A.; PANDA, P.; SANKALP, S.; JOTHIMANI, M. Integrated assessment of groundwater quality for sustainable irrigation in drought-prone central districts of Odisha, India. **Discover Sustainability**, v. 5, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00443-8>.

DANIEL, M.; AHAMMED, M.; SHAIKH, I. N. Selection of greywater reuse options using multi-criteria decision-making techniques. **Water Conservation Science and Engineering**, v. 8, p. 1-14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41101-023-00181-4>.

DARBANDSARI, P.; COULIBALY, P. HUP-BMA: an integration of hydrologic uncertainty processor and Bayesian model averaging for streamflow forecasting. **Water Resources Research**, v. 57, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020wr029433>.

DAVIS, D.; ZVIRGZDIŇŠ, J.; WEERAKOON, T.; GEIPELE, I.; CHESHARA, L. Hybrid multiple-criteria decision-making (MCDM) framework for optimizing water-energy nexus. **Sustainability**, v. 18, n. 6, 3097, 2026. DOI: <https://doi.org/10.3390/su18063097>.

DOBBIE, M.; DAIL, D. Robustness and sensitivity of weighting and aggregation in constructing composite indices. **Ecological Indicators**, v. 29, p. 270-277, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.12.025>.

FARO, G.; GARCIA, J.; OLIVEIRA, C.; RAMOS, M. Application of indices for water resource systems stress assessment. **RBRH**, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180106>.

FLORES, R.; GHISI, E. Development of a fuzzy indicator of water efficiency in buildings. **Water Resources Management**, v. 39, p. 1827-1853, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-024-04048-8>.

FRAGOSO, R.; PIZAIA, M. Efficiency and its determinants in the public irrigation projects of Brazil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.276113>.

FRIZZONE, J. A.; LIMA, S. C. R. V.; LACERDA, C.; MATEOS, L. Socio-economic indexes for water use in irrigation in a representative basin of the tropical semiarid region. **Water**, v. 13, n. 19, 2643, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13192643>.

GÜNGÖR, F.; BOZKURT, C.; FIRAT, M. Development of a novel water efficiency sustainability index framework for analysis and monitoring of water efficiency in schools. **Water Practice and Technology**, 2025. DOI: <https://doi.org/10.2166/wpt.2025.168>.

HADDAD, K. A comprehensive review and application of Bayesian methods in hydrological modelling: past, present, and future directions. **Water**, v. 17, n. 7, 1095, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/w17071095>.

JARZEBSKI, M.; KARTHE, D.; CHAPAGAIN, S.; SETIAWATI, M.; DONA, C.; PU, J.; FUKUSHI, K. Comparative analysis of water sustainability indices: a systematic review. **Water**, v. 16, n. 7, 961, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16070961>.

JUWANA, I.; MUTTIL, N.; PERERA, B. Indicator-based water sustainability assessment: a review. **Science of the Total Environment**, v. 438, p. 357-371, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.093>.

KACHROUD, M.; TROLARD, F.; KEFI, M.; JEBARI, S.; BOURRIÉ, G. Water quality indices: challenges and application limits in the literature. **Water**, v. 11, n. 2, 361, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11020361>.

KAMALI, F.; BORGES, J. R.; MEUWISSEN, M.; BOER, I. D.; LANSINK, A. Sustainability assessment of agricultural systems: the validity of expert opinion and robustness of a multi-criteria analysis. **Agricultural Systems**, v. 157, p. 118-128, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.07.013>.

KANNAN, D.; MOAZZENI, S.; DARMIAN, S.; AFRASIABI, A. A hybrid approach based on MCDM methods and Monte Carlo simulation for sustainable evaluation of potential solar sites in east of Iran. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, 122368, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122368>.

KEDIR, Y.; BERHANU, B.; ALAMIREW, T. Analysis of water-energy-crop nexus indicators in irrigated sugarcane of Awash Basin, Ethiopia. **Environmental Systems Research**, v. 11, p. 1-19, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40068-022-00263-7>.

KUANG, H.; KILGOUR, D.; HIPEL, K. Grey-based PROMETHEE II with application to evaluation of source water protection strategies. **Information Sciences**, v. 294, p. 376-389, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2014.09.035>.

LI, Z.; YANG, T.; HUANG, C.; XU, C.; SHAO, Q.; SHI, P.; WANG, X.; CUI, T. An improved approach for water quality evaluation: TOPSIS-based informative weighting and ranking (TIWR) approach. **Ecological Indicators**, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.02.014>.

LV, B.; LIU, C.; LI, T.; MENG, F.; FU, Q.; JI, Y.; HOU, R. Evaluation of the water resource carrying capacity in Heilongjiang, eastern China, based on the improved TOPSIS model. **Ecological Indicators**, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110208>.

MALANO, H.; BURTON, M.; MAKIN, I. Benchmarking performance in the irrigation and drainage sector: a tool for change. **Irrigation and Drainage**, v. 53, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.126>.

MARENGO, J.; GALDOS, M.; CHALLINOR, A.; CUNHA, A. P.; MARIN, F.; VIANNA, M.; ALVALÁ, R.; ALVES, L.; MORAES, O. L.; BENDER, F.

Drought in Northeast Brazil: a review of agricultural and policy adaptation options for food security. **Climate Resilience and Sustainability**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/cli2.17>.

MILEWSKI, A.; LEZZAIK, K.; ROTZ, R. Sensitivity analysis of the groundwater risk index in the Middle East and North Africa region. **Environmental Processes**, v. 7, p. 53-71, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40710-019-00421-7>.

MUKHAMETZYZANOV, I. Specific character of objective methods for determining weights of criteria in MCDM problems: entropy, CRITIC and SD. **Decision Making: Applications in Management and Engineering**, v. 4, p. 76-105, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31181/dmame210402076i>.

NARDO, M.; SAISANA, M.; SALTELLI, A.; TARANTOLA, S.; HOFFMANN, A.; GIOVANNINI, E. **Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide**. Paris: OECD Publishing; European Commission Joint Research Centre, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>.

PAGE, M. J.; MCKENZIE, J. E.; BOSSUYT, P. M.; BOUTRON, I.; HOFFMANN, T. C.; MULROW, C. D.; SHAMSEER, L.; TETZLAFF, J. M.; AKL, E. A.; BRENNAN, S. E.; CHOU, R.; GLANVILLE, J.; GRIMSHAW, J. M.; HRÓBJARTSSON, A.; LALU, M. M.; LI, T.; LODER, E. W.; MAYO-WILSON, E.; MCDONALD, S.; MCGUINNESS, L. A.; STEWART, L. A.; THOMAS, J.; TRICCO, A. C.; WELCH, V. A.; WHITING, P.; MOHER, D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, n71, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.

PRIETO-JIMÉNEZ, D.; OVIEDO-OCAÑA, E. R.; GÓMEZ-ISIDRO, S.; DOMÍNGUEZ, I. A multicriteria decision analysis for selecting rainwater harvesting systems in rural areas: a tool for developing countries. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, p. 42476-42491, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33734-8>.

RADMEHR, A.; BOZORG-HADDAD, O.; LOÁICIGA, H. Integrated strategic planning and multi-criteria decision-making framework with its application to agricultural water management. **Scientific Reports**, v. 12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12194-5>.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

ŞAHİN, A.; ÖZKAYA, A. Multi-criteria decision analyses for the selection of hydrological flood routing models. **Water**, v. 15, n. 14, 2588, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15142588>.

SHAKTAWAT, A.; VADHERA, S. Ranking of hydropower projects based on sustainability criteria in India using multicriteria decision making methods. **Croatian Operational Research Review**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17535/crorr.2021.0007>.

SILVA, L.; ALENCAR, M.; ALMEIDA, A. Exploring global sensitivity analysis on a risk-based MCDM/A model to support urban adaptation policies against floods. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102898>.

SRIVASTAVA, A.; PARMAR, D. Development of water utility performance index using hybrid aggregation technique for water supply systems in India. **Environment, Development and**

Sustainability, v. 25, p. 15183-15204, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02616-9>.

TIAN, W.; HEO, Y.; WILDE, P.; LI, Z.-Y.; YAN, D.; PARK, C.-S.; FENG, X.; AUGENBROE, G. A review of uncertainty analysis in building energy assessment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.029>.

UDDIN, M.; NASH, S.; RAHMAN, A.; OLBERT, A. A comprehensive method for improvement of water quality index (WQI) models for coastal water quality assessment. **Water Research**, v. 219, 118532, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118532>.

VARGAS, F.; NAVA, L.; REYES, E.; OLEA-OLEA, S.; SERNA, C.; SOLÍS, S.; MEZA-RODRÍGUEZ, D. Water and environmental resources: a multi-criteria assessment of management approaches. **Water**, v. 15, n. 16, 2991, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15162991>.

VAVATSIKOS, A.; TSESMETZIS, E.; KOULINAS, G.; KOULOURIOTIS, D. A robust group decision making framework using fuzzy TOPSIS and Monte Carlo simulation for wind energy projects multicriteria evaluation. **Operational Research**, v. 22, p. 6055-6073, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12351-022-00725-x>.

VINOGRADOVA, I.; PODVEZKO, V.; ZAVADSKAS, E. Comparative assessment of the stability of AHP and FAHP methods. **Symmetry**, v. 13, n. 3, 479, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym13030479>.

WHITTEMORE, R.; KNAFL, K. The integrative review: updated methodology. **Journal of Advanced Nursing**, v. 52, n. 5, p. 546-553, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x>.

XIAO, K.; TAMBORSKI, J.; WANG, X.; FENG, X.; WANG, S.; WANG, Q.; LIN, D.; LI, H. A coupling methodology of the analytic hierarchy process and entropy weight theory for assessing coastal water quality. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 31217-31234, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17247-2>.

ZHANG, Y.; XUE, W.; WEN, Y.; WANG, X. Sustainability assessment of water resources use in 31 provinces in China: a combination method of entropy weight and cloud model. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 19, 12870, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph191912870>.

ZHU, L.; XING, X.; YAN, F. The abnormal phenomena of entropy weighting method in the dynamic evaluation of agricultural water conservation. **Mathematical Problems in Engineering**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/7732970>.

ZHU, Y.; TIAN, D.; YAN, F. Effectiveness of entropy weight method in decision-making. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2020, p. 1-5, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/3564835>.

¹ Graduação em Matemática (UFC); Mestre em Engenharia Civil - Recursos Hídricos (UFC); Docente da SEDUC/CE. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).