

Ano 18, Vol. XVIII, Núm.2, jul-dez, 2025, pág. 491-505.

## UTILIZAÇÃO DE INDICADORES NA TOMADA DE DECISÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: UMA REVISÃO DE ESCOPO NO CAMPO DAS CIÊNCIAS AMBIENTAIS

### USE OF INDICATORS IN WATERSHED DECISION-MAKING: A SCOPING REVIEW IN THE FIELD OF ENVIRONMENTAL SCIENCES

Dinorvan Fanhaimpork<sup>1</sup>  
Marilene Corrêa da Silva Freitas<sup>2</sup>

#### RESUMO

Quais as principais características dos estudos de indicadores utilizados na gestão de bacias hidrográficas? O objetivo do estudo foi identificar de que maneira está organizada a agenda de pesquisa referente aos indicadores utilizados na gestão de bacias hidrográficas no campo das Ciências Ambientais. Realizou-se uma revisão de escopo, com dados de artigos publicados na Base Scopus, analisados com métodos cientométricos. Os resultados indicaram que os estudos estão centrados em dois grandes extratos de pesquisa: o foco em indicadores únicos e o foco em indicadores abrangentes e modelos de avaliação integrados. A relação homem-água busca equilibrar as ações antropogênicas a partir de uma visão holística com estudos que exploram a governança e a sustentabilidade das bacias hidrográficas. Concluímos que a complexidade dos sistemas naturais e os diversos usos das bacias hidrográficas, exigem o uso de métodos abrangentes e multiobjetivos para a tomada de decisão.

Palavras-chave: gestão de bacias hidrográficas; tomada de decisão; indicadores

#### ABSTRACT

What are the main characteristics of indicator studies used in watershed management? The objective of the study was to identify how the research agenda regarding indicators used in watershed management is organized in the field of Environmental Sciences. A scoping review was conducted, with data from articles published in the Scopus database, analyzed using scientometric methods. The results indicated that the studies are centered on two major research strata: the focus on single indicators and the focus on comprehensive indicators and integrated assessment models. The human-water relationship seeks to balance anthropogenic actions from a holistic perspective with studies that explore the governance and sustainability of watersheds. We conclude that the complexity of natural systems and the various uses of watersheds require the use of comprehensive and multi-objective methods for decision-making.

Keywords: watershed management; decision-making; indicators.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Amazonas (UFAM). E-mail: [dinorvan@ufam.edu.br](mailto:dinorvan@ufam.edu.br). País: Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Amazonas (UFAM). E-mail: [marilenecorreas@uol.com.br](mailto:marilenecorreas@uol.com.br). País: Brasil.

## INTRODUÇÃO

Em um ambiente natural de bacia hidrográfica, mudanças estruturais na paisagem da bacia são relativamente lentas (exceto sob a condição de desastres naturais como incêndio, seca e inundação) e a paisagem é capaz de manter uma comunidade equilibrada de organismos.

Ocorre que em muitas regiões, as atividades humanas alteraram a estrutura das bacias hidrográficas naturais e seus ecossistemas. Essas modificações são decorrentes de processos antrópicos como a conversão acelerada de terras florestais e pântanos em terras agrícolas ou urbanas, aplicação excessiva de fertilizantes e pesticidas, vastas modificações de vias hidrológicas e desenvolvimento industrial concentrado (He *et al.* 2000).

Na tentativa de estabelecer uma organização dessa relação homem-natureza os governos e gestores adotam modelos de governança entendido aqui como o componente administrativo institucional da gestão de recursos hídricos. A governança também pode ser entendida como um esforço cada vez mais complexo que forma a base da gestão integrada de recursos hídricos.

Ocorre que é muito difícil avaliar o desempenho de inúmeras decisões políticas e regulamentações adotadas que orientam futuros ajustes na gestão de recursos hídricos. Surge então diversas metodologias que abordam melhorias desejadas na gestão de recursos hídricos (eficiência, produtividade) como um mecanismo para apoiar uma ampla variedade de objetivos econômicos, sociais, ecológicos e culturais.

Uma ampla gama de indicadores de desempenho foi desenvolvida para rastrear a eficácia relativa dessas políticas na produtividade e eficiência do uso da água. Qualquer índice útil de desempenho de gestão de recursos hídricos deve começar com uma especificação precisa dos recursos disponíveis em vários níveis de contabilidade de gestão de recursos hídricos (He *et al.*, 2000).

Desse modo, a gestão de bacias hidrográficas requer a integração de ciências naturais, biológicas e de gestão na escala da bacia hidrográfica. Tal condição norteou o objetivo deste estudo: Identificar de que maneira está organizada a agenda de pesquisa referente aos indicadores utilizados na gestão de bacias hidrográficas na área de Ciências Ambientais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de alcançar o objetivo proposto foi realizada uma revisão de escopo que tem como característica ser uma avaliação preliminar sobre a extensão e as características de uma dada literatura disponível. Os métodos cientométricos apoiaram a análise e discussão dos resultados.

Os métodos cientométricos são úteis ao indicarem os trabalhos mais influentes, os agrupamentos ou clusters e os subcampos bibliográficos. Zupic e Cater (2015), afirmaram que, através desses métodos, o pesquisador minimiza o viés subjetivo das escolhas dos textos e obtém um mapeamento do campo de estudo.

No presente estudo, utilizamos os indicadores de acoplamento bibliográfico e coocorrência de palavras para a geração de mapas e tabelas que subsidiaram a discussão.

O acoplamento bibliográfico de documentos científicos ou fontes mede a força de conexão entre dois textos ou revistas ao realizar a identificação do compartilhamento de citação dos mesmos referenciais. É importante para identificar como os diversos expoentes de pesquisa se estruturam e se organizam no campo de estudo (ZUPIC; CATER, 2015).

Já a análise de coocorrência de palavras evidencia as conexões entre termos e expressões nos textos de modo a possibilitar a identificação de recortes temáticos e estudos partilhados. Assim, a rede de temas e interconexão de conceitos permite visualizar a sua estrutura temática a partir da análise cognitiva do mapa (ZUPIC; CATER, 2015).

No intuito de assegurar a confiabilidade dos resultados alcançados bem como a transparência, a replicabilidade e o não enviesamento da pesquisa utilizamos o protocolo de pesquisa sugerido por Zupic e Cater (2015), composto por cinco etapas.

A primeira é o desenho da pesquisa com a questão norteadora e os objetivos propostos. No presente estudo, a questão é quais as principais características dos estudos de indicadores utilizados na gestão de bacias hidrográficas? Como resposta, esperamos identificar de que maneira está organizada a agenda de pesquisa referente aos indicadores utilizados na gestão de bacias hidrográficas na área de Ciências Ambientais.

A segunda etapa compreende a compilação de dados bibliográficos a qual foi realizada a partir da seleção da base de dados Scopus. A escolha desta base considerou o banco de dados abrangente, multidisciplinar e confiável de resumos e citações que supera

outros bancos de dados ao fornecer uma gama mais ampla de métricas de pesquisa, cobrindo quase o dobro do número de publicações revisadas por pares (ELSEVIER, 2024).

Neste ponto, a decisão de utilização da base ocorreu após a comparação entre os resultados preliminares obtidos em três bases: Scopus, Web of Science e Scielo. A escolha é justificada pelo interesse em captar a excelência da produção acadêmica, que, apesar de impor limites e vieses impostos pelas regras de indexação da própria base, foi capaz de nos oferecer uma amostra significativa de investigação.

Na sequência foi definido o critério de busca através da combinação de termos apoiados pelos operadores booleanos OR e AND, conforme a expressão de busca inicial [(watershed management OR basin management) AND (indicato\*) AND (“decision-making”)] que apresentou 725 resultados. E em seguida, foi delimitada a área de Ciências Ambientais que reduziu a 167 resultados. O parâmetro de busca foi por títulos, resumos e palavras-chave dos documentos.

Quanto aos critérios de inclusão de textos utilizamos artigos de periódicos e publicados em língua inglesa ou portuguesa. Os critérios de exclusão consistiram em textos de livros ou capítulos, pesquisa curta e artigos de conferência.

O resultado inicial foi a coleta de 167 artigos, dos quais foi realizada leitura do título e resumo com aplicação do critério de exclusão daqueles que não tivessem relação direta com o objetivo da pesquisa. Após a triagem restaram 41 artigos habilitados para leitura na íntegra.

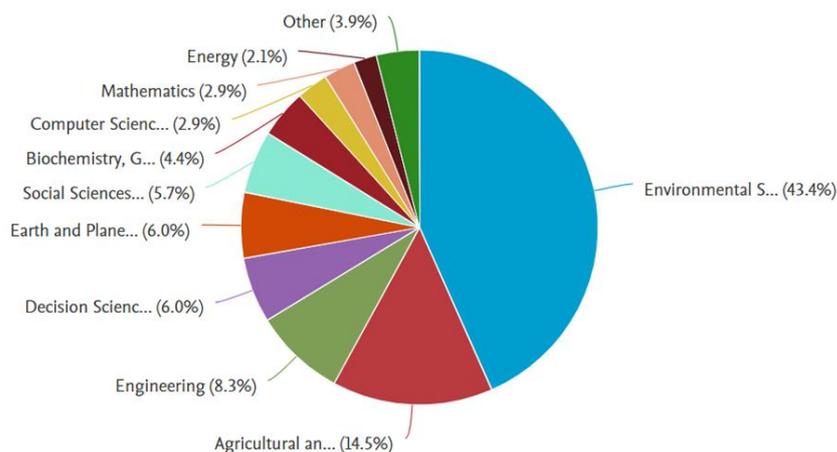
A terceira etapa denominada de análise resultou em gráficos, mapas e tabelas que expõem informações organizadas a partir dos metadados dos artigos selecionados. Para tanto, foi realizada a escolha de um software de bibliometria utilizado como ferramenta para auxiliar no processamento dos dados bibliográficos. Optamos pela utilização do VOSviewer, versão 1.6.20, para análise do acoplamento bibliográfico de organizações, documentos e fontes e a análise de concorrência de palavras. As possibilidades de clusterização da ferramenta permitiram observar como se estruturam as agendas no campo de pesquisa.

A última etapa consiste na interpretação e está inserida na discussão dos resultados com a descrição dos achados e a interpretação realizada a partir dos dados a fim de evitar vieses subjetivos que possam querer impor concepções sobre os resultados alcançados.

## RESULTADOS

A pesquisa na base de dados Scopus foi realizada no dia 13 de julho de 2024 e, a partir da string de busca definido, resultou em 199 documentos. Os resultados apontam para a concentração dos estudos na área das Ciências Ambientais (167 estudos), representando 43,4% do total, seguida das áreas de Agricultura e Ciências Biológicas (56), Engenharia (32) e Ciências da Decisão (23).

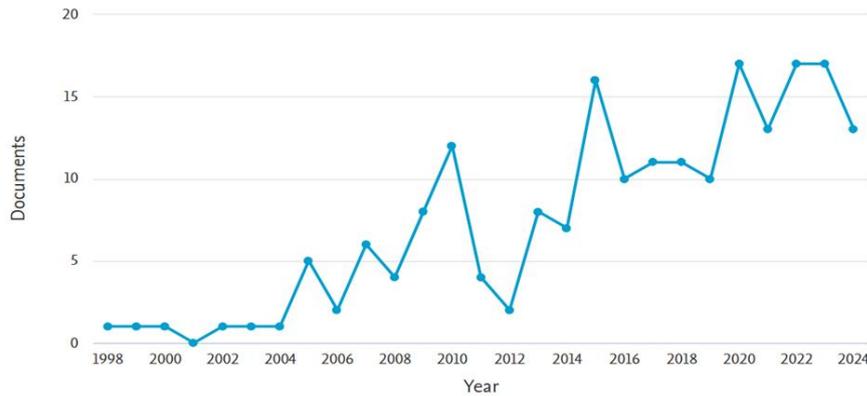
GRÁFICO 1: Distribuição das pesquisas por área de estudo



FONTE: Elaboração própria, a partir da Base Scopus (2024).

As publicações estão em tendência de alta desde o ano de 2005 com um crescimento mais expressivo a partir de 2016. Essa observação permite compreender o interesse dos pesquisadores em desenvolver pesquisas relacionados a indicadores úteis para a tomada de decisão em bacias hidrográficas. Os resultados mostraram estudos no período de 1998 até 2024

GRÁFICO 2: Evolução histórica das publicações.

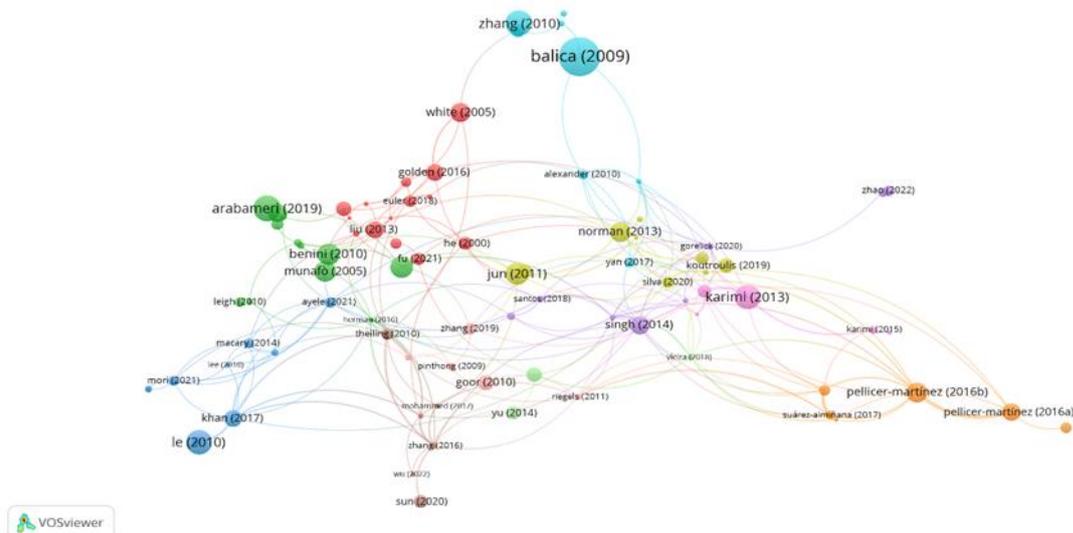


FONTE: Elaboração própria, a partir da Base Scopus (2024).

O mapa de acoplamento bibliográfico de documentos faz com que os artigos sejam aproximados a propósito das referências em comum com outros artigos (ZUPIC; CATER, 2015). Dessa forma é possível verificar os campos de debate da temática.

Para tanto, utilizamos o acoplamento bibliográfico de fontes e o seguinte método de contabilização: contabilização completa (full counting); número mínimo de citações igual a 10; método de normalização association strenght; método de clusterização com mínimo de 5 itens.

FIGURA 1: Acoplamento bibliográfico de fontes.



FONTE: Elaboração própria, com utilização do software VOSviewer (2024).

Onze clusters foram formados com destaque para o vermelho com 14 itens, seguido do verde (12 itens), azul (10 itens), amarelo (9 itens) e roxo (9 itens). Nestes clusters, os trabalhos mais relevantes de cada um estão organizados na Tabela 1.

TABELA 1: Trabalhos mais relevantes dos cinco principais clusters.

Cluster	Autores	Objeto de estudo	Modelo de indicadores utilizado	Citações	Força de ligação
Vermelho	(Golden <i>et al.</i> , 2016)	Foi examinado a influência das zonas úmidas geograficamente isoladas (GIWs) no fluxo de água, um indicador potencial da conectividade hidrológica das GIWs com águas superficiais. Foram avaliadas as relações estatísticas anuais e sazonais baseadas no espaço entre as características das GIWs e o fluxo de água em uma rede densa de sub-bacias usando uma abordagem de modelagem híbrida.	Foi utilizado o modelo Spatial Stream Network (SSN).	70	8
Vermelho	(Liu <i>et al.</i> , 2013)	Foi elaborado uma proposta de estrutura de serviço ecossistêmico para dar suporte ao gerenciamento integrado de recursos hídricos e aplicá-la à Bacia Murray-Darling na Austrália.	Utilizaram indicadores baseados em análise de decisão multicritério.	70	7
Verde	(Arabameri, Pradhan and Rezaei, 2019)	Propôs um novo modelo combinando para produzir mapeamento de zoneamento de erosão de ravinas. O modelo foi implementado na bacia hidrográfica de Mahabia, no Irã.	Aplicaram técnica de regressão ponderada geograficamente (GWR) com os modelos de fator de certeza (CF) e floresta aleatória (RF).	127	4
Verde	(Benini <i>et al.</i> , 2010)	Avaliaram as mudanças no uso da terra e os impactos ambientais relacionados que ocorreram nas últimas décadas na bacia do rio Lamone (Apeninos do Norte da Itália).	Adotaram a estrutura DPSIR (Forças motrizes, pressões, estado, impacto e resposta) proposta pela Agência Europeia do Meio Ambiente.	95	6
Azul	(Khan <i>et al.</i> , 2017)	Desenvolveram uma estrutura de modelagem baseada em agentes (ABM) generalizada e espacialmente escalável, consistindo em um modelo hidrológico semidistribuído (SWAT) baseado em processos e um modelo de sistema de água descentralizado para simular os impactos das decisões de gestão de recursos hídricos que afetam o nexo alimento-água-energia-meio ambiente (FWEE) em uma escala de bacia hidrográfica.	Aplicaram uma modelagem acoplada do sistema natural-humano por meio da modelagem explícita do comportamento natural e humano.	69	15
Azul	(Ayele <i>et al.</i> , 2021)	Investigaram a variabilidade espacial da produção de sedimentos, quantidade de sedimentos entregues no reservatório e sedimentação do reservatório no reservatório de Koga usando a ferramenta de avaliação de solo e água (SWAT).	Utilizaram a Ferramenta de Avaliação do Solo e da Água (SWAT) — um modelo hidrológico robusto, interdisciplinar e semidistribuído.	36	15
Amarelo	(Tsai, Chang and Herricks, 2016)	Exploraram a integridade do ecossistema em rios de Taiwan por meio da caracterização da relação entre regimes de fluxo (conjuntos de dados observacionais hidrológicos contínuos de longo prazo) e comunidades de peixes (conjuntos de dados de monitoramento ecológico não contínuo)	Combinaram técnicas de computação suave (mapa de características auto-organizado (SOM) e métodos de agrupamento).	13	19
Amarelo	(Theiling and Nestler, 2010)	Demonstraram como a hidrologia do estágio do rio pode ser caracterizada pela variabilidade, previsibilidade, sazonalidade e taxa de mudança.	Adotaram uma estrutura matemática multivariada.	40	18
Roxo	(Jun <i>et al.</i> , 2011)	Desenvolveram uma nova estrutura para quantificar a vulnerabilidade espacial para a gestão sustentável dos recursos hídricos.	Aplicaram um modelo composto por quatro índices de vulnerabilidade hidrológica.	101	15
Roxo	(Norman <i>et al.</i> , 2013)	Desenvolveram um método para avaliar o status de segurança hídrica: a avaliação Water Security Status Indicators (WSSI) e sua aplicação em uma comunidade na Colúmbia Britânica (Canadá).	Utilizaram o método de avaliação Water Security Status Indicators (WSSI).	84	14



Nessa esteira, temos que o sistema hídrico compreende o consumo e a demanda de água de setores relacionados, bem como as condições ambientais de fundo dos recursos hídricos (LIU; HE; ZUO, 2024). A interação entre as atividades humanas e o estado do ambiente hídrico é excepcionalmente intrincada e a sua quantificação emprega indicadores únicos ou abrangentes.

Ao focar em indicadores únicos, os pesquisadores frequentemente constroem métricas de avaliação baseadas no contraste entre oferta e demanda de água, com medidas comumente empregadas como índice de escassez de água, índice de estresse hídrico, eficiência do uso da água e outras.

Sob essa perspectiva, Suárez-Almiñana et al. (2017), realizaram o estudo tendo como ponto de interesse a avaliação da previsibilidade de eventos extremos e seus possíveis efeitos, especificamente secas e escassez de água. Dessa maneira, a metodologia que foi proposta teve o objetivo de melhorar e facilitar a tomada de decisões dentro do planejamento e gestão de recursos hídricos, levando em consideração as mudanças climáticas e seus impactos esperados.

O estresse hídrico recebe a preocupação dos pesquisadores ao estar diretamente relacionado com as mudanças climáticas. Acompanhar como o desenvolvimento dessas bacias impactam ou possuem relação com o estresse hídrico pode ser útil para entender quais as direções que podem ser tomadas de modo a manter a sustentabilidade da bacia hidrográfica.

Koutroulis et al. (2019), desenvolveram uma avaliação baseada na vulnerabilidade da disponibilidade global de água doce por meio de uma estrutura conceitual, considerando impactos hidroclimáticos transitórios de cruzar níveis específicos de aquecimento e desenvolvimentos socioeconômicos relacionados sob mudanças climáticas que podem ocasionar o estresse hídrico.

Neste ponto, as mudanças emergentes na disponibilidade global de água doce foram detectadas como um resultado combinado de intervenções humanas, variabilidade natural e mudanças climáticas.

Para Koutroulis et al. (2019), a dinâmica combinada das mudanças climáticas e socioeconômicas sugere que, embora haja um potencial importante para adaptação para reduzir a vulnerabilidade à água doce, os riscos dessas mudanças não podem ser eliminados total e uniformemente. Em muitas regiões, os desenvolvimentos

socioeconômicos terão maior impacto na disponibilidade de água em comparação com as mudanças induzidas pelo clima.

Quando o foco dos estudos é na eficiência do uso da água, a preocupação é em encontrar o equilíbrio entre desenvolvimento e sustentabilidade da bacia hidrográfica. Devido à multiplicidade de usos e características das bacias torna-se desafiador encontrar indicadores que possam refletir essas condições.

Dessa forma, Pellicer-Martínez e Martínez-Paz (2016), utilizaram um indicador relativamente novo que mede o volume total de água doce que é usado como fator de produção. O uso do indicador Pegada Hídrica para avaliar a sustentabilidade ambiental na gestão de recursos hídricos no nível da bacia hidrográfica fornece uma avaliação abrangente da sustentabilidade ambiental do uso da água.

Embora esses indicadores únicos produzam informações úteis para tomadas de decisão eles possuem limitações de abrangência, uma vez que medem apenas algumas partes ou características de uma bacia hidrográfica. Em geral, eles são utilizados em complementaridade com outras informações para auxiliar na tomada de decisão.

Por outro lado, indicadores abrangentes e modelos de avaliação integrados oferecem uma abordagem mais holística, como o índice de pobreza hídrica, índice de capacidade de suporte de recursos hídricos, índice de segurança hídrica e índice de harmonia homem-água. Essas métricas abrangentes oferecem uma compreensão mais sutil da relação multifacetada dentro do sistema homem-água, ajudando a promover sinergias entre o desenvolvimento humano e a sustentabilidade do ambiente hídrico.

Zhang et al. (2012), se preocuparam com a aplicação do Índice de Pobreza Hídrica como uma ferramenta holística para avaliar o estresse hídrico da Bacia do Rio Shiyang em nível regional. Dessa forma, utilizaram indicadores apropriados para a formulação de políticas e tomada de decisões subsidiadas por estimativas físicas de disponibilidade de água combinadas com fatores socioeconômicos associados à escassez de água.

Em outro estudo, Norman et al. (2013), propuseram uma nova abordagem desenvolvida para avaliar o status de segurança hídrica: o método de avaliação Water Security Status Indicators (WSSI). Esse método foi desenvolvido em cooperação com usuários finais, cuja participação permitiu o design de avaliação amigável. Além disso, o método foi projetado para ser implementado em escala local (bacia hidrográfica de pequena escala ou sub-bacia hidrográfica). Como característica, integra variáveis

relativas à qualidade e quantidade de água, e a maneira como elas se relacionam com ecossistemas aquáticos e saúde humana.

Já Zhao et al. (2020), combinaram indicadores dos sistemas fluviais com o índice de impacto de estrutura fluvial integrada para avaliar quantitativamente o impacto das atividades humanas, comparando forças naturais e antropogênicas em um sistema fluvial. É necessário entender que maioria das abordagens para avaliar o impacto homem-água ainda considera as atividades humanas como uma influência externa no estudo dos mecanismos de feedback entre atividades humanas e sistemas fluviais, e elas geralmente são complicadas e especializadas.

Nessa linha é adequado considerar que os padrões da paisagem mudam constantemente. Em um ambiente natural, essas mudanças estão em um estado de equilíbrio e evoluem lentamente. Já em um ecossistema antropogenicamente estressado, as mudanças na estrutura da paisagem são aceleradas artificialmente e os habitats na paisagem são frequentemente alterados, danificados ou destruídos.

A modificação da estrutura da paisagem existente para movê-la em direção a um estado "desejável" (ou seja, apoiar usos designados), sendo esse o objetivo geral do gerenciamento de bacias hidrográficas.

Outro ponto a ser discutido é que os indicadores de governança oferecem possíveis explicações por trás dos diferentes níveis de desempenho alcançados através da intervenção de diversas políticas, programas e regulamentos destinados a melhorar a eficácia do uso da água, e entre um determinado território ou bacia hidrográfica em comparação com diferentes territórios de referência.

A governança tem em conta os diferentes atores encarregados de regular aqueles que tomam decisões de gestão de recursos. Dependendo da complexidade da inter-relação entre as hierarquias institucionais formais e informais, que vão desde atores estatais a não estatais, a orientação dos objetivos de gestão de recursos enfrenta diferentes desafios.

Tinoco et al. (2022), usaram o Portal de Dados da GIRH, UNEP-DHI, incluindo 33 indicadores, para analisar a relação entre Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) e governança. Foi verificado que no México e no Brasil, há maior envolvimento dos cidadãos em organizações de bacias hidrográficas, e ecossistemas e aquíferos foram incorporados para auxiliar na gestão da água.

Outra preocupação que os estudos revelaram é quanto a sustentabilidade hídrica onde a água é central para o meio ambiente e sua sustentabilidade é a chave para a

economia, o funcionamento saudável do ecossistema e o bem-estar de suas gerações presentes e futuras.

Mititelu-Ionuș (2017), partiram da hipótese que a identificação de um sistema viável de indicadores pode desempenhar um papel importante na medição do desenvolvimento sustentável. Assim, desenvolveram um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas e aplicaram na bacia do rio Motru. Para tanto, consideraram que a gestão da bacia é um processo dinâmico e holístico, onde um modelo de pressão-resposta do estado foi aplicado aos quatro componentes em um esquema de matriz.

Para (SILVA et al., 2020) a tomada de decisão associada à promoção da sustentabilidade hídrica está sujeita a incertezas decorrentes, de um lado, da capacidade atual de compreensão dos sistemas socioambientais e sua temporalidade, complexidade e multidimensionalidade; e, de outro, da necessidade de representar aspectos-chave desses sistemas por meio de dados e informações.

Os estudos analisados revelaram que o gerenciamento bem-sucedido de bacias hidrográficas requer interação próxima e parcerias fortes entre governos locais, indústria, moradores, grupos comunitários e a comunidade de pesquisa. A utilização de indicadores é essencial para nortear as tomadas de decisões e construir cenários que possibilitem entender a sustentabilidade das bacias hidrográficas.

Para incorporar os indicadores hidrológicos e biológicos no processo de planejamento de bacias hidrográficas, as necessidades de informação dos tomadores de decisão de políticas locais e os incentivos e desincentivos ao uso efetivo dos indicadores e dados de bacias hidrográficas disponíveis na restauração e reabilitação de bacias hidrográficas devem ser identificados e considerados por meio de interações sistemáticas, como reuniões, pesquisas e discussões com as partes interessadas relevantes.

Naturalmente, os gestores de bacias hidrográficas enfrentam problemas na tomada de decisões complexas porque muitos fatores e variáveis devem ser considerados na tomada de decisões. Ao passo que as decisões deixam de ser tomadas com base em apenas um objetivo principal, e passam a utilizar diferentes modelos, critérios qualitativos e quantitativos, exigem novas abordagens de análise. Portanto, devido à complexidade dos sistemas naturais e os diversos usos das bacias hidrográficas, o uso de métodos abrangentes e multiobjetivos apresenta melhor aderência para a tomada de decisão baseada em informações úteis.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve por objetivo identificar de que maneira está organizada a agenda de pesquisa referente aos indicadores utilizados na gestão de bacias hidrográficas na área de Ciências Ambientais por meio do levantamento bibliográfico e com análise bibliométrica.

Os resultados apontaram que os estudos estão centrados em dois grandes extratos de pesquisa: (i) o foco em indicadores únicos, com métricas de avaliação baseadas no contraste entre oferta e demanda de água, como o índice de escassez de água, índice de estresse hídrico, eficiência do uso da água e outras; (ii) o foco em indicadores abrangentes e modelos de avaliação integrados que oferecem uma abordagem mais holística, como o índice de pobreza hídrica, índice de capacidade de suporte de recursos hídricos, índice de segurança hídrica e índice de harmonia homem-água.

Foi verificado ainda a preocupação com indicadores que subsidiem a implementação de uma governança, onde se organizam diferentes atores encarregados de regular aqueles que tomam decisões de gestão de recursos. A gestão das bacias hidrográficas deve ser apoiada em um conjunto de indicadores que possibilitem tomadas de decisão mais assertivas.

E, por fim, a relação homem-natureza deve ser observada numa perspectiva de que a sustentabilidade hídrica deve ser garantida para o funcionamento saudável do ecossistema e o bem-estar de suas gerações presentes e futuras.

## REFERÊNCIAS

ARABAMERI, A.; PRADHAN, B.; REZAEI, K. Gully erosion zonation mapping using integrated geographically weighted regression with certainty factor and random forest models in GIS. *Journal of Environmental Management*, v. 232, p. 928–942, 2019.

AYELE, G. T. et al. Sediment yield and reservoir sedimentation in highly dynamic watersheds: the case of koga reservoir, ethiopia. *Water*, v. 13, n. 23, p. 3374, 2021.

BENINI, L. et al. Assessment of land use changes through an indicator-based approach: A case study from the Lamone river basin in Northern Italy. *Ecological Indicators*, v. 10, n. 1, p. 4–14, 2010.

ELSEVIER, E. Scopus | Abstract and citation database | Elsevier. Disponível em: <[https://www.elsevier.com/products/scopus?dgcid=RN\\_AGCM\\_Sourced\\_300005030](https://www.elsevier.com/products/scopus?dgcid=RN_AGCM_Sourced_300005030)>. Acesso em: 4 jul. 2024.

- GOLDEN, H. E. et al. Relative effects of geographically isolated wetlands on streamflow: a watershed-scale analysis. *Ecohydrology*, v. 9, n. 1, p. 21–38, 2016.
- HE, C. et al. A conceptual framework for integrating hydrological and biological indicators into watershed management. *Landscape and Urban Planning*, v. 49, n. 1–2, p. 25–34, 2000.
- JUN, K. S. et al. Development of spatial water resources vulnerability index considering climate change impacts. *The Science of the Total Environment*, v. 409, n. 24, p. 5228–5242, 2011.
- KHAN, H. F. et al. A coupled modeling framework for sustainable watershed management in transboundary river basins. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 21, n. 12, p. 6275–6288, 2017.
- KOUTROULIS, A. G. et al. Global water availability under high-end climate change: A vulnerability based assessment. *Global and planetary change*, v. 175, p. 52–63, 2019.
- LIU, L.; HE, L.; ZUO, Q. Evaluating the Human–Water Relationship over the Past Two Decades Using the SMI-P Method across Nine Provinces along the Yellow River, China. *Water*, v. 16, n. 7, p. 916, 2024.
- LIU, S. et al. Bringing ecosystem services into integrated water resources management. *Journal of Environmental Management*, v. 129, p. 92–102, 2013.
- MITITELU-IONUȘ, O. Watershed sustainability index development and application: case study of the motru river in romania. *Polish Journal of Environmental Studies*, v. 26, n. 5, p. 2095–2105, 2017.
- NORMAN, E. S. et al. Water Security Assessment: Integrating Governance and Freshwater Indicators. *Water Resources Management*, v 27, n 2, p. 535–551, 2013.
- PELLICER-MARTÍNEZ, F.; MARTÍNEZ-PAZ, J. M. The Water Footprint as an indicator of environmental sustainability in water use at the river basin level. *The Science of the Total Environment*, v. 571, p. 561–574, 2016.
- SILVA, J. DA et al. Water sustainability assessment from the perspective of sustainable development capitals: Conceptual model and index based on literature review. *Journal of Environmental Management*, v. 254, p. 109750, 2020.
- SUÁREZ-ALMIÑANA, S. et al. Linking Pan-European data to the local scale for decision making for global change and water scarcity within water resources planning and management. *The Science of the Total Environment*, p. 126–139, 2017.
- THEILING, C. H.; NESTLER, J. M. River stage response to alteration of Upper Mississippi River channels, floodplains, and watersheds. *Hydrobiologia*, v. 640, n. 1, p. 17–47, 2010.
- TINOCO, C. et al. Water resources management in mexico, chile and brazil: comparative analysis of their progress on SDG 6.5.1 and the role of governance. *Sustainability*, v. 14, n. 10, p. 5814, 2022.

TSAI, W.-P.; CHANG, F.-J.; HERRICKS, E. E. Exploring the ecological response of fish to flow regime by soft computing techniques. *Ecological engineering*, v. 87, p. 9–19, 2016.

ZHANG, R. et al. The assessment of water stress with the Water Poverty Index in the Shiyang River Basin in China. *Environmental earth sciences*, v. 67, n. 7, 2012.

ZHAO, Y. et al. An indicator system for assessing the impact of human activities on river structure. *Journal of hydrology*, v. 582, p. 124547, 2020.

ZUPIC, I.; CATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, v. 18, n. 3, p. 429–472, 2015.

***Submetido em:*** 15 de janeiro de 2025.

***Aprovado em:*** 01 de junho de 2025.

***Publicado em:*** 01 de julho de 2025.

#### **Autoria:**

Autor 1

Nome: Dinorvan Fanhaimpork  
Instituição: Universidade Federal do Amazonas - UFAM  
E-mail: dinorvan@ufam.edu.br  
País: Brasil

Autor 2

Nome: Marilene Corrêa da Silva Freitas  
Instituição: Universidade Federal do Amazonas – UFAM  
E-mail: marilenecorreas@uol.com.br  
País: Brasil