



Artigo de Revisão

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v17n22023p31-46

Submetido em: 21 set. 2022

Aceito em: 30 dez. 2023

.....

Indicadores de sustentabilidade aplicados à gestão de recursos hídricos: uma revisão sistemática

Sustainability indicators applied to water resources management: a systematic review

Indicadores de sostenibilidad aplicados a la gestión de los recursos hídricos: una revisión sistemática

Thaís Nacif  <https://orcid.org/0000-0002-9549-5506>

Instituto Federal Fluminense.

Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Fluminense. Coordenadora de Núcleo da Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, Brasil

E-mail: tnacif@gmail.com

Maria Inês Paes Ferreira  <https://orcid.org/0000-0002-6865-0929>

Instituto Federal Fluminense.

Doutorado em Ciência e Tecnologia de Polímeros pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professora do Instituto Federal Fluminense, Brasil

E-mail: ines_paes@yahoo.com.br

Daniela Bogado Bastos de Oliveira  <https://orcid.org/0000-0002-5079-4561>

Instituto Federal Fluminense.

Doutorado em Sociologia Política pela Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Professora do Instituto Federal Fluminense, Brasil

E-mail: danibogado1@hotmail.com

Simone Vasconcelos Silva  <https://orcid.org/0000-0002-5994-6840>

Instituto Federal Fluminense.

Doutorado em Computação pela Universidade Federal Fluminense. Professor Titular do Instituto Federal Fluminense, Brasil

E-mail: simonevsinfo@gmail.com

Resumo: Diversos métodos surgem a cada ano com objetivo de mensurar quais são as medidas mais adequadas para promover políticas de desenvolvimento sustentável. Com isso, torna-se necessário dispor de informações consistentes sobre os avanços dos países, estados e municípios rumo ao desenvolvimento sustentável, para que se possa orientar o estabelecimento de políticas públicas coerentes, em busca do crescimento econômico aliado às políticas sustentáveis. Os indicadores são uma das ferramentas disponíveis no planejamento e na gestão de projetos que auxiliam no processo de tomada de decisão e no monitoramento dessas decisões rumo ao uso e à gestão sustentável da água e dos recursos naturais. Objetiva-se neste estudo mapear e levantar informações referentes à

utilização de indicadores de sustentabilidade aplicados à gestão de recursos hídricos. Foram analisados 23 trabalhos que abordaram diferentes metodologias que empregaram indicadores ambientais e de sustentabilidade na análise de políticas e de ações de gestão de recursos hídricos, detalhando-se o sistema “avaliação de prosperabilidade”, por seu caráter holístico e integrador e sua aderência à Agenda 2030 da ONU.

Palavras-chave: revisão, desenvolvimento sustentável, indicadores ambientais.

Abstract: Several methods emerge each year with the objective of measuring which are the most appropriate measures to promote sustainable development policies. As a result, it is necessary to have consistent information on the progress of countries, states and municipalities towards sustainable development, in order to guide the establishment of coherent public policies, in search of economic growth allied to sustainable policies. Indicators are one of the tools available in project planning and management that assist in the decision-making process and monitoring these decisions on the way to sustainable use and management of water and natural resources. The objective of this study was to map and gather information regarding the use of the sustainability indicators applied to the management of water resources. Twenty-three studies were analyzed that addressed different methodologies using the use of environmental and sustainability indicators in the analysis of water resources management policies and actions, detailing the “prosperity assessment” system, due to its holistic and integrative character and its adherence to the UN 2030 Agenda.

Keywords: review, sustainable development, environmental indicators

Resumen: Cada año aparecen varios métodos con el objetivo de medir cuáles son las medidas más adecuadas para promover políticas de desarrollo sostenible. En consecuencia, es necesario contar con información consistente sobre el avance de los países, estados y municipios hacia el desarrollo sostenible, a fin de orientar el establecimiento de políticas públicas coherentes, en busca del crecimiento económico aliado a políticas sostenibles. Los indicadores son una de las herramientas disponibles en la planificación y gestión de proyectos que ayudan en la toma de decisiones y en el seguimiento de estas decisiones hacia el uso y manejo sostenible del agua y los recursos naturales. El objetivo de este estudio es mapear y recopilar información sobre el uso de indicadores de sostenibilidad aplicados a la gestión de los recursos hídricos. Se analizaron veintitrés trabajos que abordaron diferentes metodologías que utilizaron indicadores ambientales y de sostenibilidad en el análisis de políticas y acciones para la gestión de los recursos hídricos, detallando el sistema de “evaluación de la prosperidad”, por su carácter holístico e integrador y su apego a la Agenda 2030 de la ONU

Keywords: revisión, desarrollo sostenible, indicadores ambientales

1 Introdução

A gestão de sistemas socioambientais pode contar com métodos de avaliação de sustentabilidade com base em índices e indicadores, que auxiliam na tomada de decisão ao permitir estudos diagnósticos e prognósticos de cenários de interesse (Castro *et al.*, 2017). No entanto, estudos apontam uma lacuna no que se refere às ações de avaliação desses esforços, dificultando que estabeleçam mecanismos de melhoria e avanços no processo de tomada de decisão voltados ao desenvolvimento sustentável (Ferreira *et al.*, 2017).

Assim, torna-se necessário dispor de informações consistentes sobre os avanços dos países, estados e municípios rumo ao desenvolvimento sustentável, de forma a orientar o estabelecimento de políticas públicas coerentes, em busca do crescimento econômico aliado a políticas sustentáveis. Por isso se faz fundamental a criação de modelos de avaliação para a orientação da tomada de decisões e sua inserção no processo de gestão ambiental dentro dos princípios do desenvolvimento sustentável (Ferreira *et al.*, 2017).

Os indicadores são uma das ferramentas disponíveis no planejamento e gestão de projetos que auxiliam o processo de tomada de decisão e o monitoramento dessas decisões no caminho para o uso e gestão sustentável da água e dos recursos naturais. (Pires *et al.*, 2020). Os indicadores de sustentabilidade desempenham muitas

funções: eles podem levar a melhores decisões e mais ações eficazes, simplificando, esclarecendo e disponibilizando informações agregadas para a política de gestão (Ramos *et al.*, 2013).

Objetiva-se neste estudo mapear e levantar informações referentes à utilização da metodologia de indicadores de sustentabilidade aplicados à gestão de recursos hídricos. É importante verificar quais indicadores de sustentabilidade que já são utilizados para análise de gestão de recursos hídricos; o grau de importância da metodologia de indicadores de sustentabilidade e se essa metodologia é aplicada em âmbito mundial ou apenas no âmbito regional.

2 Metodologia

O trabalho foi desenvolvido realizando uma revisão sistemática da literatura baseada em dados secundários conforme os seguintes passos: (1) elaboração da pergunta de pesquisa; (2) busca na literatura; (3) seleção dos artigos; (4) extração dos dados; (5) avaliação da metodologia dos trabalhos selecionados; (6) síntese dos dados; (7) avaliação das evidências; e (8) redação e publicação dos resultados.

As questões de pesquisa levantadas para a realização da revisão sistemática deste trabalho foram as seguintes: Quais são indicadores de sustentabilidade utilizados para análise de gestão de recursos hídricos? Qual o grau de importância da metodologia de indicadores de sustentabilidade? Essa metodologia é aplicada em âmbito mundial e nacional?

O critério para as definições das questões de pesquisa seguiu a estratégia "PICOC" de avaliação. Nessa estratégia, observam-se: os artigos selecionados (população); os métodos e técnicas utilizadas (intervenção); forma de intervenção do trabalho (comparação); os métodos utilizados e seus resultados obtidos (resultados); e a aplicação prática da metodologia (contexto). A estratégia avaliou o contexto de avaliação deste trabalho analisando cinco esferas de análise, conforme a Figura 1.

Figura 1- Estratégia "PICOC" de avaliação

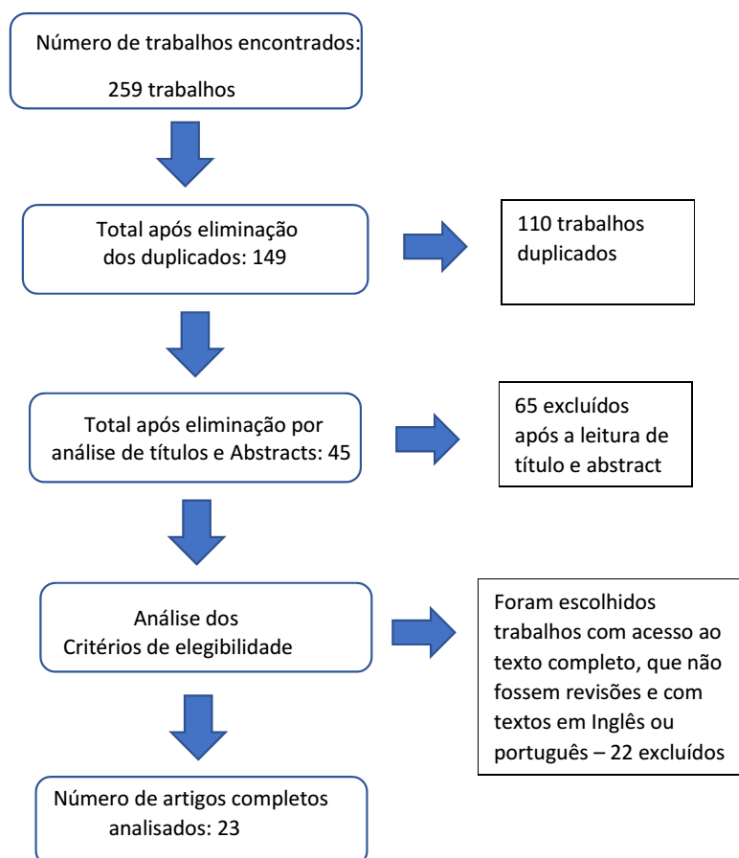
Population (População)	Artigos que trabalham com indicadores de sustentabilidade
Intervention (Intervenção)	Método utilizado aplicado à gestão de Recursos Hídricos
Comparison (Comparação)	Comparação das técnicas utilizadas
Outcome (Resultado)	Quais metodologias já foram utilizadas
Context (Contexto)	Aplicação prática da metodologia relacionado à gestão de Recursos Hídricos

Após essa análise, seguiu-se para a definição do tesauro. O tesauro trabalhado nesta revisão foi "sustainability indicators" and "water resources". Ele foi pensado de maneira a incluir trabalhos que abordaram o uso da metodologia de indicadores de sustentabilidade e trabalhos sobre recursos hídricos, aliando assim a

metodologia ao tema estudado. As bases de dados escolhidas para a revisão foram as bases “Scopus” e “Web of Science”, sendo analisados trabalhos publicados entre o ano 2000 a 2021. Para cada base manteve-se o mesmo registro da estratégia de busca utilizada, usando o mesmo tesauro, mesma data da busca e análise dos resultados. O fluxo da seleção de trabalhos está representado na Figura 2.

No primeiro momento do uso do tesauro nas bases de buscas, foram selecionados 259 trabalhos com base no vocábulo específico escolhido. Logo em seguida, foram eliminados 110 trabalhos duplicados encontrados, totalizando 149 trabalhos para análise de resumo e título. Seguiu-se assim com análise do título e resumo dos trabalhos e foram selecionados 45 trabalhos que apresentaram conteúdo relacionado ao tema proposto por esta revisão sistemática. Os 45 artigos foram lidos e passaram por análise dos critérios de elegibilidade, dos quais foram escolhidos trabalhos com acesso ao texto completo, que não fossem revisões sistemáticas e com textos em inglês ou português. Com isso, 22 artigos acabaram excluídos, totalizando ao fim 23 artigos completos, nos quais avaliou-se a metodologia e os resultados obtidos do uso de indicadores ambientais relacionados à gestão de recursos hídricos. que compõem esta revisão.

Figura 2- Fluxo de seleção dos trabalhos analisados



3. Resultados

A Tabela 1 apresenta o local de publicação e o detalhamento dos 23 artigos analisados, contendo: título, autores, países, ano de publicação, tipo de veículo da publicação, o veículo de publicação, o tipo de documento e o quartil correspondente.

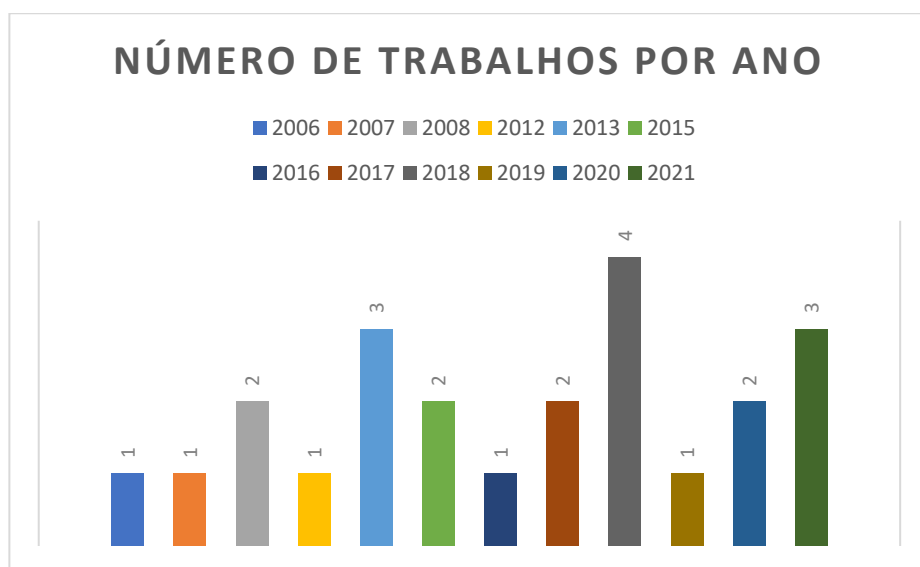
Tabela 1 - Tabela de detalhamento dos artigos estudados

	Autores	Países	Ano	Tipo de Veículo	Veículo	Quartil
1	Tien-Duc et al.	China e Vietnã	2021	Revista	Journal of Hydrology	Q1
2	Araujo et al.	Brasil	2015	Revista	lectroEnic Journal of Management, Education and Environmental Technology	-
3	Ognianik et al.	Ucrânia	2006	Simpósio	Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005	-
4	Sarita-Rengifo et al.	Colômbia	2019	Revista	Ingeniería y Competitividad	-
5	Cezare et al.	Brasil	2007	Revista	Engenharia Sanitária Ambiental	Q3
6	Passos Okawa et al.	Brasil	2021	Revista	Engenharia Sanitária Ambiental	Q3
7	Ioris et al.	Escócia	2008	Revista	Journal of Environmental Management	Q1
8	Van Cauwenbergh et al.	Bélgica, Holanda e Espanha	2008	Revista	Environmental Geology	Não encontrado (não continuada)
9	Ramos et al.	México	2013	Congresso	Proceedings of the ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress & Exposition	-
10	Shilling et al.	Estados Unidos	2013	Congresso	World Environmental and Water Resources Congress 2013	-
11	Corrêa, M.A. and Teixeira, B.A.N.	Brasil	2013	Revista	Journal of Urban and Environmental Engineering	Q3
12	Amirhamzeh et al.	Irã e Grécia	2012	Revista	Recent Advances in Electrical and Electronic Engineering	Q4

13	Castro et al.	Brasil	2017	Revista	International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development	Q4
14	Wu, H. and Leong, C.	Singapura	2016	Revista	Water Policy	Q2
15	Koop, S.H.A. and van Leeuwen, C.J.	Holanda	2015	Revista	Water Resource Management	Q1
16	Masud et al.	Bangladesh e Bélgica	2018	Revista	Ecological Indicators	Q1
17	Kefayati et al.	Irã	2018	Revista	Water and Environment Journal	Q3
18	Dias et al.	Brasil	2018	Revista	Applied Ecology and Environmental Research	Q3
19	Pouya et al.	Turquia	2020	Revista	Urbani Izziv	Q1
20	Bui et al.	Japão e Vietnã	2019	Revista	Journal of Environmental Management	Q1
21	Bui et al.	Japão, Vietnã e China	2018	Revista	Ecological Indicators	Q1
22	Ayra et al.	Peru	2021	Revista	Chemical Engineering Transactions	Q3
23	Ferreira et al.	Brasil e Canadá	2017	Revista	International Journal of Sustainability Policy and Practice	Q3

Analisando os trabalhos selecionados, observou-se que a maioria dos artigos foi publicada no ano de 2018 (4 publicações), seguido dos anos de 2013 e de 2021, ambos com 3 publicações. Foram encontradas 2 publicações dos anos de 2008, 2015, 2017 e 2020. Nos demais anos, somente 1 trabalho publicado foi encontrado. Nessa análise pode-se observar que as discussões e o uso dessa metodologia são recentes, havendo vários trabalhos publicados sobre o assunto principalmente nos últimos cinco anos.

Gráfico 1- Número de trabalhos publicados por ano



Dos 23 trabalhos analisados, sete eram do Brasil, sendo o país mais representado nos trabalhos analisados. Observaram-se três trabalhos publicados do Vietnã, seguidos por duas publicações em cada um dos seguintes países: China, Bélgica, Holanda, Japão e Irã. Os demais trabalhos se caracterizaram por grande pluralidade de origens. Tal fato demonstra como a questão do uso de indicadores ambientais é difundida e pode ser aplicada a diferentes realidades, em variados países.

Observou-se que a maior parte dos trabalhos foi publicada em revistas com avaliação de quartil Q1 e Q3, sendo sete revistas Q1 e sete revistas Q3. Dois trabalhos foram publicados em revistas com avaliação de quartil Q4 e um em revista com quartil Q2. Essa análise indica alta qualidade dos trabalhos analisados, resultando numa maior confiabilidade dos dados levantados.

Montou-se a tabela de intervenção, com a descrição do objetivo principal de cada trabalho e do método utilizado, para sistematização dos objetivos relacionados às diferentes realidades investigadas (Tabela 2).

Tabela 2 - Tabela de intervenção dos trabalhos estudados

	Autores	Ano	Descrição	Método utilizado
1	Tien-Duc et al.	2021	Apresenta novo conceito que integra o método de sobreposição de índice e um método numérico de base física para prever a sustentabilidade da água subterrânea sob várias condições climáticas e atividades antrópicas.	O método DRASTIC de sobreposição de índice foi modificado com uma teoria de processo de hierarquia analítica e empregado para criar mapas de vulnerabilidade da água subterrânea para a bacia de água subterrânea da planície de Pingtung, no sul de Taiwan. O modelo físico MODFLOW foi usado para prever a dinâmica de um sistema de água subterrânea em escala de bacia.
2	Araujo et al.	2015	Analisa o uso de Indicadores socioambientais e aplicabilidade no alto curso da	A pesquisa teve seu início com levantamento bibliográfico. Seguiu-se para análise e interpretação dos dados baseado no Barômetro da Sustentabilidade de Prescott-

			bacia hidrográfica do rio Mundaú-PE.	Allen (VAN BELLEN, 2005). Com a metodologia, aliada à visão sistêmica, foi produzido diagrama de vulnerabilidade moldado na análise de três dimensões: ambiental, econômica e social.
3	Ognianik et al.	2006	Descreve o complexo hidroeconômico ucraniano no contexto de desenvolvimento sustentável.	Foram estabelecidos critérios como: fornecimento de fontes renováveis recursos hídricos de qualidade satisfatória (Ig), a eficiência dos recursos hídricos uso (Ie), e o índice de risco de recursos hídricos (Id). Estes foram usados para determinar desenvolvimento sustentável do uso dos recursos hídricos no país.
4	Sarita-Rengifo et al.	2019	Apresenta a estrutura do índice final de sustentabilidade ambiental que permite analisar os componentes dos recursos hídricos e do solo em pequenas propriedades por meio de indicadores.	A técnica utilizada na construção do índice incluiu: seleção de componentes, indicadores e subindicadores, seus respectivos pesos, sua medição e a análise de robustez do índice final. A coleta de dados foi feita com três métodos: formulário de levantamento, observação e diálogo de saberes em 6 minifúndios localizados na microbacia hidrográfica Centella.
5	Cezare et al.	2007	Este artigo teve como objetivo contribuir para a discussão sobre Avaliação de Estratégia de Desenvolvimento Sustentável do Município de Santo André, no contexto da proteção dos recursos hídricos.	Foram consultadas diretrizes e ações coordenadas pelo governo local. Para a análise qualitativa dos resultados obtidos, utilizaram-se os Princípios de Bellagio. Foram dez os princípios selecionados que servem como orientação para avaliar e melhorar a escolha, utilização, interpretação e comunicação de indicadores.
6	Passos Okawa et al.	2021	O objetivo deste artigo foi estabelecer indicadores de sustentabilidade para a área de manancial do município de Paranaíba, no estado do Paraná, Brasil.	Os métodos utilizados foram mapeamento cognitivo e “ <i>measuring attractiveness by a categorical-based evaluation technique</i> ” (MACBETH), aplicados durante uma conferência de decisão com a participação de diversos atores diretamente atingidos e fortemente interessados no tema. No fim da conferência de decisão, 14 indicadores foram definidos e seus pesos estabelecidos.
7	Ioris et al.	2008	Relata a formulação e aplicação de uma estrutura de indicadores de gestão de recursos hídricos no nível da bacia, desenhada para integrar os aspectos ambientais, econômicos e sociais da sustentabilidade.	O quadro de nove indicadores foi aplicado ao rio Dee e bacias hidrográficas do Rio Sinos na Escócia e no Brasil, respectivamente. A seleção de indicadores envolveu a entrada de informações por profissionais de gestão de águas em ambos os países, e um exercício piloto na Escócia. O uso de alguns indicadores proxy foi necessário em ambas as bacias devido a dados insuficientes de disponibilidade.
8	Van Cauwenbergh et al.	2008	Discute a gestão da água na bacia do rio Andarax (Almeria, Espanha), definindo a gestão como multiobjetiva, multiparticipante e o problema da tomada de decisão de longo prazo.	O método apresentado criou um sistema de apoio à decisão (DSS). O DSS está intimamente ligado a indicadores de sustentabilidade e é projetado por meio de uma participação pública no processo. A sucessiva análise multicritério dos indicadores de desempenho permite a classificação das diferentes alternativas de gestão de acordo com

				os múltiplos objetivos formulados pelos diferentes setores participantes.
9	Ramos et al.	2013	Analisa as demandas de água da região Sul da Califórnia e a região de Baja Califórnia, no México, ambas as localidades dependentes do Rio Colorado.	Indicadores sustentáveis de abastecimento de água foram calculados para avaliar e comparar seu desempenho voltado para a sustentabilidade. Foi definida uma seleção de indicadores que podem medir diretamente a eficiência do sistema e seu impacto social, econômico e ambiental.
10	Shilling et al.	2013	Descreve o desenvolvimento de uma estrutura para quantificar a sustentabilidade dos recursos hídricos usando indicadores, o “ <i>The California Water Sustainability Indicators Framework</i> ”.	A estrutura criada possui: 1) uma hierarquia lógica de metas e objetivos para organização dos indicadores; 2) a definição de um conjunto de indicadores adequados; 3) método analítico de medição para calcular a sustentabilidade relativo aos alvos definidos. A estrutura inclui ainda o “ <i>Water footprint</i> ” como o index a ser definido para as localidades analisadas.
11	Corrêa, M.A. and Teixeira, B.A.N.	2013	Descreve uma ferramenta que consiste em um conjunto de indicadores de sustentabilidade para gestão de recursos hídricos denominados CISGRH, para atender às necessidades específicas do comitê de bacias dos rios Tietê-Jacaré (CBH-TJ).	O método usado consiste em, primeiramente, montar a estrutura do CISGRH, que surgiu através de processos de consultas consecutivas. O objetivo da implementação do CISGRH visou diagnosticar as condições atuais dos recursos hídricos e sua gestão, bem como avaliar as condições futuras evidenciadas por tendências e intervenções realizadas pelo comitê.
12	Amirhamzeh et al.	2012	Traz a avaliação de cenários no planejamento e gestão de recursos hídricos com o objetivo de aumentar a eficiência e a sustentabilidade dos sistemas e diminuindo os conflitos prováveis.	Neste artigo, para aplicar diferentes abordagens de operação do sistema de reservatório de Karkheh, dois cenários são aplicados. Os cenários são analisados e comparados em duas escalas, sazonal e anual, e o melhor cenário é selecionado.
13	Castro et al.	2017	Discute o Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI), que permite análises integradas de aspectos sociais, econômicos e questões ambientais que podem afetar a sustentabilidade em uma bacia hidrográfica.	O método de Índice de Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas (WSI) é subdividido em quatro categorias: hidrologia, meio ambiente, vida e política, cada uma delas analisada através de um sistema indicador de três camadas, ou seja, para pressão, estado e resposta.
14	Wu, H. and Leong, C.	2016	Investiga o uso de indicadores para avaliação integrada de duas grandes bacias hidrográficas, a bacia do rio Amarelo na China e a bacia do rio Ganges na Índia.	O método empregado foi de desenvolvimento de uma estrutura, um conjunto de indicadores personalizados foi selecionado e categorizado em três domínios: desempenho ambiental, bem-estar social e desenvolvimento econômico. Esta estrutura forneceu formuladores de políticas com uma revisão holística da sustentabilidade do rio.
15	Koop, S.H.A. and van Leeuwen, C.J.	2015	Traz a proposta de um quadro de indicadores padronizado internacionalmente para a Gestão Integrada de Recursos	O método apresentado traz o <i>City Blueprint Framework</i> (CBF). Uma distinção foi feita entre tendências e pressões e os desempenhos da GIRH. Apenas os indicadores orientados para o desempenho foram selecionados do CBF. Ao analisar correlações e

			Hídricos (GIRH) urbanos, o “City Blueprint®”.	variações, os indicadores orientadores de desempenho foram reorganizados de forma a estabelecer uma contribuição proporcional de todos os indicadores e categorias para a pontuação geral, ou seja, o Blue City Index®.
16	Masud et al.	2018	Analisa a prática de gestão de recursos hídricos da costa sudoeste de Bangladesh, denominada “Tidal River Management (TRM)”.	O estudo identifica indicadores de sustentabilidade de TRM considerando os serviços ecossistêmicos. O arcabouço conceitual é seguido pela construção de um Índice de Sustentabilidade de Gestão de Tidal River (SITRM). Também envolve análise de trade-offs, análise de meios de subsistência e SWOT (pontos fortes, pontos fracos, análise de oportunidades e ameaças).
17	Kefayati et al.	2018	Desenvolve-se uma abordagem prática para avaliar a sustentabilidade de bacias hidrográficas sujeitas a um projeto de transferência de água entre bacias.	A abordagem proposta utilizou 15 indicadores de sustentabilidade (SI) que abrangem três critérios principais: econômico, social e ambiental, e os agregou em oito tipos diferentes de índices de sustentabilidade para um resultado mais robusto. Dois cenários foram considerados nas bacias de origem e na receptora. Além disso, a análise multivariada de componentes principais (PCA) foi aplicada para determinar os indicadores principais e os não principais para as duas bacias hidrográficas.
18	Dias et al.	2018	Traz a aplicação de Indicadores de sustentabilidade em bacias hidrográficas de um estado do Nordeste do Brasil.	Foram definidos doze índices e três indicadores de sustentabilidade voltados para questões socioeconômicas, hidrológicas e institucionais que foram calculados para seis regiões hidrográficas, quantitativa e qualitativamente. Escalas parciais para todos os índices relacionaram os valores calculados aos níveis de desempenho (muito alto, alto, médio, baixo e muito baixo).
19	Pouya et al.	2020	Descreve a gestão dos recursos hídricos na Turquia. Classificaram-se os indicadores de sustentabilidade em termos de sua importância na resiliência dos recursos hídricos.	O processo de hierarquia analítica foi utilizado para ponderar os fatores de sustentabilidade no planejamento de recursos hídricos e bacias hidrográficas. Considerando as diferentes opiniões que os especialistas podem ter, foram definidos dois grupos de entrevistados (acadêmicos e profissionais) escolhidos para avaliar os fatores.
20	Bui et al.	2019	Propõe uma estrutura de avaliação da sustentabilidade da água subterrânea, que é desenvolvida a partir de uma abordagem de avaliação de sustentabilidade regular e processo de hierarquia analítica (AHP).	O método estabelece os três pilares principais (ambiental, social e econômico) do conceito de sustentabilidade. O conceito de AHP foi usado para criar os principais componentes de sustentabilidade de uma hierarquia. Foram propostos três aspectos principais de sustentabilidade (quantidade, qualidade e gestão) e, portanto, selecionou seus doze indicadores de sustentabilidade ambiental.
21	Bui et al.	2018	Analisa a gestão de águas subterrâneas na cidade de Hanói, capital do Vietnã, que apresenta um problema sério de degradação de qualidade de suas águas subterrâneas.	O trabalho usou uma abordagem de processo de hierarquia analítica (AHP), usada para gerar os componentes principais desta estrutura. Após a análise dos principais problemas encontrados em Hanói, foram propostos 3 aspectos principais (quantidade, qualidade e gestão) e selecionaram

				apropriadamente 13 indicadores de sustentabilidade para essa área-alvo.
22	Ayra et al.	2021	Analisa a situação da lagoa Yanacocha, determinando cenários de sustentabilidade hídrica da lagoa até 2030 para o abastecimento da população.	Foram estimados os parâmetros de precipitação e temperatura na microbacia Yanacocha, no período de 1970 a 2019. Além disso, os cenários de sustentabilidade da água foram estimados com base em abastecimento e demanda de água relacionados aos indicadores de sustentabilidade e o nível de cultura da água dos habitantes.
23	Ferreira et al.	2017	Propõe um novo método de análise de indicadores de sustentabilidade aplicado à gestão das águas denominado Avaliação de Prosperabilidade que foi aplicado em duas áreas de pesquisa, no Canadá e no Brasil.	No trabalho é proposto um novo método que une a terminologia SSA (sistemas socioambientais) de Berke aos princípios de sustentabilidade de Ostrom, em um “método de avaliação de prosperabilidade” semiempírico. Depois de estabelecer os componentes para cada princípio de sustentabilidade usando parâmetros de teste comuns, os dados de percepção foram validados com fontes de dados oficiais.

4. Discussão

As metodologias e técnicas utilizadas mostraram-se diversas com relação aos indicadores de sustentabilidade usados para análise da gestão de recursos hídricos. Pode-se constatar que não é observada uma padronização, de maneira a permitir uma análise comparativa aprofundada. Acredita-se que isso se deve ao fato de que o uso de indicadores ambientais para análise considera múltiplos atores e as diferentes realidades ambientais de cada área analisada, com foco nos diferentes problemas encontrados nessas localidades.

É observada, porém, uma diversidade de abordagens e trabalhos, ressaltando o alto grau de importância da metodologia de indicadores de sustentabilidade e sua ampla aplicabilidade, visto serem analisados trabalhos dos mais diversos países do globo, corroborando a consolidação do método como ferramenta eficaz na análise dos diferentes cenários analisados nos trabalhos sobre a gestão dos recursos hídricos.

A metodologia denominada “Avaliação de Prosperabilidade”, proposta por Ferreira *et al.* (2017), traz a proposta de avaliação em ampla abordagem pois considera que o funcionamento adequado dos sistemas sociais e ecológicos se daria em sete dimensões, traduzidas em sete princípios de sustentabilidade. Para cada uma das sete dimensões foi estabelecido um conjunto de componentes e três testes de interesse comum, totalizando, assim, quarenta e nove parâmetros a serem avaliados. Essa metodologia dispõe de atribuição a cada componente, sendo que tais componentes observam características importantes para a gestão sustentável, integrada, descentralizada e participativa dos recursos hídricos. Com isso, observa-se que a metodologia de

“Avaliação da Prosperabilidade” mostra-se como um instrumento de avaliação ambiental integrado, tendo como eixo a gestão participativa das águas, que pode ser aplicada em escala regional, tendo sido testada para comitês de bacia hidrográfica de rios de dominialidade estadual (MACHADO, 2018; MAFORT, 2019; BARRETO, 2020; SOARES, 2021) e federal (FERREIRA, 2022). A “Avaliação de Prosperabilidade” contempla subcomponentes associados a indicadores de forças motrizes, pressão, impacto, estado e resposta, satisfazendo, portanto, os critérios de sustentabilidade necessários à avaliação multidimensional da gestão integrada de recursos hídricos, que deve englobar as dimensões ambiental, econômica, social e institucional, conforme descrito por Pires *et al.* (2017).

5. Considerações finais

Existem inúmeros métodos que podem ser aplicados para avaliar a qualidade de um indicador ou de um conjunto deles como suporte às políticas públicas. Podem ser realizados ainda trabalhos que façam a combinação de mais de um método de avaliação, ampliando as possibilidades de análise dos estudos relacionados à gestão dos recursos hídricos. Nos trabalhos levantados nesta revisão observa-se a aplicação de diferentes métodos como: análises comparativas; levantamento de dados envolvendo especialistas; seleção ou criação de estruturas de análise; abordagens de baixo para cima, entre outras. Todos esses métodos podem contribuir para a melhoria na seleção de critérios de diferentes maneiras, de acordo com os objetivos e dados a serem levantados e levando em consideração ainda a realidade e a área do estudo a ser realizado.

Estudos adicionais que abordem os critérios e metodologias utilizadas se fazem necessários, de maneira a analisar as aplicações destas nas mais diferentes finalidades. O método de “Avaliação de Prosperabilidade” se mostra como uma ferramenta adequada de avaliação, visto seu caráter holístico e integrador, com objetivo de trazer resultados que possam balizar os processos de decisão de acordo com os objetivos de desenvolvimento sustentável estabelecidos na Agenda 2030.

Referências:

AMIRHAMZEH, H. **Scenarios evaluation in water resources management in the standpoint of system sustainability and conflict resolution theory**. Life Science Journal 9(4):1993-1998, 2012.

ARAUJO, M. S.; ARAUJO, H. M.; DA SILVA JUNIOR, C. G. **Environmental indicators and applicability in high current river basin Mundau-PE**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental; Vol 19, Nº 1, 2015.

AYRA, H.P.N.; JORDAN, M.J.L.; OLIVERA, C.A.C.; ALFARO, E.G.B.; and GALVEZ, J.J.O. **Water sustainability of the Yanacocha lagoon: Future scenarios for the population of Carhuamayo, Junin, Peru.** Chemical Engineering Transactions, 86, 487-492, 2021.

BARRETO, Nayara Félix. **Indicadores de sustentabilidade aplicados à gestão dos recursos hídricos: estudo de caso do baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, Rio de Janeiro, Brasil.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Macaé, 2020.

BUI, N.T.; KAWAMURA, A.; AMAGUCHI, H.; BUI, D.D.; TRUONG, N.T. and NAKAGAWA, K. **Social sustainability assessment of groundwater resources: A case study of Hanoi, Vietnam.** Ecological Indicators 93, 2018.

BUI, N.T.; KAWAMURA, A.; BUI, D.D.; AMAGUCHI, H.; BUI, D.D.; TRUONG, N.T.; DO, H.H.T. and NGUYEN, C.T. **Groundwater sustainability assessment framework: A demonstration of environmental sustainability index for Hanoi, Vietnam.** J Environ Manage. 2019 Jul 1; 241:479-487, 2019.

CASTRO, C.O.; LOUREIRO, Ó.C.S.; SANTOS, A.V.; SILVA, J. and RAUEN, W.B. **Water sustainability assessment for the region of Curitiba.** International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development – Vol. 8 No. 2 Pages: 184-194, 2017.

CEZARE, J.P.; MALHEIROS, T.F.; PHILIPPI Jr., A. **Environmental policy assessment and sustainability: Case study of Santo André City - SP – Brazil.** Eng. Sanit. Ambient. 12 (4), 2007.

CORRÊA, M.A. and TEIXEIRA, B.A.N. **Developing sustainability indicators for water resources management in Tietê-Jacaré basin, Brazil.** Journal of Urban and Environmental Engineering, v.7, n.1, p.8-14, 2013.

DIAS, I.C.L.; FRANÇA, V.L.; BEZERRA, D.S.; RABÊLO, J.M.M.; CASTRO, A.C.L. **Spatial distribution of river basin sustainability indicators in transition region of northeastern Brazil.** Applied Ecology and Environmental Research 16(4):3729-3754, 2018.

ERECHTCHOUKOVA, M.G. and KHAITER, P.A. **Sustainability indicators for water resource assessment: Compatibility and data requirements.** International Congress on Environmental Modelling and Software, 2014.

FERREIRA, M.I.P.; SHAW, P.; SAKAKI, G.; ALEXANDER, T. and UMBELINO, L.F. **Thrivability appraisals: A tool for supporting decision-making processes in integrated environmental management.** The International Journal of Sustainability Policy and Practice 13(3):19-3, 2017.

FERREIRA, M.I.P. **Água como fio condutor dos ODS: avaliando o bem-estar com um sistema holístico de indicadores de sustentabilidade aplicados à gestão de recursos hídricos.** Caderno Escola Nacional de Administração Pública (Enap), 110, Coleção Cátedras, 2022.

IORIS, A.A.R.; HUNTER, C.; WALKER, S. **The development and application of water management sustainability indicators in Brazil and Scotland.** Environ Manage 88(4):1190-201, 2008.

KEFAYATI, M.; SAGHAFIAN, B.; AHMADI, A.; BABAZADEH, H. **Empirical evaluation of river basin sustainability affected by inter-basin water transfer using composite indicators.** Water and Environment Journal 32(1), 2017.

KOOP, S.H.A. and VAN LEEUWEN, C.J. **Assessment of the Sustainability of Water Resources Management: A Critical Review of the City Blueprint Approach.** Water Resources Management volume 29, pages 5649–5670, 2015.

MACHADO, R. P. **Prosperabilidade: uma proposta metodológica holística para avaliação da sustentabilidade de sistemas socioambientais.** Dissertação de Mestrado – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Campos dos Goytacazes, 2018.

MAFORT, Antônio Vinícius Lamblet. **Indicadores de Sustentabilidade aplicados a Regiões Estuarinas: utilização da metodologia de Avaliação de Prosperabilidade na Zona Costeira da Região Hidrográfica VIII do Estado do Rio de Janeiro.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Macaé, 2019.

MASUD, M.M.A.; MONI, N.N.; AZADI, H.; VAN PASSEL, S. **Sustainability impacts of tidal river management: Towards a conceptual framework.** Ecological Indicators Volume 85, Pages 451-467, 2018.

OGNIANIK, N. S.; PARAMONOVA, N. K.; SHPAK, E. N.; GAVRILUK, R.B. **Ukrainian hydro-economic complex under conditions of sustainable development.** Proceedings of symposium S3 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, 2005.

PEREIRA, M.G e GALGÃO, T.F; **Etapas de busca e seleção de artigos em revisões sistemáticas da literatura.** Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília, 23(2):369-371, abr-jun 2014.

PIRES, A.; MORATO J.; PEIXOTO, H.; BOTERO, V.; ZALUAGA, L.; FIGUEROA, A. **Sustainability Assessment of indicators for integrated water resources management.** Science of The Total Environment, Volume 578, 139-147, 1 February 2017.

PIRES, A.; MORATO J.; PEIXOTO H.; BRADLEY S.; MULLER A. **Synthesizing and standardizing criteria for the evaluation of sustainability indicators in the water sector.** Environment, Development and Sustainability 22:6671–6689, 2020.

POUYA, S.; TURKOGLU, H; ARPACIOGLU, U. **Using the analytic hierarchy process to evaluate sustainability factors in watershed planning and management.** Urbani Izziv; Ljubljana Vol. 31, Ed. 1: 78-88, 2020.

RAMOS, M.G.S.; RAMÍREZ, H.E.C.; OLIVAS, J.C.T. **Water supply sustainability indicators for the southern California-Baja California area.** ASME - International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 2013.

SARITA-RENGIFO, D.; LUCIA-BAQUERO, O.; GAVIRIA, A. **Construction of an Environmental Sustainability Index and its application in productive parcels in the Municipality of Dagua.** Ing. compet. [online]. Vol. 21, n. 2, 7708, 2019.

SHILLING, F.; KHAN, A.; JURICICH, R.; FONG, V. **Using indicators to measure water resources sustainability in California.** World Environmental and Water Resources Congress 2013.

SOARES, Dhandara Lino. **Gestão Sustentável das Águas: estudo do sistema socioambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Grande, Região Hidrográfica do Rio Dois Rios, com o sistema de indicadores Avaliação da Prosperabilidade.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Macaé, 2021.

TIEN-DUC, V.; NI, C.; LI, W.; MINH-HOANG, T.; HSU, S. M. **Predictions of groundwater vulnerability and sustainability by an integrated index-overlay method and physical-based numerical model.** Journal of Hydrology Volume 596, 2021.

VAN CAUWENBERGH, N.; PINTE, D.; TILMANT, A.; FRANCES, I.; PULIDO-BOSCH, A.; VANCLOOSTER, M. **Multi-objective, multiple participant decision support for water management in the Andarax catchment, Almeria.** Environmental Geology volume 54, pages 479–489, 2008.

WU, H.; LEONG, C. A. **Composite framework of river sustainability: Integration across time, space and interests in the Yellow River and Ganges River.** Water Policy 18(S1), 2016.

Agradecimentos

Ao Programa de Doutorado em Modelagem e Tecnologia para Meio Ambiente Aplicadas em Recursos Hídricos pelo Instituto Federal Fluminense/RJ e aos orientadores envolvidos no desenvolvimento deste trabalho.