



Considerações sobre Pegada Hídrica: uma análise bibliométrica

Isabelle Cristine Patrício dos Santos^{1*}, Jean Leite Tavares², Sheyla Varela Lucena³, Ahiram Brunni Cartaxo de Castro⁴, Gleydson de Oliveira Cavalcanti⁵, Gabriela Macêdo Pereira⁶

¹Mestre em Uso Sustentável dos Recursos Naturais, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.

²Doutor em Engenharia Civil (Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, Brasil.

³Doutorado em Ciências Biológicas (Biologia Molecular), Universidade Federal de São Paulo, Brasil.

⁴Doutor Administração, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Brasil. (*Autor correspondente: brunnicaastro@hotmail.com)

⁵Mestre em Uso Sustentável dos Recursos Naturais, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.

⁶Graduada em Gestão Pública, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 12/03/2026 – Revisado em: 12/04/2026 – Aceito em: 01/06/2026

RESUMO

A Pegada Hídrica vem se tornando uma temática de referência na área de Ciências Ambientais devido à escassez e a poluição de água doce no mundo. O objetivo dessa pesquisa foi mapear a produção científica publicada em artigos de revisão sobre Pegada Hídrica para identificar a contribuição teórica, os principais achados e as lacunas de novas investigações. Conduzido por meio de um estudo bibliométrico em artigos de revisão utilizou-se de dados fornecidos pela base Scopus e pelo *software* VOSviewer para a consecução do estudo. Os principais resultados sinalizam periódicos, autores, países, co-ocorrências, co-citações, instituições de vínculos e os principais artigos de revisão, dados que podem servir como um guia para estudos sobre pegada hídrica. A contribuição teórica da pesquisa foi o mapeamento da produção e da disseminação do conhecimento científico no campo da pesquisa, trazendo informações compiladas que permeiam a compreensão da área de estudo, assim como levantar lacunas para pesquisas futuras. Além disso, esta pesquisa supre o gap por trabalhos cientométricos nos últimos nove anos, período de maior desenvolvimento teórico sobre o assunto.

Palavras-Chaves: Pegada Hídrica, Análise bibliométrica, Revisão, Lacunas Teóricas.

Considerations on Water Footprint: a bibliometric analysis

ABSTRACT

The Water Footprint has become a reference topic in the field of Environmental Sciences due to the scarcity and pollution of freshwater in the world. The objective of the research was to map the scientific production published in review articles on Water Footprint to identify the theoretical contribution, the main points and the gaps of new research. Conducted through a bibliometric study in review articles, data provided by the Scopus database and the VOSviewer software were used to carry out the study. The main results indicate journals, authors, countries, co-occurrences, co-citations, institutions of links and the main review articles, data that can serve as a guide for studies on the water footprint. The theoretical contribution of the research was the mapping of the production and dissemination of scientific knowledge in the research field, bringing compiled information that permeates the understanding of the study area, as well as identifying gaps for future research. Furthermore, this research fills the gap in scientometric work over the last nine years, a period of greatest theoretical development on the subject.

Keywords: Water Footprint, Bibliometric analysis, Revision, Theoretical Gaps.

Consideraciones sobre la huella hídrica: un análisis bibliométrico

RESUMEN

La Huella Hídrica se ha convertido en un tema clave en el campo de las Ciencias Ambientales debido a la escasez y contaminación del agua dulce a nivel mundial. El objetivo de esta investigación fue analizar la producción científica publicada en artículos de revisión sobre la huella hídrica para identificar la contribución teórica, los principales hallazgos y las lagunas para nuevas investigaciones. Mediante un estudio bibliométrico de artículos de revisión, se utilizaron datos proporcionados por la base de datos Scopus y el software VOSviewer. Los principales resultados indican revistas, autores, países, coocurrencias, cocitaciones, instituciones afiliadas y los principales artículos de revisión; datos que pueden servir de guía para estudios sobre la huella hídrica. La contribución teórica de la Santos, I. C. P. dos, Tavares, J. L., Lucena, S. V., Castro, A. B. C. de, Cavalcanti, G. de O., & Pereira, G. M. (2026). Considerações sobre pegada hídrica: Uma análise bibliométrica. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 14(3), 2–22.

investigación fue el mapeo de la producción y difusión del conocimiento científico en el campo, proporcionando información recopilada que facilita la comprensión del área de estudio, así como identificando brechas para futuras investigaciones. Además, esta investigación llena el vacío dejado por los estudios cuantitativos en los últimos nueve años, un período de mayor desarrollo teórico sobre el tema.

Palabras clave: Huella hídrica, Análisis bibliométrico, Revisión, Brechas teóricas.

1. Introdução

A escassez e a poluição de água doce no mundo são reconhecidas como temas de grande relevância na literatura científica, tendo em vista os significativos impactos resultantes para a humanidade. Por essa razão, emergiu na comunidade científica indicadores do tipo “pegada” com o objetivo de aumentar a conscientização pública sobre como as sociedades exercem pressões sobre o meio ambiente (Fang et al., 2014; Hogeboom, 2020), atraindo o interesse de diferentes atores ao longo da interface entre ciência-política-ação, entre eles acadêmicos, formuladores de políticas, empresários e consumidores, para melhor entender, enquadrar e responder às crises de água iminentes (Manzardo et al., 2016).

A Pegada Hídrica (PH) teve seu conceito introduzido em 2002 por Arjen Y. Hoekstra e muitas das publicações sobre o assunto ainda estão voltadas para as práticas agrícolas e para a indústria (Weerasooriya et al., 2021; Deepa et al., 2021; Wang et al., 2023; Choudhury et al., 2023; Bhatt et al., 2023; Sunitha et al., 2024; Schoor et al., 2024; Mbewu et al., 2024). A temática, em língua inglesa chamada de Water Footprint – WF, é um indicador desenvolvido com o objetivo de contabilizar o uso direto (uso doméstico da água) e indireto (água necessária para produzir produtos) de um consumidor ou produtor (Vanham & Bidoglio, 2013; Badruzzaman et al., 2017; Zhuo, Feng & Wu, 2020). A PH é hábil para identificar oportunidades e estratégias de mitigação de riscos que promovam o uso sustentável da água e também pode ser usada para identificar o comércio mundial de água (Badruzzaman et al., 2017; Chapagain, 2017).

A Pegada Hídrica é composta por três classificações (águas verdes, azuis e cinzas) que tornam a avaliação completa de acordo com a *Water Footprint Network* e com a ISO 14046 (Hoekstra et al., 2012; 2017; Hoekstra & Mekonnen, 2012; Mekonnen & Hoekstra, 2012; Fang et al., 2014; Lovarelli, Bacenetti & Fiala, 2016; Mourad, Jaafar & Dagher, 2019). O componente “verde” da PH denota o uso de água da chuva (que não escoou ou recarrega as águas subterrâneas); o “azul”, água subterrânea e superficial (retirada de águas subterrâneas ou superficiais); e o “cinza”, água usada para diluir poluentes (o volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes) (Chapagain & Hoekstra, 2011; Deepa, Anandhi & Alhashim, 2021).

Nesse contexto, a Avaliação da Pegada Hídrica (APH) emergiu como um campo interdisciplinar, especializado no estudo do uso, escassez e poluição da água, no que diz respeito à produção, consumo e comércio de produtos e serviços intensivos em água, sendo extensivo aonexo água-alimento-energia (Zhang et al., 2017). A APH consiste na análise de várias técnicas e práticas, planos de políticas e mecanismos de governança que vem contribuindo para a sustentabilidade, eficiência e equidade das pegadas hídricas (Bong, Malk & Noor, 2018) em direção aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável - ODS. Além disso, por meio de outras iniciativas de desenvolvimento sustentável, busca avançar na formulação de políticas governamentais, informar decisões de investimento e gerenciar o risco corporativo de água (Chapagain, 2017; Weerasooriya et al., 2021).

Segundo Hogeboom (2020) a questão chave é: para que estamos usando toda essa água? O conceito de PH pode ajudar a responder a esta pergunta, pois a PH é uma estimativa da utilização de água doce no consumo e produção e seus impactos nos recursos hídricos por indivíduos, comunidades e indústrias. Portanto, a PH depende da perspectiva de consumo e produção (Sidhu, Sharda & Singh, 2021) e a sua análise pode ser aplicada para qualquer grupo definido de consumidores (indivíduo/região/bacia/distrito/nação/globo) e/ou de setor (primário, secundário e terciário) econômico da sociedade (Zhang et al., 2017).

A última década, em particular, foi a que testemunhou um rápido desenvolvimento da pesquisa sobre PH, devido à crescente sensibilização pública sobre a conservação da água e uma ampla aceitação dos

conceitos e práticas de responsabilidade social, voltada à integração de considerações ambientais, sociais e de governança (Chapagain, 2017).

Segundo Zhang et al. (2017), Estados Unidos, China e Holanda foram os países que mais ampliaram a produtividade de publicações sobre o assunto, nas categorias disciplinares de Ciências Ambientais e Ecologia. A maioria delas feitas no *Journal of Cleaner Production*, no *Environmental Science & Technology* e no *Ecological Indicators*. São estudos de caso (Ding et al., 2018; Xu et al., 2019; De Girolamo et al., 2019; Liu et al., 2020), análises bibliométricas (Zhang et al., 2017; Zhu et al., 2019; Fardnia, Yousefi & Abdoos, 2025), meta-análises (Deepa, Anandhi & Alhashim, 2021; Mbewu et al., 2024) e revisões da literatura (Badruzzaman et al., 2017; Hogeboom, 2020; Wang et al., 2021, 2023; Choudhury et al., 2023; Bhatt et al., 2023; Olivos et al., 2024; Berger et al., 2025; Tan et al., 2025) sobre o assunto que buscaram, em essência, descrever resultados de experiências aplicadas à agricultura, indústria de alimentação, gestão de recursos hídricos, gestão ambiental, quantificar o impacto da atividade humana, revisar/propor indicadores, levantar os países mais produtivos, as instituições, os periódicos, as categorias de análise, as publicações mais citadas, as palavras-chave, as tendências de pesquisa e demonstrar o avanço da temática ao longo do tempo.

A partir deste acervo, não ficou identificado na literatura trabalho que tenha sistematizado a contribuição teórica e os principais achados das publicações ao longo do tempo, principalmente nos últimos nove anos, período de maior desenvolvimento teórico sobre o assunto, assim como as lacunas para novos estudos, pois conforme Yongnan et al. (2019), Zhuo, Feng e Wu (2020) e Guzmán-Dimas et al. (2025) como o assunto ainda está em maturação a sistematização de resultados torna necessária novas e mais aprofundadas investigações para que produzam reflexões viáveis e conscientização generalizada. Além disso, os dados da pesquisa demonstraram que os principais estudos bibliométricos sobre PH não tiveram como suporte a base Scopus.

Destarte, levantou-se como objetivo desta pesquisa mapear a produção científica publicada em artigos de revisão sobre Pegada Hídrica para identificar a contribuição teórica, os principais achados e as lacunas de novas investigações.

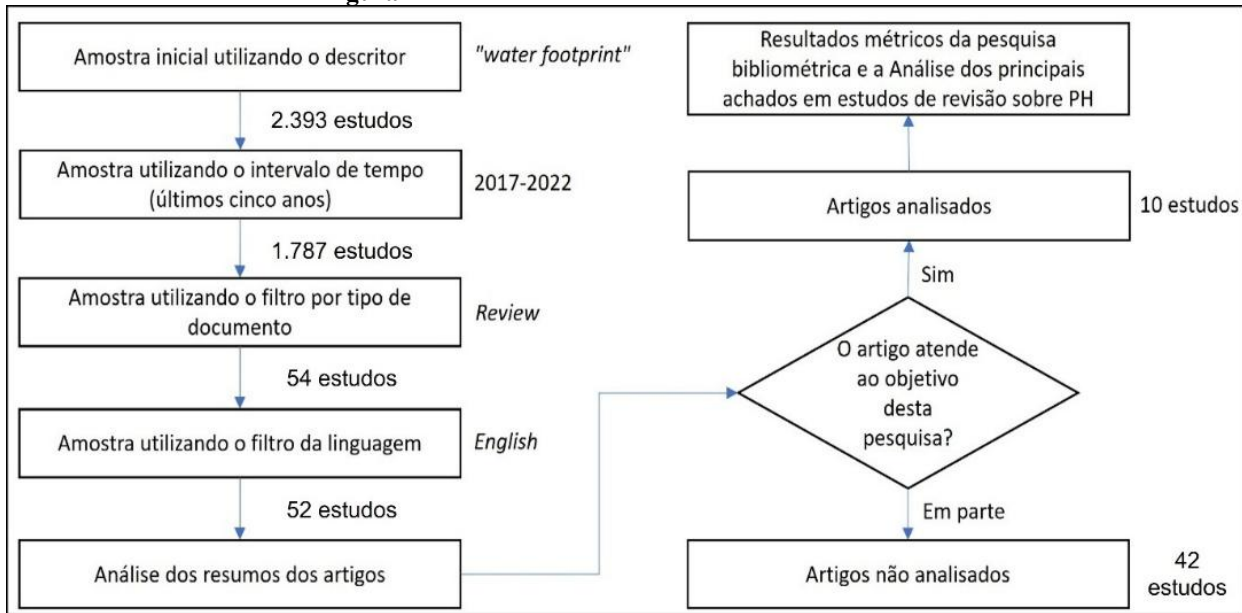
Além desta seção introdutória, a pesquisa apresenta os processos metodológicos utilizados. Na terceira seção, são apresentados os resultados métricos da pesquisa. A quarta seção se apoia na análise dos principais trabalhos, seus achados contribuições teóricas e as lacunas para novos estudos. A quinta seção apresenta as conclusões do estudo.

2. Material e Métodos

Para atingir o objetivo deste trabalho, a pesquisa foi conduzida a partir de uma revisão da literatura bibliométrica, que é um tipo de revisão sistemática que utiliza dados estatísticos para identificar a evolução, as tendências e as relações entre tópicos (autores, áreas do conhecimento, *journals*, citações, co-citações, instituições, países, entre outros) (Paul & Criado, 2020). Estas são chamadas de sistemáticas porque seguem um protocolo, ou seja, peças genuínas de ciência investigativa que visa minimizar vieses por meio de buscas exaustivas na literatura de estudos publicados, fornecendo uma trilha de auditoria da pesquisa (Tranfield, Denyer & Smart, 2003).

A base de dados utilizada para esta pesquisa foi a Scopus. Segundo Cimini (2021), a base Scopus, na categoria de Ciências Ambientais, é um dos maiores bancos de dados de resumos e citações da literatura revisada por pares. Na Scopus foi utilizado o critério de busca pelo seguinte tópico: "*water footprint*" nos títulos dos artigos nos últimos nove anos completos (2017-2025), pois comporta o maior número de artigos de revisão sobre a temática deste trabalho, artigos estes selecionados conforme o protocolo sugerido por Facin et al. (2021) (Figura 1).

Figura 1 – Processo de revisão bibliométrica da literatura



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Dessa busca, resultaram 1.787 trabalhos. A partir dessa amostra inicial foram utilizados alguns filtros para refinar os resultados: foi utilizado o tipo de documento *review* (54) em estado de publicação final na língua inglesa, quando atingiu 52 estudos. A partir da seleção dos trabalhos por tipo de documento, duas etapas foram empreendidas:

i) Resultados métricos da pesquisa bibliométrica. Nesta, foram levantados os dados gerais do estudo bibliométrico, a distribuição das publicações por ano, os 10 periódicos com mais artigos publicados, os 10 autores com o maior número de publicações, a quantidade de artigos por país de origem das instituições de vínculo dos autores, as co-citações entre autores e as co-ocorrências das palavras-chave.

Para a análise de co-citações e co-ocorrências foi utilizado como suporte o *software* VOSviewer, versão 1.6.10, pois é um sistema hábil para construir redes de publicações em linha de relacionamentos, a exemplo de revistas, pesquisadores, organizações, países, palavras-chave, entre outras possibilidades (Felix Júnior et al., 2020).

ii) Análise dos principais achados em estudos de revisão sobre Pegada Hídrica. Esta fase foi feita pela análise dos resumos dos artigos quando, ao final, foram selecionados para análise os 10 trabalhos de revisão da literatura considerados, pelos autores e seus pares, como os mais relevantes. Essa etapa atende ao pressuposto de Teixeira, Iwamoto e Medeiros (2013), quando afirmam que os estudos bibliométricos têm passado por uma transposição de finalidade, não mais concentrando seu foco somente na mensuração, mas na compreensão da produção científica. Nesse sentido, os autores elaboraram uma planilha (Quadro 1) na qual registraram o título, autor/ano, *journal*, *h-index*, objetivo do artigo, tipo de revisão da literatura, *corpus*, base de dados, período investigado, contribuições teóricas e as lacunas para estudos futuros.

3. Resultados métricos da pesquisa

Após realizado o levantamento bibliométrico na base Scopus foram identificados 52 artigos de revisão sobre Pegada Hídrica. Estes artigos estão publicados em 36 periódicos distintos indexados à base de dados em

questão e foram escritos por 160 autores que possuem vínculos com 132 instituições localizadas em 40 países. Na Tabela 1, em seguida, são apresentados esses resultados.

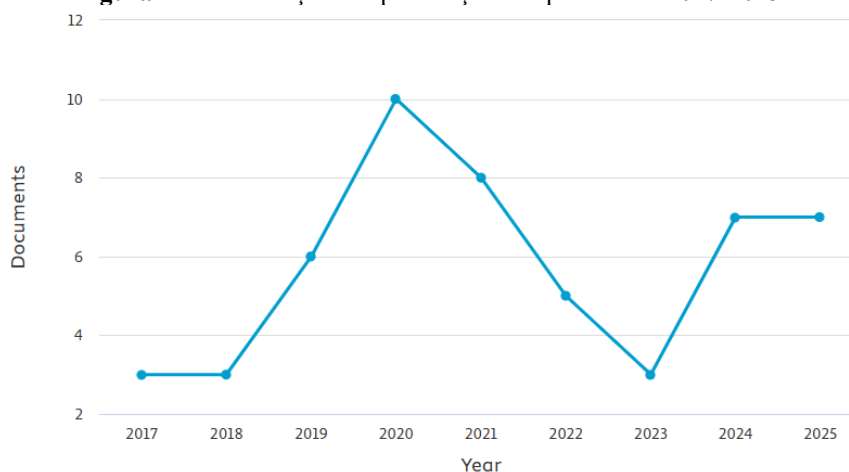
Tabela 1 – Resultados do levantamento bibliométrico acerca de PH em artigos de revisão

Dados bibliométrico	Quantidades
Publicações (artigos)	52
Periódicos indexados	36
Autores	160
Instituições (vínculos dos autores)	132
Países	40

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Conforme é possível observar na Figura 2, a seguir, no período pesquisado (2017-2025) o ano com o maior número de publicações de artigos de revisão foi 2020 (10 registros).

Figura 2 – Distribuição das publicações no período de 2017-2025



Fonte: Scopus (2026).

Através da figura 2 pôde se perceber como PH é um assunto ainda em maturação e o decréscimo nas publicações a partir do ano 2021 pode estar associado à pandemia de Covid-19, período que houve, por exemplo, uma diminuição de acesso aos dados de campo e cujas pesquisas e áreas do conhecimento migraram o seu interesse para a emergência em saúde. A Tabela 2, em seguida, identificou os 10 periódicos internacionais mais representativos na publicação de artigos de revisão sobre PH.

Tabela 2 – Periódicos com mais artigos de revisão publicados no período de 2017-2025

Periódicos	H-index	Quantidade de Artigos
<i>Water Switzerland</i>	102	8
<i>Ecological Indicators</i>	183	4
<i>Sustainability</i>	169	3
<i>Plos One</i>	435	2
<i>Journal of Cleaner Production</i>	309	2

<i>One Earth</i>	55	2
<i>Environment Development And Sustainability</i>	82	2
<i>Water and Environment Journal</i>	49	1
<i>Water Science and Technology Water Supply</i>	54	1
<i>Water Resources and Industry</i>	53	1

Fonte: dados da pesquisa (2026).

Ao somar os trabalhos publicados nestes periódicos foi obtido um total de 21 registros, o que corresponde a 61,76% da quantidade total de trabalhos identificados no *corpus* da pesquisa. O periódico com maior número de publicações é o *Water Switzerland* com seis registros de publicações e *H-index* 102, revelando ser um periódico de impacto.

Os resultados encontrados na Tabela 2 contradizem, em parte, os achados de Zhang et al. (2017) sobre os principais periódicos que publicam trabalhos sobre PH, pois aqui (cujo foco foram artigos de revisão) a maioria dos trabalhos foi publicada no *Water Switzerland*, *Sustainability* e no *Ecological Indicators*. Este último *journal* corroborou os achados de Zhang et al. (2017). A tabela 2, pode ser útil para futuras pesquisas e funcionar como um mapa da relevância dos periódicos com mais publicações sobre artigos de revisão em PH.

Para visualizar a representatividade dos países de origem das instituições de vínculo dos 160 autores contidos nos 52 trabalhos mapeados neste estudo bibliométrico, foram identificados os 10 países com mais produção científica no campo da PH, que podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Quantidade de artigos por país de origem das instituições de vínculo dos autores

País	Quantidade de Artigos	%
China	11	21,15
Índia	7	13,46
Holanda	6	11,53
Estados Unidos	5	9,61
Grécia	4	7,69
Reino Unido	3	5,76
África do Sul	3	5,76
Malásia	3	5,76
Itália	3	5,76
Brasil	3	5,76

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Os resultados reforçam os dados da pesquisa de Zhang et al. (2017), Zhu et al. (2019) e Zhuo et al. (2020) sobre o destaque da China para a pesquisa a respeito da Pegada Hídrica. Na Tabela 3, em seguida, o Brasil enquanto instituição de vínculo de autores franqueou dois trabalhos, um de Scapini et al. (2022) de parceria entre as Universidades Federais de Fronteira do Sul, do Paraná e de Santa Catarina. Nele, a pesquisa informa que estudos estão sendo realizados para substituir a água doce por água do mar para reduzir a PH na construção civil. O outro trabalho é o de Vale et al. (2019), da Universidade Federal de Pernambuco, que buscou estimar a pegada hídrica de água cinza da mistura de agrotóxicos utilizada no cultivo de cana-de-açúcar.

A figura 3 em seguida mostra através de *clusters* de palavras-chave que em 2019 pôde se notar poucos nós (conexões fracas – linhas que conectam os círculos) e poucas citações (tamanhos diferentes dos círculos) na *WF network*, demonstrando que o conceito ainda está em maturação teórica e que poucos estudos sistematizaram os achados até aquele ano.

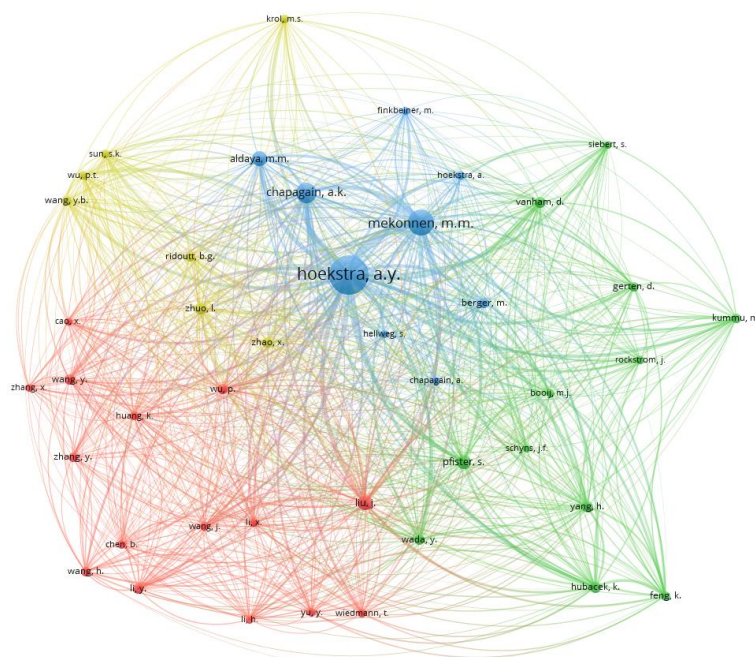
Huang, J.	1	China Three Gorges University	China
Kumar, G.	1	Kaohsiung Medical University	Taiwan
Wang, X.	1	China Three Gorges University	China

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Foram selecionados os 10 autores com maior quantidade de registros. Entre os autores com mais publicações sobre o tema destacam-se em artigos de revisão Feng, Gerbens-Leenes, Hubacek, Noor, Wu e Zhuo, sendo: o primeiro, o quinto e o sexto oriundos da *Northwest A&F University*, na China; o segundo e o terceiro da *University of Groningen*, em Netherlands; e o quarto autor (Noor) da *Universiti Teknologi Malaysia*, na Malásia. Atendendo em partes ao levantado por Zhang et al. (2017), que apontou a China e Holanda entre os países que mais publicam sobre o assunto.

A figura 4, em seguida, mostra, através de *clusters*, os autores mais citados nas referências dos artigos de revisão sobre PH.

Figura 4 – Co-citações entre autores



Fonte: Dados da pesquisa (2026).

O autor mais citado foi Arjen Y. Hoekstra, apontado nesta pesquisa como o pioneiro no assunto. Em seguida e no mesmo *cluster* os outros autores muito citados, foram: Mekonnen, parceiro constante de publicações com Hoekstra e Chapagain. Este último se justifica por ter introduzido o conceito de água virtual aos estudos de PH. Autores como Feng, Zhuo, Huang e Wang, por exemplo, encontrados na figura 4 entre os mais produtivos de artigos de revisão sobre PH, na análise de co-citações aparecem em *clusters* diferentes, o que pode ser explicado pelo foco de investigação, pelas instituições de vínculos e suas redes de parcerias.

Em seguida, tem-se o Quadro 1 que agrupou os 10 principais estudos de revisão sobre PH, analisados na próxima seção.

Quadro 1 – *Corpus* da pesquisa.

Nº	Título	Autor/ ano	Journal	H-index	Objetivo do artigo	Tipo de revisão	Corpus	Base de dados	Período
1	<i>Mapping of water footprint research: A bibliometric analysis during 2006–2015</i>	Zhang et al. (2017)	<i>Journal of Cleaner Production</i>	309	Investigar as características e implicações da pesquisa de Pegada Hídrica de 2006 a 2015 por meio da técnica bibliométrica	Análise bibliométrica	636	<i>Web of Science</i>	2006-2015
2	<i>A review on Water Footprint Assessment and Water-Food-Energy nexus for electronic and food products</i>	Bong et al. (2018)	<i>International Journal of Engineering and Technology</i>	37	Investigar a pegada hídrica com foco em produtos eletrônicos e fabricação de alimentos	Revisão da literatura	16	-	-
3	<i>A bibliometrics review of water footprint research in China: 2003-2018</i>	Zhu et al. (2019)	<i>Sustainability</i>	169	Revisar bibliometricamente os trabalhos publicados entre 2003 e 2018 sobre a pegada hídrica na China, um dos <i>hotspots</i> globais de pesquisa de recursos hídricos	Análise Bibliométrica	1564	<i>Web of Science e China National Knowledge Infrastructure</i>	2003-2018
4	<i>The Water Footprint Concept and Water's Grand Environmental Challenges</i>	Hogeboom (2020)	<i>One Earth</i>	55	Descrever os fundamentos do conceito de pegada hídrica e porque surgiu, destacar implicações e investigar os próximos passos na pesquisa interdisciplinar	Revisão da literatura	-	-	2006-2015
5	<i>Water footprint study review for understanding and resolving water issues in China</i>	Zhuo et al. (2020)	<i>Water</i>	102	Analisar estudos em inglês e mandarim sobre pegada hídrica visando resolver problemas de água na China por ser o país com maior pegada hídrica	Análise bibliométrica	577	<i>Web of Science e China National Knowledge Infrastructure</i>	2003-2020

6	<i>A review of water stress and water footprint accounting</i>	Wang et al. (2021)	<i>Water</i>	102	Revisar a literatura sobre o estresse hídrico induzido pelo uso da água azul e verde e pela poluição da água	Revisão da literatura	-	-	2006-2015
7	<i>A quantitative review of water footprint accounting and simulation for crop production based on publications during 2002–2018</i>	Feng et al. (2021)	<i>Ecological Indicators</i>	183	Revisar a literatura sobre quantificação da pegada hídrica na produção agrícola	Revisão Quantitativa	87	<i>Web of Science, China National Knowledge Infrastructure, Science Direct e Google Scholar</i>	2002-2018
8	<i>Industrial water conservation by water footprint and sustainable development goals: a review</i>	Weerasooriya et al. (2021)	<i>Environment, Development and Sustainability</i>	82	Analisar o conceito de pegada hídrica para atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em relação a conservação da água industrial e os caminhos para a gestão sustentável dos recursos hídricos	Revisão da literatura	-	<i>Springer Nature</i>	-
9	<i>Volumetric and Impact-Oriented Water Footprint of Agricultural Crops: A Review</i>	Deepa et al. (2021)	<i>Ecological Indicators</i>	183	Realizar uma meta análise sobre o entendimento atual do conselho de Pegada Hídrica de uma perspectiva volumétrica de impacto.	Meta-análise	50	<i>Google Scholar</i>	2006-2020
10	<i>A bibliometrics review of hotspots in water footprint research based on co-words network analysis</i>	Sun et al. (2022)	<i>Frontiers in Environmental Science</i>	77	Fornecer uma revisão de pesquisa de pegada hídrica em larga escala e uma referência para futuras pesquisas sobre pegada hídrica.	Análise bibliométrica	3822	<i>Web of Science e China National Knowledge Infrastructure</i>	Antes de 2021

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

4. Análise dos principais achados em estudos de revisão sobre Pegada Hídrica

A análise do *corpus*, conforme o quadro 1, evidenciou que a literatura de revisão sobre Pegada Hídrica vem se consolidando a partir de núcleos temáticos convergentes, ainda que com ênfases distintas conforme o recorte empírico, a base de dados adotada e o setor investigado. Nesse sentido, Zhang et al. (2017), ao examinarem bibliometricamente a produção entre 2006 e 2015 na base Web of Science, oferecem um suporte importante para compreender a estrutura inicial desse campo, ao demonstrarem que as pesquisas sobre *WF* se organizaram em torno do nexos água-alimento-energia, dos mecanismos explicativos das variações da pegada hídrica, dos impactos ambientais do uso da água e da integração entre diferentes indicadores de pegada.

Esse conjunto de achados não só delimita os eixos que sustentaram a expansão teórica do tema, mas também ajudam a interpretar os resultados métricos desta pesquisa, que mostraram a ampliação do interesse científico no período de 2017 a 2025, com concentração de publicações em 2020 e forte presença de discussões sobre uso da água, sustentabilidade, mudanças climáticas, gestão e produção agrícola.

A centralidade do nexos água-alimento-energia, levantada por Zhang et al. (2017), dialoga com trabalhos posteriores que deslocaram a PH para aplicações mais específicas e setoriais. Bong et al. (2018), ao revisarem a literatura sobre produtos eletrônicos e fabricação de alimentos, demonstraram que, embora existam modelos disponíveis para mensuração da PH em produtos eletrônicos, ainda predomina nesse segmento a ênfase na pegada de carbono, o que revela um desequilíbrio na incorporação de indicadores ambientais. Tal constatação é importante porque reforça a observação de Zhang et al. (2017) acerca da necessidade de ampliar a compreensão dos impactos ambientais e indica ainda que a literatura apresenta assimetrias entre setores produtivos.

No estudo de Bong et al. (2018), apenas a pesquisa de Gerbens-Leenes, Hoekstra e Bosman (2019) foi mencionada como evidência mais direta da mensuração das pegadas hídricas azul e cinza em cinco materiais, além de destacar que a relação entre pegada hídrica e consumo de energia é particularmente importante para a pegada hídrica azul empregada na produção de materiais de construção. Assim, a literatura não apenas confirma a importância da articulação entre água e energia, como também revela que essa integração ainda se dá de modo desigual entre áreas e cadeias produtivas, reforçando estudos anteriores Zhang et al. (2017).

Essa ampliação do campo para além da agricultura também aparece na pesquisa de Zhu et al. (2019), cujo estudo bibliométrico sobre a China confirma os achados de Zhang et al. (2017) e reforça a posição daquele país como um dos principais polos globais de produção científica em PH. Ao mostrarem que os artigos chineses indexados na Web of Science representam cerca de um quinto da produção mundial, os autores evidenciaram não apenas a produtividade acadêmica chinesa, mas também a expansão temática das pesquisas, que passaram a abranger, além do campo agrícola, a indústria, a economia, o comércio e a estratégia de água virtual.

Esse resultado corrobora os dados métricos desta pesquisa, nos quais a China apareceu como o país com maior participação entre os vínculos institucionais dos autores, com 21,15% dos artigos, reforçando igualmente as evidências apresentadas por Zhang et al. (2017), Zhu et al. (2019) e Zhuo et al. (2020) sobre o avanço chinês no campo. Além disso, a análise de coocorrências de palavras-chave realizada neste estudo, também sinalizou a centralidade da China nas discussões mais recentes, sobretudo na interface entre uso da água, gestão, agricultura e mudanças climáticas.

No plano conceitual, Hogeboom (2020) contribuiu para aprofundar a compreensão dos fundamentos da PH ao defini-la como um indicador multidimensional do uso volumétrico e da poluição da água, explicitamente vinculado a uma atividade humana beneficiária. Ao enfatizar que o consumo, em termos de *WF*, corresponde à água “perdida” do sistema e, portanto, indisponível para outros usos e local específicos, o autor confere maior precisão analítica ao conceito e oferece um contraponto às abordagens quantitativas. Sua contribuição se destaca também por estabelecer relações entre diferentes pegadas hídricas e por reconhecer a dimensão global e política da água, chamando atenção para o uso desses estudos pelos governos na análise de dependência comercial e na formulação de estratégias nacionais de segurança alimentar.

Santos, I. C. P. dos, Tavares, J. L., Lucena, S. V., Castro, A. B. C. de, Cavalcanti, G. de O., & Pereira, G. M. (2026). Considerações sobre pegada hídrica: Uma análise bibliométrica. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 14(3), 2–22.

Direitos do Autor. A Revista Brasileira de Meio Ambiente utiliza a licença *Creative Commons* - CC BY 4.0.

Esse aspecto amplia a compreensão da PH para além do cálculo volumétrico e aproxima a discussão daquilo que Zhang et al. (2017) denominaram *Footprint Family*, isto é, a necessidade de considerar, de forma complementar, as pegadas ecológica, energética, de carbono e hídrica no debate sobre sustentabilidade. No *corpus* investigado nesta pesquisa, essa aproximação aparece de modo mais explícito justamente em Hogeboom (2020), o que permite inferir que a integração entre diferentes tipos de pegada, embora teoricamente reconhecida, ainda permanece subpesquisada nas revisões publicadas.

Em relação à aplicação prática do conceito na formulação de estratégias e políticas, Zhuo et al. (2020) reforçam o caráter aplicado da literatura ao analisarem estudos em língua inglesa e chinesa voltados à resolução dos problemas hídricos da China. Os autores observaram um crescimento acelerado das publicações, sobretudo a partir de 2016, interpretando esse crescimento como uma forma de enfrentamento dos problemas de água do país. Tal diagnóstico converge com os achados de Zhang et al. (2017) e Zhu et al. (2019), mas também acrescenta um elemento importante para a discussão: a implementação efetiva dos conceitos de *WF* em estratégias e políticas de gestão de recursos hídricos depende de medições, avaliações de impacto abrangentes, reflexões e sensibilização.

Essa observação é particularmente relevante quando confrontada com os resultados desta pesquisa, que identificaram uma predominância de estudos concentrados em determinadas bases de dados e regiões, além de evidências de maturação desigual do campo. Ou seja, embora o crescimento quantitativo da literatura seja reconhecido, a tradução desse avanço em instrumentos efetivos de governança hídrica ainda requer amadurecimento e maior diversificação empírica. É nesse ponto que ganha força a necessidade de diversificação dos métodos de avaliação da PH por meio de estudos comparativos, uma vez que a coexistência de abordagens volumétricas, orientadas para impacto, bibliométricas, meta-analíticas e aplicadas a diferentes setores mostra que o campo ainda carece de maior esforço de amadurecimento metodológico.

Esse amadurecimento metodológico apareceu em Wang et al. (2021), que revisaram a literatura sobre estresse hídrico induzido pelo uso da água azul e verde e pela poluição da água. Os autores argumentam que a mensuração do estresse hídrico deve constituir etapa central da Avaliação da Pegada Hídrica, ao mesmo tempo em que sistematizam conceitos-chave como estresse hídrico, escassez, disponibilidade, consumo, retirada e a própria PH. Ao proporem indicadores como disponibilidade de água per capita, relação entre retirada e disponibilidade e razão entre PH e disponibilidade, Wang et al. (2021) reforçaram a tendência de integração de indicadores já apontada por Zhang et al. (2017).

Essa convergência mostra que a literatura avançou não apenas na expansão temática, mas também na importância dos instrumentos analíticos para avaliar a pressão sobre os recursos hídricos. Ao mesmo tempo, revelou que a preocupação com a mensuração segue sendo um dos principais alicerces do campo, sobretudo quando se busca subsidiar políticas públicas e decisões de gestão. Nesse cenário, a introdução e o aprofundamento da norma ISO N° 14.046 nos estudos de PH configuram uma agenda, uma vez que sua adoção favorece maior padronização conceitual e metodológica, ampliar a comparabilidade entre estudos e fortalecer a credibilidade das avaliações em contextos acadêmicos, institucionais e corporativos.

Na relação entre quantificação, agricultura e desenvolvimento sustentável, Feng et al. (2021) ampliaram essa discussão ao demonstrar que alcançar alta eficiência hídrica com o menor impacto possível sobre a escassez de água na agricultura deve ser uma condição para o cumprimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU até 2030. Os autores associaram a PH não apenas ao ODS 6, relativo à água limpa e saneamento, mas também ao ODS 2, sobre segurança alimentar, ao ODS 7, sobre segurança energética, aos ODS 14 e 15, voltados à saúde ambiental, e ao ODS 8, relacionado à estabilidade econômica, corroborando a natureza sistêmica da temática (Chapagain, 2017).

Segundo Feng et al. (2021), cerca de 30% dos estudos sobre *WF* concentram-se no setor agrícola sob as perspectivas verde e azul, referentes ao consumo de água da chuva e ao consumo de água superficial ou subterrânea. Além disso, ao classificarem as abordagens de quantificação da PH em necessidade de água da cultura de campo, balanço hídrico do solo, balanço hídrico regional, sensoriamento remoto e balanço hídrico

medido em campo, Feng et al. (2021) ofereceram um repertório metodológico para o setor agrícola e confirmam a permanência desse segmento como eixo estruturante das pesquisas sobre Pegada Hídrica.

A preocupação com a articulação entre PH, indicadores e ODSs foi central em Weerasooriya et al. (2021), que direcionaram a análise para a conservação da água industrial e para os caminhos da gestão sustentável dos recursos hídricos. Corroborando Feng et al. (2021), os autores enfatizaram que a ONU reconhece a necessidade do uso sustentável dos recursos como condição para a conservação da humanidade, destacando o ODS 6 como referência direta à água limpa e ao saneamento. Nessa perspectiva, a PH é tratada como um conceito para uso sustentável da água, capaz de orientar o planejamento estratégico das indústrias.

Por isso, Weerasooriya et al. (2021) recomendaram o uso de avaliações do *PMA* como indicadores e ferramentas auxiliares à tomada de decisão em direção aos ODS. Essa ênfase na utilização de indicadores aproxima o estudo de Weerasooriya et al. (2021) das propostas de Wang et al. (2021) e Feng et al. (2021), evidenciando que parte da literatura sobre PH passou a deslocar o foco da mera mensuração para a construção de instrumentos de apoio à gestão e à governança.

Contudo, a partir desse conjunto de evidências, percebe-se que a relação entre PH e a Agenda 2030 ainda não foi profundamente estudada, permanecendo mais frequentemente associada a PH a alguns objetivos específicos, sobretudo aqueles relacionados à água, alimento, energia, meio ambiente e economia. Assim, investigar de modo mais sistemático a relação entre a PH e os 17 ODS da Agenda 2030 da ONU constitui um ponto latente da agenda científica.

No debate metodológico e avaliativo, Deepa et al. (2021), a partir de estudos minerados no Google Scholar entre 2006 e 2020, concluíram que o uso sustentável dos recursos hídricos exige que a PH seja compreendida simultaneamente sob as dimensões ambiental, social e econômica. Essa interpretação é coerente com a ampliação conceitual observada em Hogeboom (2020) e com a incorporação da agenda dos ODSs em Feng et al. (2021) e Weerasooriya et al. (2021). Além disso, Deepa et al. (2021) sistematizam quatro fases para o estudo da Pegada Hídrica, sendo: definição do objetivo e escopo, contabilização da pegada hídrica, avaliação da sustentabilidade e formulação de resposta, oferecendo um encadeamento analítico útil para futuras investigações.

Essa proposição é importante por que ajuda a estruturar estudos posteriores com maior consistência metodológica, ao mesmo tempo em que reforça que a avaliação da PH não se encerra na contabilização, devendo avançar para a análise da sustentabilidade e para a proposição de respostas concretas.

Essa diferenciação entre abordagens também é aprofundada por Sun et al. (2022), ao distinguirem a PH “volumétrica”, centrada no consumo de água, da PH “orientada para o impacto”, focada nas consequências ambientais do uso da água. Essa distinção dialoga diretamente com os resultados de Zhang et al. (2017), Wang et al. (2021) e Deepa et al. (2021), pois explicita uma tensão metodológica importante no campo: medir volumes consumidos não é suficiente quando se pretende compreender as implicações/impactos ecológicos, sociais e territoriais do uso da água. Além disso, Sun et al. (2022) observaram que a literatura bibliométrica raramente realiza análises comparativas entre diferentes bases de dados, constatação que se mostrou pertinente também nesta pesquisa. Enquanto a Web of Science apresenta maior concentração de estudos em determinadas regiões e produtos, a base CNKI tende a combinar a teoria da PH com economia e gestão, de modo que os artigos citados da Web of Science privilegiam a teoria da pegada do produto a partir de experimentos científicos, ao passo que os da CNKI abordam a PH sob perspectiva macro, articulada a teorias econômicas e de gestão, ainda que por meio de estudos empíricos.

Esses achados reforçam a necessidade de diversificação das fontes de dados e corroboram a importância do uso da Scopus neste estudo, especialmente porque os principais levantamentos bibliométricos anteriores sobre PH não tiveram essa base como suporte principal. Ao mesmo tempo, essa constatação sustenta a pertinência de estudos comparativos não apenas entre bases de dados, mas também entre métodos de avaliação, escalas de análise e referenciais normativos, entre os quais a ISO 14046 ocupa posição estratégica.

Considerando conjuntamente os trabalhos analisados, torna-se possível perceber uma trajetória de evolução da literatura de revisão sobre PH. Em um primeiro momento, predominou a preocupação em compreender conceitos, características e implicações das pesquisas, como se observa em Zhang et al. (2017) e Hogeboom (2020). Em seguida, a temática foi progressivamente aplicada a produtos, setores e contextos específicos, abrangendo eletrônicos, alimentos, agricultura, indústria, economia, comércio e água virtual, como indicam Bong et al. (2018) e Zhu et al. (2019). Depois, o debate passou a enfatizar estratégias e políticas práticas de gestão dos recursos hídricos, avaliações de impacto mais abrangentes e a necessidade de sensibilização social e institucional, com destaque para o caso chinês em Zhuo et al. (2020). Na produção mais recente, sobretudo a partir de 2021, observa-se a incorporação mais explícita da agenda dos ODSs, da quantificação do impacto e da articulação entre mensuração, sustentabilidade e tomada de decisão, conforme evidenciam Wang et al. (2021), Feng et al. (2021), Weerasooriya et al. (2021), Deepa et al. (2021) e Sun et al. (2022).

Essa trajetória é compatível com os resultados desta pesquisa, que mostraram, por meio dos resultados métricos da pesquisa, uma passagem de temas mais ligados à oferta e demanda de água, produção agrícola, água azul e produção animal, em 2019, para enfoques em uso da água, mudanças climáticas, gestão, conservação, sustentabilidade, poluição da água, metodologia, aspectos econômicos e biocombustíveis nos anos seguintes. Ao mesmo tempo, essa evolução permite afirmar que a agenda contemporânea da área não se limita mais à mensuração do consumo de água, mas caminha para um quadro analítico mais amplo, no qual ganham relevância a comparação entre métodos, a articulação com os 17 ODS e a incorporação de referenciais normativos internacionalmente reconhecidos, como a ISO 14046.

Do ponto de vista dos componentes da PH, a análise conjunta do *corpus* também sugere um desequilíbrio. Os estudos de Bong et al. (2018), Wang et al. (2021) e Feng et al. (2021) mostraram maior concentração nos componentes verde e azul, isto é, na água da chuva e na água superficial ou subterrânea. Em contraste, o componente cinza, associado à água necessária para diluir poluentes, aparece menos desenvolvido nas revisões analisadas. Essa assimetria indica uma lacuna para novos estudos, especialmente em contextos de poluição hídrica, gestão de efluentes e avaliação de impactos ambientais em cadeias produtivas. Nessa mesma linha, a integração entre diferentes pegadas, proposta por Zhang et al. (2017) sob a noção de *Footprint Family*, não se mostrou amplamente desenvolvida no *corpus* analisado, aparecendo de forma mais clara apenas em Hogeboom (2020).

Esse achado sugere que a complementaridade entre pegadas ecológica, energética, de carbono e hídrica ainda constitui uma agenda em aberto, com potencial para fortalecer análises mais integradas sobre sustentabilidade. A própria adoção mais consistente da ISO 14046 pode contribuir nesse processo, na medida em que favorece maior rigor na avaliação dos impactos relacionados à água e pode oferecer uma base comum para comparação entre pesquisas desenvolvidas em setores, regiões e escalas distintas.

Os resultados desta pesquisa também permitem relativizar algumas generalizações presentes na literatura anterior. Zhang et al. (2017) apontaram o *Journal of Cleaner Production*, *Environmental Science & Technology* e *Ecological Indicators* como os principais periódicos de publicação sobre PH. Entretanto, quando se observa o *corpus* de artigos de revisão mapeado neste estudo, tal padrão não se confirma integralmente. Conforme os resultados bibliométricos levantados, os periódicos mais importantes foram *Water Switzerland*, *Ecological Indicators* e *Sustainability*, sendo que o *Water Switzerland* concentrou o maior número de registros e *Ecological Indicators* apareceu de forma recorrente, ao passo que *Journal of Cleaner Production* teve a participação mais modesta no contexto de revisões.

O próprio Quadro 1 evidenciou a presença de *journals* como *Water*, *Ecological Indicators*, *One Earth*, *Environment*, *Development and Sustainability* e *Frontiers in Environmental Science*, o que indica que a dinâmica de publicação de artigos de revisão não coincide plenamente com a dinâmica da produção geral sobre PH. Desse modo, a presente pesquisa contribui ao mostrar que o recorte por tipo de documento altera a configuração dos periódicos centrais do campo.

Outro aspecto importante diz respeito à temporalidade e às bases utilizadas nas revisões publicadas. A maioria dos trabalhos analisados concentra-se em recortes temporais que se interceptam entre 2006 e 2018 e utiliza predominantemente a Web of Science, a CNKI e buscadores como o Google Scholar. Esse padrão confirma a observação de Sun et al. (2022) de que a literatura ainda explora pouco análises comparativas entre bases de dados e reforça a relevância da presente pesquisa ao utilizar a Scopus como suporte do levantamento bibliométrico. Essa escolha metodológica amplia o espectro de observação do campo e permite identificar diferenças que nem sempre aparecem nas revisões anteriores. Além disso, a própria introdução do artigo já assinalava que os principais estudos bibliométricos sobre PH não tiveram como suporte a base Scopus, o que evidencia uma contribuição específica deste trabalho para a sistematização da literatura. Nessa sentida, pesquisas futuras podem avançar ao comparar, de forma sistemática, os resultados obtidos em Scopus, Web of Science, CNKI e Google Scholar, bem como ao analisar em paralelo os efeitos da adoção de diferentes métodos de avaliação da PH e da aplicação da ISO 14046 sobre a comparabilidade dos resultados.

No que se refere à distribuição espacial das pesquisas, a China se destacou como o país que mais pesquisa e publica sobre PH, o que foi sustentado por Zhu et al. (2019), ao caracterizá-la como um *hotspot* global de pesquisa, e confirmado por Zhuo et al. (2020). Os dados desta investigação corroboram esse protagonismo ao identificarem a China no topo da produção vinculada às instituições dos autores, seguida por Índia, Holanda e Estados Unidos. Ao mesmo tempo, essa concentração geográfica revela um limite da literatura, uma vez que outros contextos, especialmente economias emergentes e países em desenvolvimento, permanecem relativamente menos explorados.

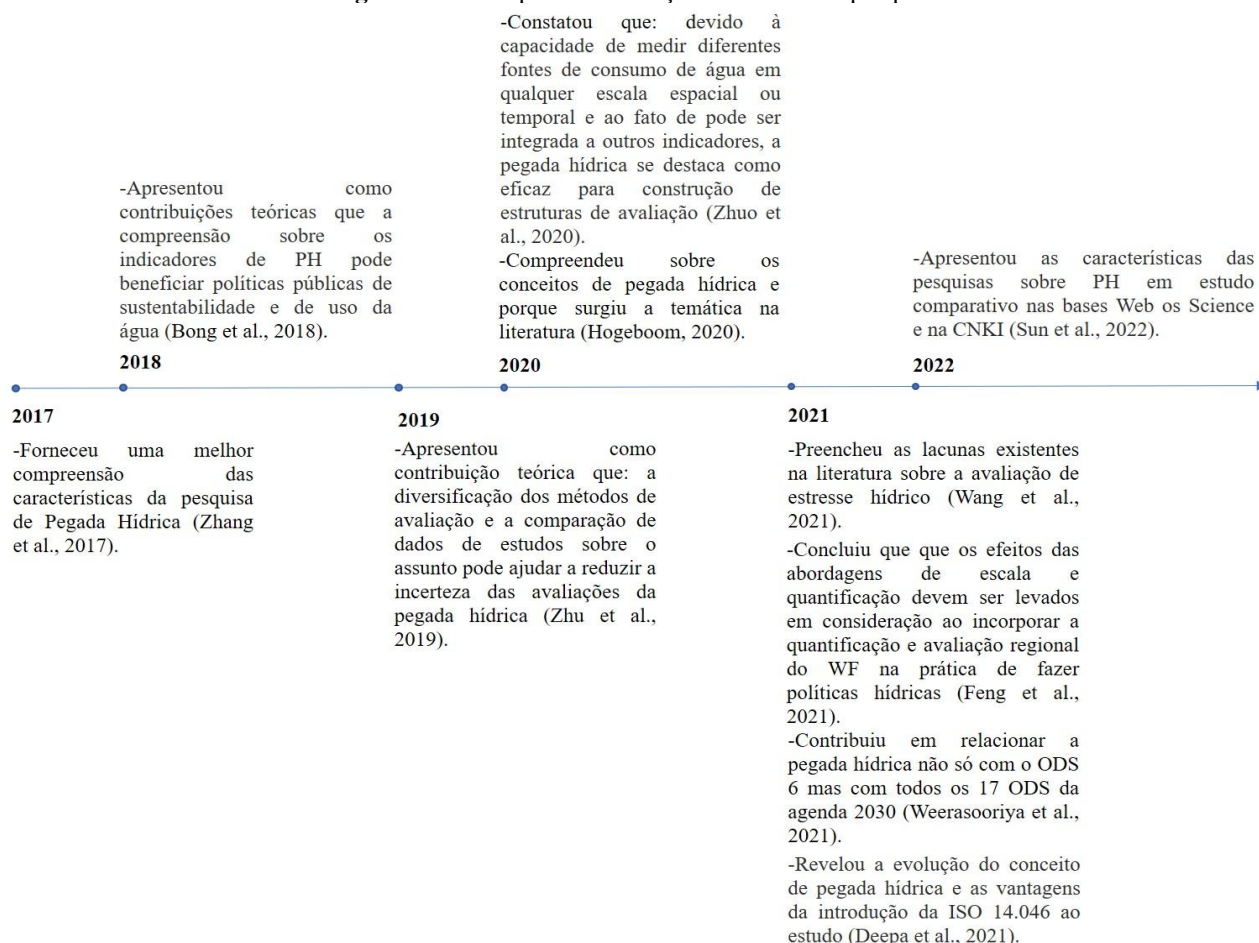
O caso brasileiro ilustra essa condição: embora o Brasil apareça entre os países com vínculos institucionais no *corpus* mapeado, sua participação é modesta. Os exemplos identificados nesta pesquisa, como Scapini et al. (2022), sobre substituição de água doce por água do mar na construção civil, e Vale et al. (2019), sobre a pegada hídrica cinza da mistura de agrotóxicos no cultivo de cana-de-açúcar, indicam que há espaço para ampliar tanto revisões da literatura quanto estudos empíricos, incluindo pesquisas experimentais, aplicadas, estudos de caso e triangulações metodológicas.

Assim, a agenda futura do campo parece demandar maior diversificação territorial, ampliação do uso de bases distintas, aprofundamento do componente cinza e fortalecimento de abordagens integradas que articulem mensuração, impacto, governança e sustentabilidade. Nesse horizonte, sobressaem como frentes prioritárias a diversificação dos métodos de avaliação por meio de estudos comparativos, a investigação mais abrangente das relações entre a Pegada Hídrica e os 17 ODS da Agenda 2030 e a análise das vantagens da incorporação da ISO 14046 nos estudos de PH, especialmente quanto à padronização, comparabilidade e aplicabilidade dos resultados em contextos acadêmicos e de formulação de políticas públicas.

4.1 Contribuições teóricas das pesquisas de revisão

A partir da seleção de trabalhos contida no Quadro 1 foi possível identificar um conjunto das principais contribuições teóricas (figura 5) feitas por cada conjunto de autores a partir de suas publicações, conforme representadas por data na figura abaixo.

Figura 5 – Principais contribuições teóricas das pesquisas



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Zhang et. al (2017) investigou as características da pegada hídrica. No estudo os autores descrevem as tendências na pesquisa da Pegada Hídrica sob o nexa água-alimento-energia, fornecendo uma maior percepção sobre o consumo de água da produção de energia/alimentos em diferentes escalas temporais e espaciais, além de fazer uma integração entre os indicadores da família de pegada – *Footprint Family* – ampliando o conhecimento sobre as características da pesquisa de PH. De forma similar, Bong et al. (2018) fazem uma revisão da avaliação de Pegada Hídrica também no nexa água-alimento-energia, porém para produtos eletrônicos e alimentos, o qual complementa e avança a pesquisa de Zhang et. al (2017) no sentido de fornecer uma aplicação ao estudo, portanto a análise mostra uma evolução no estudo da pegada hídrica, além disso, Bong et al. (2018) demonstra avanço na pesquisa no sentido de os resultados servirem para beneficiar as políticas de sustentabilidade e uso da água visando a compreensão da utilidade do indicador pegada hídrica, com a vantagem de alavancar diretrizes capazes de melhorar o uso da água doce, de forma a contribuir na elaboração de uma legislação sobre pegada hídrica e consumo sustentável.

Por outro lado, o estudo desenvolvido por Hogeboom (2020) também relaciona o indicador Pegada Hídrica ao impacto do aumento do consumo, porém fornece uma melhor compreensão no estudo no sentido de detalhamento e explicação os conceitos relacionados ao estudo da Pegada Hídrica.

Feng et al. (2021) através da revisão de literatura sobre a quantificação da pegada hídrica na produção agrícola visa contribuir no sentido de alcançar alta eficiência hídrica com efeitos mínimos sobre a escassez de água na agricultura, colaborando para atingir as metas dos ODS. A análise do conceito de pegada hídrica para atingir os ODS também é trabalhado no estudo de Weerasooriya (2021), porém neste estudo os ODS são descritos de forma mais detalhada e consegue se estabelecer a relação da pegada hídrica não só com o ODS 6 mas com todos os 17, ou seja, atualmente existe uma preocupação maior com as metas da Agenda 2030 e os ODS.

Pode-se então perceber que, ao longo dos anos, as pesquisas foram avançando no estudo da PH e se complementação entre eles, característica de uma temática que está em maturação na literatura e que, portanto, contém lacunas para pesquisas futuras.

4.2 Lacunas para pesquisas futuras

Embora, em termos metodológicos, a prática da bibliometria tenha uma característica descritiva, utilizá-la como base para propor novas investigações e temas mais específicos ou relações ainda não bem elucidadas sobre uma determinada temática, amplia a sua relevância (Teixeira, Iwamoto & Medeiros, 2013). Nesse sentido, tem-se em seguida o Quadro 2 no qual foi apresentado como um quadro futuro – lacunas de pesquisa sobre PH, levantados a partir das sugestões de trabalhos futuros no corpus utilizado nesta pesquisa bibliométrica.

Quadro 2 – Lacunas para futuras pesquisas

Lacunas de pesquisa	Autores
Estudar o desenvolvimento/ integração de indicadores para a contabilização de pegada hídrica possibilitando a construção de estruturas de avaliação mais robustas	Zhang et al. (2017); Zhuo et al. (2020); Wang et al. (2021) e Sun et al. (2022)
Sistematizar diretrizes capazes de melhorar o uso da água doce, prestar suporte ao desenvolvimento de políticas hídricas e de consumo sustentável	Bong et al. (2018)
Diversificar os métodos de avaliação da pegada hídrica por meio de estudos comparativos	Zhu et al. (2019)
Investigar a relação entre a pegada hídrica todos os 17 ODS's da agenda 2030 da ONU	Feng et al. (2021) e Weerasooriya et al. (2021)
Investigar as vantagens da introdução da norma ISO N° 14.046 aos estudos de pegada hídrica	Deepa et al. (2021)

Fonte: Dados da pesquisa (2026).

Dentre as lacunas para futuras pesquisas citadas pelos autores, a que demanda atualmente uma necessidade maior de estudos é a que trata sobre a investigação da pegada hídrica com os ODS's, pois até 2030 os ODS's precisam ser atingidos como meta da Agenda 2030, além disso com o aumento do consumo e o crescimento populacional, seguidos da escassez dos recursos hídricos, torna-se ainda mais importante atingir esses objetivos e estudar formas de se chegar a este resultado.

5. Conclusão

A presente pesquisa permitiu mapear a produção científica publicada em artigos sobre Pegada Hídrica no período de 2017-2025 identificando i) *journals*, autores, países, co-ocorrências, co-citações, instituições de vínculos e os principais artigos de revisão, dados que podem servir como um guia para estudos sobre PH; ii) a contribuição teórica dos artigos de revisão, com destaque para a conceituação, a aplicação do assunto no nexo água-alimento-energia, na *footprint family*, em diferentes produtos e setores da sociedade, para beneficiar as

políticas de sustentabilidade e uso da água, para subsidiar a elaboração de uma legislação sobre pegada hídrica e consumo sustentável de água doce. Além disso, e com peças de uma temática em maturação na literatura acadêmica, foram identificadas contribuições teóricas na relação entre PH e os ODS.

iii) Os principais achados desta pesquisa demonstraram que os estudos de revisão sobre PH estão mais focados nos componentes “verde” e “azul”, foram publicados nos *journals Ecological Indicators* e *Water*, em estudos indexados nas bases Web of Science e *China National Knowledge Infrastructure*, e a China figurou como o hotspots mais estudado. iv) As lacunas de novas investigações sinalizam para o desenvolvimento e integração de indicadores para a contabilização da pegada hídrica, a fim de construir estruturas de avaliação mais robustas. Além disso, busca-se sistematizar diretrizes que melhorem o uso da água doce e forneçam suporte ao desenvolvimento de políticas hídricas e de consumo sustentável.

A principal contribuição da pesquisa foi o mapeamento da produção e da disseminação do conhecimento científico no campo da pesquisa, trazendo informações compiladas que permeiam a compreensão da área de estudo. Esse mapeamento, sistematização e mapeamento do conhecimento sobre PH permite a construção de portfólios de pesquisa para estimular novos esforços de colaboração e subsidia o desenvolvimento de referenciais teóricos de qualidade e de fronteira para futuras pesquisas.

As limitações do estudo estão no uso de uma base de dados, o que pode resultar em omissões de estudos relevantes e em viés de publicação. Além disso, esta pesquisa reduziu seu foco apenas na pegada hídrica, sendo esta apenas uma das consequências ambientais das atividades humanas no contexto da *footprint Family*.

Estudos futuros poderão abordar os itens do quadro 2, assim como ampliar a visão sobre o componente “cinza” (águas usadas para diluir poluentes) da PH, realizar investigações em países de industrialização recente e em países em desenvolvimento, a exemplo, do Brasil, com o objetivo tanto de revisão da literatura como de estudos empíricos (experimentais, aplicados e estudos de caso ou mesmo da triangulação entre eles).

6. Referências

Badruzzaman, M., et al. (2017). Value propositions of the water footprint concept for sustainable water utilities. *Journal - American Water Works Association*, 109(9), E393–E408.

Berger, M., et al. (2025). Complementary strengths of water footprint and life cycle assessments in analyzing global freshwater appropriation and its local impacts—Recommendations from an interdisciplinary discussion series. *Ecological Indicators*, 174, 113458.

Bhatt, R., et al. (2023). Climate-smart technologies for reducing water footprints in different cropland ecosystems: A meso analysis. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 89(1), 15–36.

Bong, P. X. H., Malek, M. A., & Noor, Z. Z. (2018). A review on water footprint assessment and Water-Food-Energy Nexus for electronic and food products. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, 7(4), 48-53.

Chapagain, A. K. (2017). *Water footprint: State of the art: What, why, and how?* In M. Abraham (Ed.), *Encyclopedia of sustainable technologies* (pp. 153–163). Elsevier.

Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, 70(4), 749–758.

- Choudhury, A. R., et al. (2023). Ascertaining and optimizing the water footprint and sludge management practice in steel industries. *Water*, 15(12), 2177.
- Cimini, A. (2021). Evolution of the global scientific research on the environmental impact of food production from 1970 to 2020. *Sustainability*, 13(21), 11633.
- De Girolamo, A. M., et al. (2019). Improving grey water footprint assessment: Accounting for uncertainty. *Ecological Indicators*, 102, 822–833.
- Deepa, R., Anandhi, A., & Alhashim, R. (2021). Volumetric and impact-oriented water footprint of agricultural crops: A review. *Ecological Indicators*, 130, 108093.
- Ding, N., et al. (2018). Water footprints of energy sources in China: Exploring options to improve water efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 174, 1021–1031.
- Facin, A. L. F., et al. (2022). Temas de destaque na pesquisa em transformação digital: Evidências de estudo bibliométrico e análise de conteúdo. *Revista de Administração de Empresas*, 62, 1–22.
- Fang, K., Heijungs, R., & de Snoo, G. R. (2014). Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints: Overview of a footprint family. *Ecological Indicators*, 36, 508–518.
- Fardnia, K., Yousefi, H., & Abdoos, M. (2025). A bibliometric analysis of carbon and water footprints in renewable energy: The post-COVID-19 landscape. *Green Technologies and Sustainability*, 3(3), 100162.
- Félix Júnior, L. A., et al. (2020). Governança pública nas cidades inteligentes: Revisão teórica sobre seus principais elementos: Theoretical review on its main elements. *Revista do Serviço Público*, 71, 119–153.
- Gerbens-Leenes, P. W., Hoekstra, A. Y., & Bosman, R. (2018). The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass. *Water Resources and Industry*, 19, 1–12.
- Guzmán-Dimas, A., et al. (2025). Water footprint and Sustainable Development Goals: A bibliometric, semantic, and thematic analysis in economic-administrative sciences. *Cleaner Environmental Systems*, 100316.
- Hoekstra, A. Y., et al. (2012). Global monthly water scarcity: Blue water footprints versus blue water availability. *PLOS ONE*, 7(2), e32688.
- Hoekstra, A. Y. (2017). Water footprint assessment: Evolvement of a new research field. *Water Resources Management*, 31(10), 3061–3081.
- Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(9), 3232–3237.
- Hogeboom, R. J. (2020). The water footprint concept and water's grand environmental challenges. *One Earth*, 2(3), 218–222.

- Liu, X., et al. (2020). New challenges of food security in Northwest China: Water footprint and virtual water perspective. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118939.
- Lovarelli, D., Bacenetti, J., & Fiala, M. (2016). Water footprint of crop productions: A review. *Science of the Total Environment*, 548, 236–251.
- Manzardo, A., et al. (2016). Lessons learned from the application of different water footprint approaches to compare different food packaging alternatives. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4657–4666.
- Mbewu, A. D., et al. (2024). Climate change effects on water footprint of crop production: A meta-analysis. *Environmental Challenges*, 101033.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). The blue water footprint of electricity from hydropower. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(1), 179–187.
- Mourad, R., Jaafar, H. H., & Dagher, N. (2019). New estimates of water footprint for animal products in fifteen countries of the Middle East and North Africa (2010–2016). *Water Resources and Industry*, 22, 100113.
- Paul, J., & Criado, A. R. (2020). The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know? *International Business Review*, 29(4), 101717.
- Scapini, T., et al. (2022). Seawater-based biorefineries: A strategy to reduce the water footprint in the conversion of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 344, 126325.
- Schoor, M., et al. (2024). Horticultural irrigation systems and aquacultural water usage: A perspective for the use of aquaponics to generate a sustainable water footprint. *Agriculture*, 14(6), 925.
- Sidhu, B. S., Sharda, R., & Singh, S. (2021). Water footprint of crop production: A review. *Indian Journal of Ecology*, 48(2), 358–366.
- Sun, Y., et al. (2022). A bibliometrics review of hotspots in water footprint research based on co-words network analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 2521.
- Sunitha, S., et al. (2024). The water footprint of root and tuber crops. *Environment, Development and Sustainability*, 26(2), 3021–3043.
- Teixeira, M. L. M., Iwamoto, H. M., & Medeiros, A. L. (2013). Estudos bibliométricos (?) em administração: Discutindo a transposição de finalidade. *Administração: Ensino e Pesquisa*, 14(3), 423–452.
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222.
- Vale, R. L., et al. (2019). Assessment of the gray water footprint of the pesticide mixture in a soil cultivated with sugarcane in the northern area of the state of Pernambuco, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 234, 925–932.

- Vanham, D., & Bidoglio, G. (2013). A review on the indicator water footprint for the EU28. *Ecological Indicators*, 26, 61–75.
- Wang, D., et al. (2021). A review of water stress and water footprint accounting. *Water*, 13(2), 201.
- Wang, Q., et al. (2023). Factors affecting crop production water footprint: A review and meta-analysis. *Sustainable Production and Consumption*, 36, 207–216.
- Weerasooriya, R. R., et al. (2021). Industrial water conservation by water footprint and sustainable development goals: A review. *Environment, Development and Sustainability*, 1–49.
- Xu, Z., et al. (2019). Spatial-temporal assessment of water footprint, water scarcity and crop water productivity in a major crop production region. *Journal of Cleaner Production*, 224, 375–383.
- Zhang, Y., et al. (2017). Mapping of water footprint research: A bibliometric analysis during 2006–2015. *Journal of Cleaner Production*, 149, 70–79.
- Zhu, Y., et al. (2019). A bibliometrics review of water footprint research in China: 2003–2018. *Sustainability*, 11(18), 5082.
- Zhuo, L., Feng, B., & Wu, P. (2020). Water footprint study review for understanding and resolving water issues in China. *Water*, 12(11), 2988.