

INDICADORES E ÍNDICES ESPACIAIS DE RISCO DE CONTAMINAÇÃO HÍDRICA POR AGROTÓXICOS: PRODUÇÃO CIENTÍFICA E INSERÇÃO EM POLÍTICAS PÚBLICAS

INDICATORS AND RISK INDICES FOR WATER CONTAMINATION BY PESTICIDES: SCIENTIFIC PRODUCTION AND INCLUSION IN PUBLIC POLICIES

INDICADORES E ÍNDICES ESPACIALES DE RIESGO DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA POR PLAGUICIDAS: PRODUCCIÓN CIENTÍFICA E INSERCIÓN EN POLÍTICAS PÚBLICAS

AUTOR

Luan Carlos Octaviano Ferreira Leite¹ 
Vassiliki Terezinha Galvão Boulomitys² 
Márcio Alexandre Alberti³ 
Luciene Pimentel da Silva⁴ 

FILIAÇÃO INSTITUCIONAL

¹ UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO;

² INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO;

³ UNIVERSITY OF BARI;

⁴ PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ

E-MAIL

luan_otaviano@hotmail.com
vassiliki@ifsp.edu.br
marcio.alberti@pucpr.br
pimentel.luciene@pucpr.br

DATA DE SUBMISSÃO: 12/12/24

DATA DE APROVAÇÃO: 29/09/25

DOI: 10.12957/GEOUERJ.2025.88580



E-ISSN 1981-9021

ESTE É UM ARTIGO DE ACESSO ABERTO DISTRIBUÍDO SOB OS TERMOS DA LICENÇA CREATIVECOMMONS BY-NC-SA 4.0, QUE PERMITE USO, DISTRIBUIÇÃO E REPRODUÇÃO PARA FINS NÃO COMERCIAIS, COM A CITAÇÃO DOS AUTORES E DA FONTE ORIGINAL E SOB A MESMA LICENÇA.

// RESUMO

Apesar de evitar perdas de produtividade agrícola, o uso descontrolado de agrotóxicos ameaça à saúde humana e o meio ambiente, especialmente a água. Existem ferramentas para apoiar a formulação de políticas públicas e medidas de proteção aos recursos hídricos, entretanto, seu real impacto nesse processo é pouco conhecido. Assim, este estudo busca avaliar como indicadores e índices são empregados em análises de risco de contaminação hídrica por agrotóxicos no meio acadêmico e mensurar sua inserção em políticas de controle da contaminação da água para consumo humano. A metodologia consistiu em uma revisão sistemática de literatura e uma análise estatística. A produção acadêmica foi correlacionada com indicadores de vocação agrícola e abuso no uso de agrotóxicos. Verificou-se que diversos métodos avaliam o risco de contaminação hídrica com agrotóxicos e os Estados Unidos se destacam em publicações científicas no tema. Predominam análises focadas na água subterrânea considerando variáveis ambientais em suas metodologias, enquanto variáveis socioeconômicas são desconsideradas. A inclusão de informações de cunho socioeconômico é crucial para proteger comunidades afetadas. A proposta metodológica mostrou correlações estatisticamente insignificantes entre a produção científica e as políticas.

Palavras-chave: Tomada de decisão; Ferramenta; Qualidade da água; Planejamento; Agricultura.

// ABSTRACT

Despite preventing losses in agricultural productivity, the uncontrolled use of pesticides threatens human health and the environment, especially water. There are tools to support the formulation of public policies and measures to protect water resources, but their real impact on this process is little known. Therefore, this study aims to assess how indicators and indexes are used in academic analyses of the risk of water contamination by pesticides and to measure their inclusion in policies to control the contamination of drinking water. The methodology consisted of a systematic literature review and a statistical analysis. Academic output was correlated with indicators of agricultural vocation and pesticide abuse. Various methods were found to assess the risk of water contamination with pesticides, and the United States stands out in scientific publications on the subject. Groundwater-focused analyses predominate, considering environmental variables in their methodologies, while socioeconomic variables are disregarded. The inclusion of socio-economic information is crucial to protect affected communities. The methodological proposal showed statistically insignificant correlations between scientific production and policies.

Keywords: Decision-making; Tool; Water quality; Planning; Agriculture.

// RESUMEN

A pesar de evitar pérdidas en la productividad agrícola, el uso incontrolado de pesticidas amenaza la salud humana y el medio ambiente, especialmente el agua. Existen herramientas para apoyar la formulación de políticas públicas y medidas para proteger los recursos hídricos, sin embargo, su impacto real en este proceso es poco conocido. Por lo tanto, este estudio busca evaluar cómo se utilizan indicadores e índices en los análisis de riesgo de contaminación del agua por plaguicidas en la academia y medir su inserción en las políticas de control de la contaminación del agua para consumo humano. La metodología consistió en una revisión sistemática de la literatura y un análisis estadístico. La producción académica se correlacionó con indicadores de vocación agrícola y abuso en el uso de pesticidas. Se encontró que varios métodos evalúan el riesgo de contaminación del agua con pesticidas y Estados Unidos destaca en publicaciones científicas sobre el tema. Predominan los análisis centrados en las aguas subterráneas, considerando en sus metodologías variables ambientales, mientras que se desestiman las variables socioeconómicas. La inclusión de información socioeconómica es crucial para proteger a las comunidades afectadas. La propuesta metodológica mostró correlaciones estadísticamente insignificantes entre producción científica y políticas.

Palabra Clave: Toma de decisiones; Herramienta; Calidad del agua; Planificación; Agricultura.

INTRODUÇÃO

A produção de alimentos e afins é motivo de preocupação em todo o mundo devido ao crescimento populacional, mudanças nos hábitos de consumo e aumento dos eventos extremos. pois está diretamente ligada à garantia da segurança alimentar e econômica (Saxena et al., 2023). Encontrar sistemas sustentáveis de produção agrícola, é um passo essencial em direção ao desenvolvimento sustentável, garantindo alimento, emprego e renda para a presente e futuras gerações. Isso pressupõe o desenvolvimento e adoção de novas (ou o resgate de antigas) tecnologias capazes de atenuar os efeitos de fatores externos sobre a agricultura (Dathier e Effenberger, 2012). Doenças, pragas e plantas competidoras são exemplos de ameaças que podem levar a grandes perdas de produtividade. Como uma maneira de lidar com tais fatores em específico, produtores tem utilizado altas doses de produtos químicos, os chamados os agrotóxicos (Rani et al. 2020).

Agrotóxicos, pesticidas ou defensivos agrícolas, são substâncias utilizadas para repelir, controlar ou matar certas formas de vida vegetal ou animal consideradas nocivas aos agroecossistemas (Sheldon, 2010). A partir da década de 1950, com a chamada Revolução Verde, essas substâncias exerceram um papel fundamental na ampliação do modelo de produção agrícola em grande escala (Mendes e Silva, 2011; Vallete et al., 2019). Esses compostos proporcionaram maior controle de riscos contra perdas, promovendo ganhos em produtividades. Segundo dados da FAO, o consumo mundial de agrotóxicos na agricultura cresceu de 1,7 milhão toneladas em 1999 para mais de 3 milhões de toneladas em 2023 (FAO, 2024). Mas, apesar de sua contribuição para a expansão agrícola, existem diversos problemas sanitários e ambientais associados ao uso desordenado dessas substâncias.

Estudos sugerem que o glifosato, agrotóxico mais consumido no Brasil e no mundo, está associado a problemas de saúde como disfunções renais e hepáticas, doenças cardiovasculares e Alzheimer (Boulomitys e Bresaola Junior, 2013; Zang et al., 2023). Outros agrotóxicos como o

clorpirifós, diazinon, epoxiconazol e tebuconazol podem atuar como desreguladores endócrinos (Jung, Jeong e Lee, 2022). Casos de depressão, ansiedade e ideações suicidas em trabalhadores rurais também foram associados à exposição aos agrotóxicos (Cancino et al., 2023; Zanchi, Martins e Zamoner, 2023). Por isso, o seu uso deve ser realizado de maneira ordenada e segura. Entre as principais formas de intoxicação humana com essas substâncias estão o consumo indireto através de água e alimentos contaminados. A exposição através da água é problema emergente em países de base agrícola como o Brasil. Diversos estudos tem apontado a contaminação da água fornecida à população. Segundo Gomes et al. (2023), entre os anos de 2014 e 2018, 85% das análises de qualidade da água para consumo humano disponibilizadas pelo Ministério da Saúde demonstraram a presença do agrotóxico simazina. Em outro estudo, foi apontada a presença de agrotóxicos na água de 719 municípios brasileiros, dos quais, 179 em concentrações acima do permitido pela legislação (Brovini et al., 2022).

Diante de tal risco, é importante que se promova o manejo seguro desses compostos. As políticas públicas têm um papel de destaque nesse desafio. Segundo Souza (2002), é através das políticas públicas que os governantes materializam seus propósitos em programas e ações que produzirão as mudanças desejadas no mundo real. Entretanto, criar políticas e regulações de risco é uma tarefa que envolve diferentes atores com interesses conflitantes (Demortain, 2017) e, para os agrotóxicos não é diferente. Políticas para a adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, novas tecnologias e compostos de baixo risco podem não ser aceitas pelos produtores se forem menos lucrativas (Mohring et al., 2020). O conflito de interesses pode afetar até mesmo os atores políticos, levando-os, em alguns casos, a considerar a regulação atual de pesticidas adequada ou, inclusive, exagerada, a despeito das evidências científicas de ecossistemas contaminados por essas substâncias (Porto, 2018).

Apesar das dificuldades enfrentadas, as políticas contra a contaminação hídrica com agrotóxicos têm buscado, de modo geral, proteger o meio ambiente e a saúde humana contra os efeitos adversos dessas substâncias (Li e Jennings, 2018). Esses marcos regulatórios podem incluir indicações sobre como e quando os agrotóxicos devem ser utilizados e qual o nível de concentração máxima permitida de cada um na água. A identificação de áreas de maior

relevância devido a presença de fatores que amplifiquem o risco de contaminação hídrica com agrotóxicos também é um ponto relevante para essas políticas (Swartjes e Van der Aa, 2019). Mundialmente, diversos métodos baseados em indicadores ou análises de risco são empregados para auxiliar o processo de identificação de áreas prioritárias (Syeed et al., 2023).

De acordo com Januzzi (2010), os métodos baseados em sistemas de indicadores e índices, têm um importante papel nesse processo. Os indicadores permitem mensurar espacialmente um conceito ou fenômeno abstrato de interesse teórico ou programático. Dessa forma, buscam subsidiar atividades de planejamento e formulação de políticas nas mais diferentes esferas do governo. Quando associado a ferramentas que permitam visualizar sua distribuição espacial, como os Sistemas de Informação Geográficas (SIG), tais métodos facilitam a tomada de decisão e a correta alocação de recursos durante a elaboração e aplicação de intervenções e das políticas públicas (Kookana e Oliver, 2018).

Essas ferramentas podem auxiliar produtores a escolherem compostos ambientalmente aceitáveis e a adotarem práticas de manejo sustentável; aos gestores de recursos naturais a identificar opções de gestão, a priorizar áreas de risco, a avaliar medidas de gestão implementadas e no desenvolvimento de programas de monitoramento adequados; aos pesquisadores na priorização de áreas e agrotóxicos para estudos; e aos reguladores na formulação de políticas e intervenções (Kookana; Oliver, 2018). Pouco se sabe, entretanto, se tais propostas metodológicas são realmente utilizadas ou consideradas durante a formulação de políticas pelos tomadores de decisão. Portanto, o presente estudo tem como objetivo (i) identificar e analisar a produção acadêmica sobre os indicadores e índices de risco de contaminação hídrica por agrotóxicos e (ii) avaliar a inserção dessa produção científica na formulação de políticas para controle desse tipo de contaminação, em especial, da água para consumo humano. Em adição aos dois primeiros objetivos, o trabalho busca (iii) encontrar lacunas que fundamentem a proposição um índice inovativo, adaptado à realidade brasileira para o risco de exposição a agrotóxicos através da água.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia consiste de duas etapas. Parte-se de uma revisão bibliográfica cujo objetivo é identificar indicadores e índices de risco de contaminação hídrica por agrotóxicos, compreender como tem evoluído a produção científica na área e avaliar o conteúdo de suas propostas. Buscou-se também identificar, conforme a revisão, evidências científicas que justifiquem a necessidade e relevância da futura proposição de um novo índice. A segunda etapa consistiu em uma análise estatística cujo objetivo foi verificar se a produção científica nessa temática pode ser, em algum nível, um indicador da inserção de métodos proposto pela ciência nas políticas públicas de qualidade da água para consumo humano, da vocação agrícola ou do abuso no uso de agrotóxicos.

Revisão sistemática de literatura

A revisão sistemática de literatura foi realizada tendo por base a metodologia PRISMA (Page et al., 2021). Essa etapa buscou responder as seguintes questões: (i) como tem se distribuído espacial e temporalmente a produção científica relacionada ao uso de índices/indicadores para avaliação do risco de contaminação hídrica por agrotóxicos?; (ii) qual é o foco dessas análises?; (iii) quais os métodos e variáveis mais utilizados?; (iv) existem lacunas a serem preenchidas com novos métodos?

Na fase inicial da revisão sistemática foram definidas as palavras-chave para a realização de buscas nas bases de indexação dos periódicos científicos. Também foram definidos os critérios de inclusão e exclusão para as buscas. A pesquisa limitou-se a artigos científicos publicados em periódicos indexados às bases Web of Science e Scopus entre de 2000 a 2023. No Quadro 1 são apresentados mais detalhadamente os critérios de inclusão utilizados para condução da revisão.

Quadro 1. Palavras-chave e critérios utilizados para realizar a revisão sistemática de literatura.

Palavras-chave de busca	("agrochemical" OR "pesticide" OR "agricultural chemical" OR "agricultural defensive") AND ("water contamination" OR "drinking water" OR "water pollution" OR "water exposure" OR "environmental contamination" OR "human contamination") AND ("index" OR "indicator" OR "index proposal" OR "risk index" OR "vulnerability index" OR "risk indicator" OR "vulnerability indicator" OR "spatial index" OR "map*" OR "geographic information system") AND NOT ("bacteria" AND "virus" AND "heavy metal" AND "specie" AND "fish" AND "plant")
Bases de dados	Web of Science e Scopus
Critérios de inclusão	Artigos científicos com aplicação prática; Busca em tópicos (palavras-chave buscadas nos campos títulos, resumos e palavras-chave); Publicação entre janeiro de 2000 a dezembro de 2023
Critérios de exclusão	Artigos de revisão; Estudos fora do tema de interesse

Fonte: Os autores, 2024.

A partir do resultado das buscas foram realizadas triagens para refinamento dos resultados obtidos. A primeira triagem consistiu na leitura do título dos documentos resultantes busca inicial. Foram excluídos os artigos duplicados ou considerados fora do tema da pesquisa, que não tratam da contaminação hídrica por agrotóxicos e da proposição de índices ou indicadores de risco nessa temática. Também foram excluídos os artigos de revisão bibliográfica, pois não são aplicações práticas. Mantiveram-se somente os artigos cujos títulos indicam a proposição ou o uso de índices ou indicadores de risco ou vulnerabilidade à contaminação hídrica por agrotóxicos. Os artigos selecionados foram utilizados na próxima etapa.

A segunda triagem consistiu na leitura dos resumos dos artigos selecionados na etapa anterior. Assim, foram excluídos também artigos relacionados aos índices e indicadores de risco para espécies de animais, vegetais ou de risco ecológico de modo geral; de risco à saúde humana ou referentes às substâncias distintas de agrotóxicos. Assim, apenas os artigos que tratam da proposta ou aplicação de índices ou indicadores de risco de contaminação hídrica por agrotóxicos foram selecionados para a análise de conteúdo.

Análise de conteúdo

A última etapa da revisão consistiu em uma análise de conteúdo. Sete grupos de informações foram buscados e avaliados no conteúdo dos artigos selecionados. No Quadro 2 está descrito cada um dos grupos e seus respectivos significados.

Quadro 2. Grupos de informações selecionados para a análise de conteúdo e seus respectivos significados.

Grupo de informações	Significado
Ano de publicação	Representa o ano em que o artigo foi publicado;
País estudado	Representa o país em que a análise foi feita;
Tipo de manancial	Representa o tipo de manancial considerado nos estudos, diferenciando-os entre superficial e subterrâneo;
Proposta nova ou replicada	Avalia se o índice/indicador utilizado no artigo é inédito, se é uma aplicação de um método já existente ou uma adaptação de um índice/indicador já existente;
Nome do índice ou indicador	Representa o nome ou sigla designada no artigo para a proposta metodológica. Nos casos onde não houve a definição de um nome este foi considerado como não identificado;
Variáveis consideradas	Representam as variáveis utilizadas como critérios ou parâmetros nas análises de risco ou vulnerabilidade realizadas nos artigos;

Fonte: Os autores, 2024.

Cada grupo de informação foi analisado a partir da leitura dos artigos selecionados. Os trechos que contém dados relevantes para cada grupo informação foram rotulados. O processo de rotulação teve por objetivo marcar dados para defini-los e organizá-los. Assim, foi possível a contabilização da recorrência dos rótulos e seu agrupamento conforme o interesse da revisão. Dessa forma, foi identificado dentro da amostra de artigos selecionados: os anos e países com mais trabalhos publicados; a escala de análise e o tipo manancial mais estudado; se ocorreram mais artigos com propostas metodológicas novas ou com replicações ou adaptações de metodologias já existentes; os nomes dos índices e indicadores mais recorrentes e, também, as

principais informações ou dados utilizados como critério ou parâmetros para a construção dos indicadores.

Análise estatística

Esta etapa buscou avaliar se a produção científica sobre indicadores e índices de contaminação hídrica por agrotóxicos pode ser considerada um indicador ou um reflexo da inserção dessas temáticas nas políticas sobre qualidade da água para consumo humano, da vocação agrícola dos países onde a produção científica se concentra ou do abuso do uso de agrotóxicos em seus territórios. Para isso, foram selecionadas variáveis adequadas e aplicada uma análise de correção.

Seleção das variáveis

O número de artigos publicados por país, obtido durante a revisão sistemática de literatura, foi utilizado para representar quantitativamente a produção científica. Para tornar a análise mais prática, considerou-se apenas o número de artigos publicados nos cinco países com mais publicações, assim como para as demais variáveis. A China, apesar não estar entre os cinco países com mais publicações, tem importante participação no mercado agrícola mundial e, portanto, também foi considerada nessa etapa da análise.

O número de menções das palavras-chave utilizadas na revisão de literatura no conteúdo das políticas de qualidade da água para consumo humano dos países pré-selecionados foi utilizado para representar o nível de inserção da temática do estudo no discurso político desses países. Para isso, foram levantadas as políticas de cada um dos países, (Quadro 3) e, então, realizou-se buscas pelas palavras-chave no conteúdo das políticas, contabilizando as menções a cada palavra-chave. A partir do número de menções de cada palavra-chave em uma política, foi realizado um somatório. Assim, chegou-se ao total de menções observadas em cada política.

Quadro 3. Políticas de qualidade da água para consumo humano do Brasil, Estados Unidos, Índia, Itália e França, com suas respectivas fontes.

País	Política	Fonte
Brasil	Portaria nº 888 de 2021.	Ministério da Saúde (Brasil, 2021)
China	GB nº 5749 de 2022	República Popular da China (2022)
Estados Unidos	“Safe Drinking Water Act”	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA)
Índia	Padrão Indiano 10500: 2012	Gabinete de Normas Indiano (GNI, 2012)
Itália	Diretiva nº 2184/2020	Parlamento e Conselho Europeu
França	Diretiva nº. 2184/2020	Parlamento e Conselho Europeu

Fonte: Brasil, 2021; República Popular da China, 2022; US-EPA, 2024; Gabinete de Normas Indiano, 2012; Parlamento e Conselho Europeu, 2020.

Outras duas variáveis foram selecionadas como indicadores da vocação agrícola e o abuso no uso de agrotóxicos nos países considerados, são elas: quantidade produzida de vegetais em 2022 (toneladas); valor da produção agrícola do país em 2022 (US dollar) e, total de agrotóxicos empregados na agricultura em 2021 (toneladas). Essas variáveis foram obtidas através do sistema de indicadores e estatísticas FAOstat, da Organização Mundial para Agricultura e Alimentação (FAO). No Quadro 4 estão representadas todas as variáveis utilizadas para a análise estatística e suas respectivas fontes.

Quadro 4. Variáveis consideradas para a análise estatística, seus respectivos significados e fontes.

Variável	Significado	Fonte
Produção científica	Representa o número de artigos científicos publicados nos países;	Revisão sistemática de literatura.
Nível de inserção da temática no discurso político	Representa o número de menções das palavras-chave pré-selecionadas nas políticas de qualidade da água para consumo humano dos países;	Análise das políticas.
Produção agrícola	Quantidade, em toneladas, de vegetais produzidos pelo setor agrícola dos países no ano de 2022;	FAO (2024).
Valor da produção agrícola	Valor, em dólares americanos, da produção agrícola total dos países em 2022;	FAO (2024).
Uso de agrotóxicos	Total, em toneladas, de agrotóxicos utilizados pelo setor agrícola dos países em 2022.	FAO (2024).

Fonte: Os autores, 2024; FAO, 2024.

Análise de correlação

A análise estatística utilizada para avaliar a correlação entre a produção científica e as demais variáveis teve por base o método aplicado em Zengin e Karaca (2022). Primeiramente foi empregado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk a um nível de significância de 5% ($p=0,05$) para verificar a normalidade das variáveis. Uma vez verificada a distribuição não normal, optou-se por empregar métodos estatísticos não paramétricos. Foi utilizado, então, o Coeficiente de Correlação de Spearman, também a um nível de significância de 5% ($p=0,05$) com a finalidade de avaliar a força da correlação entre as variáveis (Aggarwal e Ranganathan, 2016).

A hipótese nula (H_0) do teste é de que não há correlação significativa entre a produção científica e o nível de inserção da temática do uso de indicadores para avaliação do risco de contaminação hídrica por agrotóxicos no discurso político; a produção agrícola; o valor da produção agrícola; e o montante de agrotóxicos utilizados. A hipótese alternativa (H_1) é de que há uma correlação significativa entre a produção científica e pelo menos uma das demais variáveis.

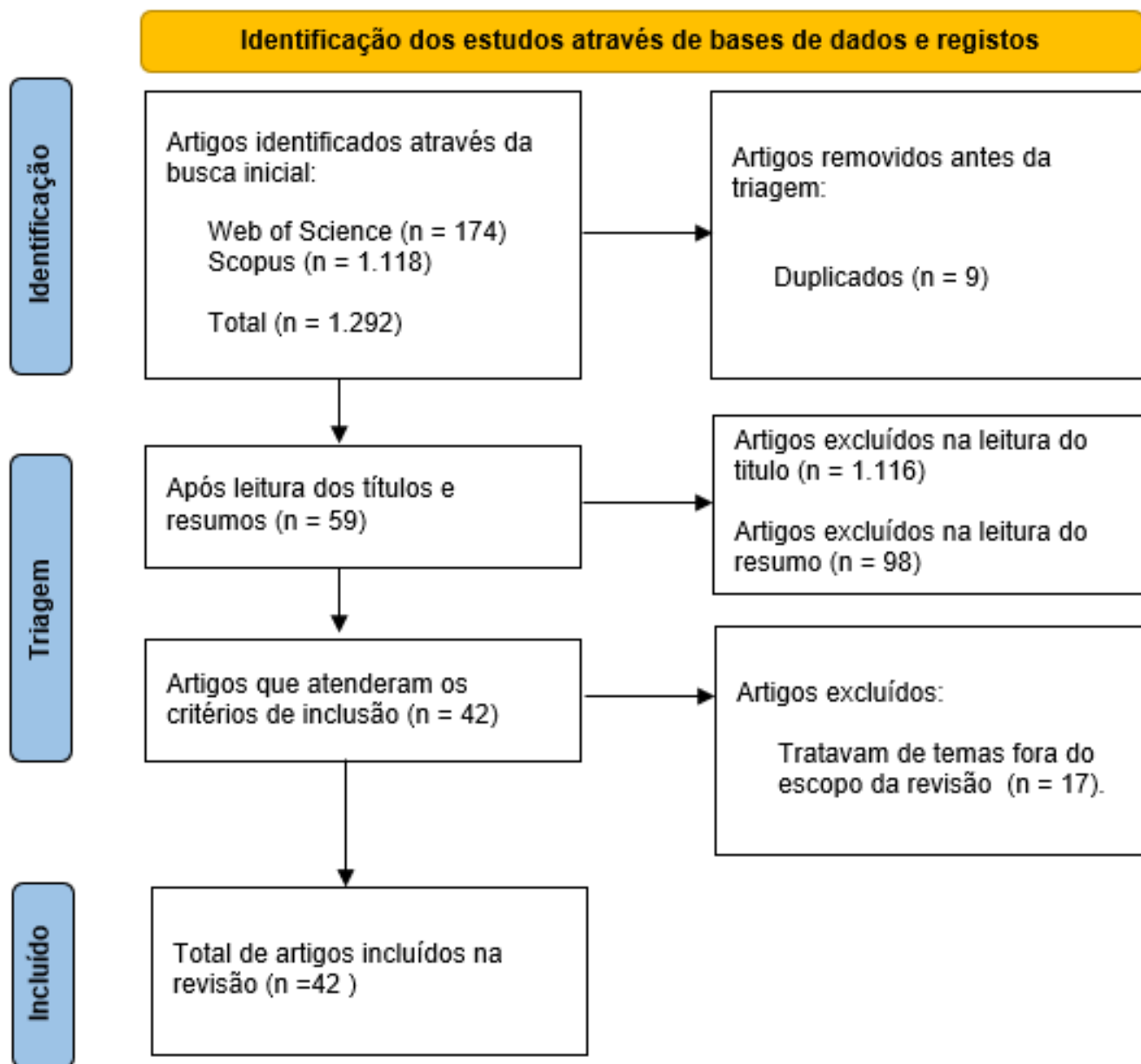
Caso os resultados levem à aceitação de H_0 , deve-se assumir que a produção científica não pode ser considerada um indicador de inserção da temática nas políticas de controle da qualidade da água para consumo humano, nem da vocação agrícola e nem do abuso no uso de agrotóxicos nos países em que está concentrada. Porém, se a hipótese correta for H_1 , assume-se que a produção científica pode ser um indicador da variável com a qual estiver correlacionada estatisticamente.

RESULTADOS

Análise bibliométrica e de conteúdo

A partir da revisão sistemática de literatura, foram selecionados um total de 42 artigos alinhados com o tema da pesquisa e aptos a passarem pela análise de conteúdo. Na Figura 1 estão representados de forma mais detalhada os resultados obtidos em cada etapa de triagem para a seleção dos estudos.

Figura 1. Resultados obtidos ao longo das etapas de triagem dos estudos na revisão sistemática de literatura.

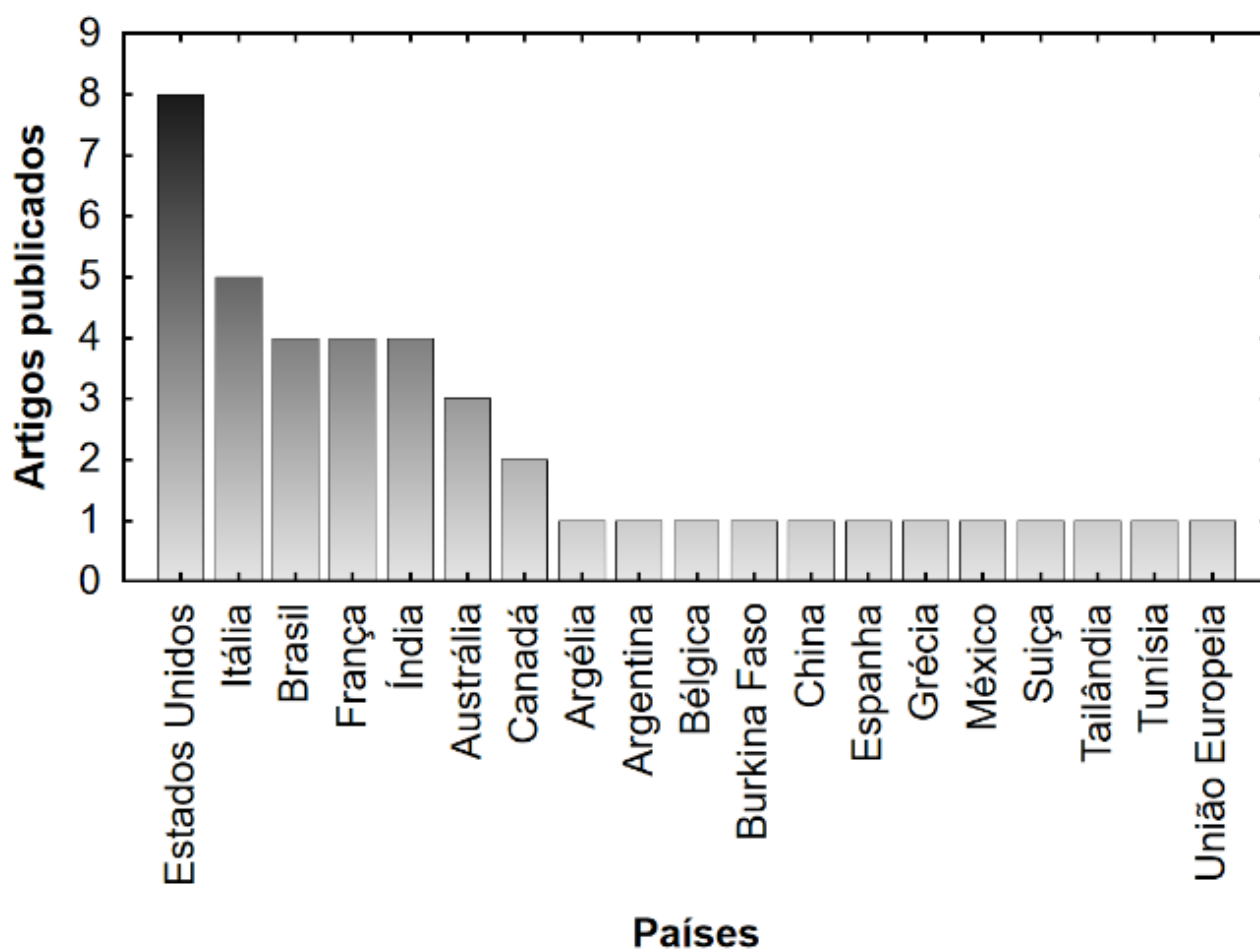


Fonte: Os autores, 2024.

Foi verificada um aumento das publicações nos últimos anos. Os anos de 2022 e 2023 foram aqueles com maior número artigos publicados (respectivamente, quatro e cinco artigos do total analisado). Os artigos analisados encontram-se distribuídos entre 18 países (Figura 2) e um abrange o território da União Europeia como um todo. Os Estados Unidos lideram o ranking de países com mais estudos, com oito artigos publicados, seguido pela Itália com cinco artigos. O Brasil, por sua vez, foi foco de quatro dos artigos selecionados, assim como a França e a Índia.

A Austrália e o Canadá apresentaram, respectivamente, três e dois artigos. Todos os demais países tiveram apenas um artigo publicado.

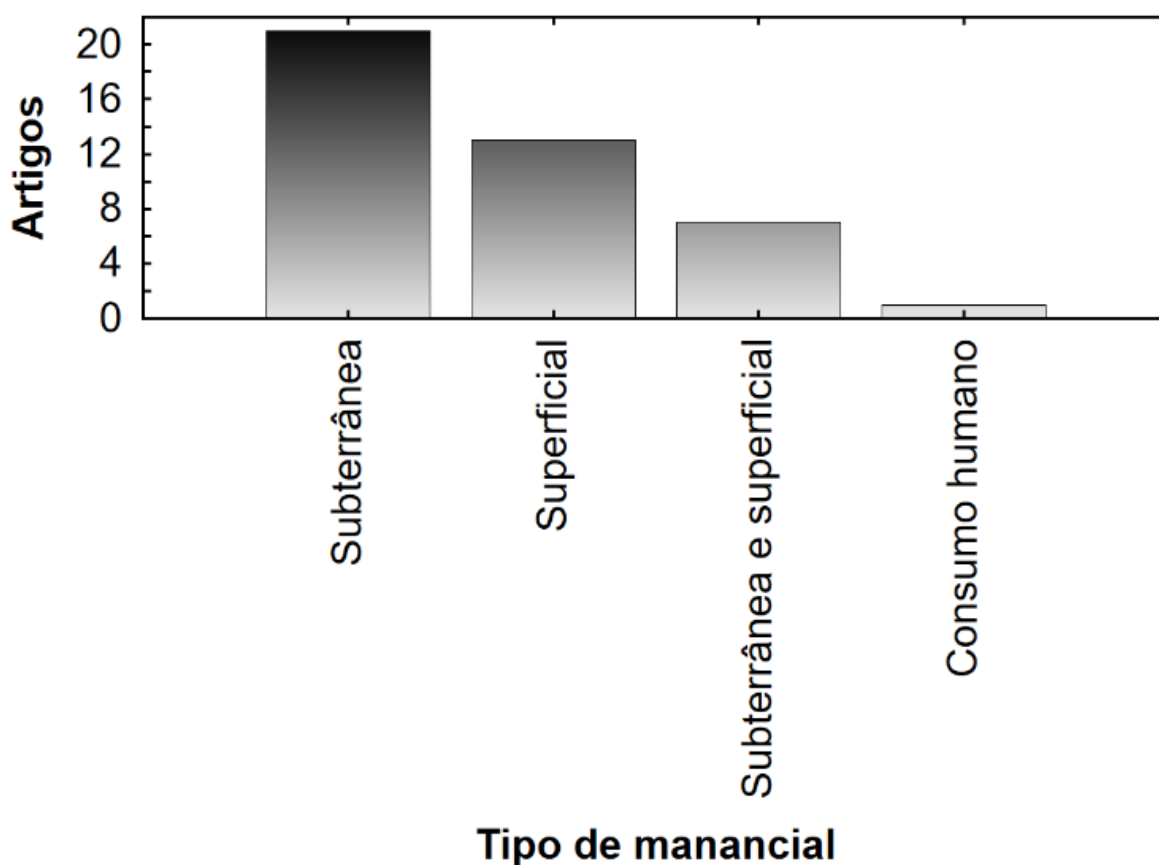
Figura 2. Número de artigos publicados por país, durante os anos de 2000 e 2023, conforme a revisão sistemática de literatura.



Fonte: Os autores, 2024.

Em relação ao tipo de manancial hídrico avaliado na análise, houve uma predominância de artigos relacionados ao risco de contaminação das águas subterrâneas por agrotóxicos (Figura 3). Um total de 21 artigos abordam apenas a contaminação da água subterrânea. Houveram, ainda, sete artigos onde foram consideradas as águas superficiais e subterrâneas ao mesmo tempo. As águas superficiais foram consideradas especificamente em 13 artigos.

Figura 3. Número de artigos publicados entre os anos de 2000 e 2023, agregados conforme o tipo de manancial hídrico considerado em suas análises.



Fonte: Os autores, 2024.

Quanto a inovação metodológica dos artigos, em 21 deles (50%), o método proposto era uma criação nova dos autores. Em 13 artigos, por sua vez, os autores propõem adaptações em métodos já existentes e, em outros oito artigos, são apenas aplicados métodos já propostos em outros trabalhos, sem adaptações. Outros 16 artigos apresentaram métodos que não possuíam uma nomenclatura específica.

Observa-se que o método DRASTIC é o mais recorrente. Ele foi aplicado em 8 artigos, sempre associado ao uso de SIGs (Manos *et al.*; 2010; Bera, Mukhopadhyay e Das, 2022; Saha e Alam, 2014; Dixon, Scott e Steele, 2013; Brindah e Elango, 2015; Taghavi *et al.* 2023; Dhaoui *et al.*, 2022; Cervantes-Servin *et al.*, 2023). Esses estudos foram realizados em áreas na Austrália, Tunísia, Índia, Estados Unidos e Grécia. Nos estudos realizados no Brasil, os métodos

empregados com nome identificado foram o *Gray Water Footprint* (Barreto et al.; 2020) e o Índice de Avaliação do Risco de Contaminação da Água (ARCA) (Weis et al., 2021).

Foram identificados um total de 80 variáveis consideradas para indicar o risco à contaminação hídrica por agrotóxicos nos artigos analisados. Na Figura 4, são representadas as variáveis mais recorrentes. Entre elas, cinco se destacam como as mais recorrentes, que são: a textura do solo, utilizada em 26 artigos; o uso do solo, em 19 artigos; a declividade, em 18 artigos; as propriedades físico-químicas dos agrotóxicos (consideradas de maneira unificada por não serem o foco do trabalho), em 17 artigos; e a profundidade do lençol freático, em 16 artigos.

Figura 4. Varáveis mais recorrentes entre os artigos publicados no período entre 2000 e 2023. A fonte em tamanho maior e a mancha em vermelho sugerem uma maior recorrência, a fonte menor e manchas mais claras sugerem menor recorrência.



Fonte: Os autores, 2024.

As variáveis socioeconômicas são o grupo com menor abrangência. A densidade demográfica é considerada em apenas dois artigos, enquanto o atendimento educacional, o desenvolvimento humano, o emprego, o isolamento linguístico, a pobreza, o preço da terra agrícola e a remuneração da mão de obra no campo são consideradas em apenas um artigo.

Essas variáveis são utilizadas apenas em Uzcategui-Salazar e Lillo (2023) e em Marwaha et al. (2021).

Análise estatística

Os dados obtidos na plataforma FAOstat nesta etapa do estudo estão descritos de maneira sintetizada na Tabela 1. A China foi o país com maior quantidade de vegetais produzidos pelo setor agrícola no ano de 2022 entre os países analisados, seguida pela Índia na segunda colocação. Os Estados Unidos foi o país com a terceira maior produção enquanto Brasil, Itália e França ocupam, respectivamente, a quarta, quinta e sexta colocações. É importante destacar que, para fins de melhor entendimento, França e Itália serão tratados como Europa, por fazerem parte da União Europeia e estarem sujeitos à legislação de controle da qualidade da água de consumo humano do bloco.

Em relação ao valor da produção agrícola, a Índia possui o maior valor naquele ano, seguida pela China na segunda colocação. O Brasil foi o terceiro país com o maior valor da produção. Estados Unidos, França e Itália apresentaram valores menores e ocupam, portanto, a terceira, quarta e quinta colocação no ranking, respectivamente.

Para o uso de agrotóxicos, os Estados Unidos lideram o ranking de toneladas aplicadas em 2022. A China, por sua vez, foi o segundo país com maior montante utilizado. França, Brasil, Índia e Itália ocupam, respectivamente, a terceira, quarta, quinta e sexta colocação.

Quanto ao número de menções das palavras-chave na política de qualidade da água para consumo humano, os Estados Unidos também lideram o ranking. O Brasil é o país com o segundo maior número de menções. A China é o terceiro país com mais menções. A Índia, a França e a Itália ocupam, respectivamente, a quarta, quinta e sexta colocação no ranking.

Tabela 1. Os cinco países com maior número de estudos publicados e seus respectivos montantes de vegetais produzidos, valor da produção agrícola, montante de agrotóxicos utilizados, e número de menções das palavras-chave em suas políticas de qualidade da água para consumo humano.

País	Número de estudos	Produção (ton)	Valor da produção (US dollar)	Uso de agrotóxicos (ton)	Número de menções
Estados Unidos	8	786.569	474.224.671	45.738.542	418
Itália	5	316.130	51.387.096	50.345	36
Brasil	4	346.082	1.134.072.052	719.507	92
Índia	4	9.292.831	41.198.972.112	617.019	38
França	4	231.579	69.653.268	6.960.242	36
China	1	23,550.220	16.55.044.796	2.3576.035	86
Média	5	2.194.638	8.585.661.840	10.817.131	124
Mediana	4	346.082	474.224.671	719.507	38
Total	25	10.973.191	42.928.309.199	54.085.655	620

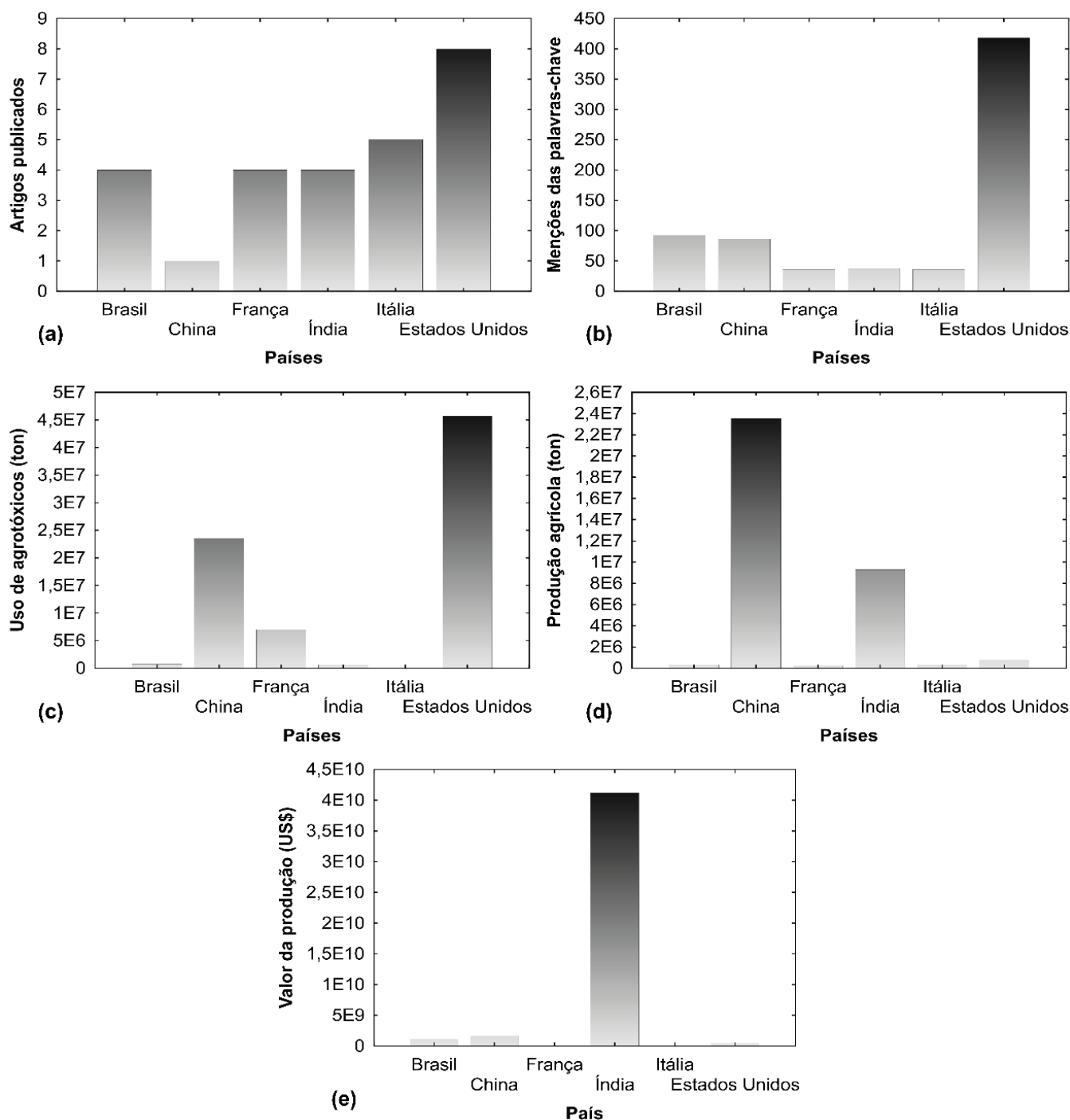
Fonte: Os autores, 2024; FAO, 2024.

Quanto ao número de menções de cada palavra-chave, verificou-se que “drinking water” (água para consumo humano) foi a palavra mais recorrente, sendo mencionada 548 vezes. Na política dos Estados Unidos, foi mencionada 395 vezes, 77 vezes na política brasileira, 42 vezes na política chinesa, 25 na política indiana e nove vezes na política da França e Itália (União Europeia). A palavra-chave “pesticide” (pesticida ou agrotóxico), com 38 menções foi a segunda no ranking. Houveram 16 menções desse termo na legislação da Itália e da França, 10 na política dos Estados Unidos, sete na política da Índia e cinco na política brasileira. A política chinesa não mencionou esse termo. A terceira palavra-chave mais recorrente foi “indicator” (indicador), que foi mencionada um total de 63 vezes. Ela foi mencionada 32 vezes na política da China, 10 vezes na política do Brasil e da União Europeia, sete vezes na política indiana e 4 vezes na dos Estados Unidos. As palavras-chave “index” (índice) e “map*” (mapa e derivados) foram as menos mencionadas. “Index” foi mencionada apenas 12 vezes na política da China e uma vez na política

da União Europeia, e “map*” apenas uma vez na política dos Estados Unidos. Todas as outras palavras-chave não foram mencionadas.

Na Figura 5, está representada a distribuição do número de artigos publicados, no número de menções das palavras-chave, do uso de agrotóxicos, da produção agrícola, e do valor da produção agrícola no Brasil, Estados Unidos, Índia, França e Itália. É possível observar a convergência dos valores máximos de algumas variáveis para alguns países. Os Estados Unidos, por exemplo, é o país com o maior consumo de agrotóxicos entre os países analisados e, também, o que possui mais artigos publicados e o maior número de menções das palavras-chave em sua política de controle da qualidade da água para consumo humano. A Índia, por sua vez, é o país com maior produção agrícola e, logicamente, maior valor da produção.

Figura 5. Distribuição do número de artigos publicados, no número de menções das palavras-chave, do uso de agrotóxicos, da produção agrícola e do valor da produção agrícola no Brasil, Estados Unidos, Índia, França e Itália.



Fonte: Os autores, 2024; FAO, 2024.

Entretanto, conforme o teste estatístico aplicado, não há correção estatisticamente significativa entre o número de estudos publicados e nenhuma das demais variáveis analisadas. Dessa forma, aceita-se a hipótese nula (H_0) de que não há correlação significativa entre a

produção científica; o nível de inserção da temática do uso de indicadores para avaliação do risco de contaminação hídrica por agrotóxicos no discurso político; a produção agrícola; o valor da produção agrícola; e o montante de agrotóxicos utilizados.

DISCUSSÃO

O maior número de artigos publicados foi observado no ano de 2023, isso pode sugerir que o tema tem ganhado maior visibilidade recentemente. O maior número de artigos com propostas metodológicas novas e adaptações de metodologias já existentes também demonstra que há inovação nessa área do conhecimento. Segundo Syeed *et al.* (2023), a rápida urbanização, o crescimento populacional e da demanda por água nas últimas décadas, associado a uma rede de saneamento limitada e um sistema de monitoramento inconsistente, tem exacerbado o debate sobre crises hídricas. Como resultado, houve um crescimento do interesse científico sobre o tópico dos testes de qualidade da água, monitoramento, e gestão de riscos, ocasionando um maior número de publicações. Entre os métodos e índices levantados no presente estudo, o modelo DRASTIC, sempre associado ao uso de SIG, foi o mais recorrente. Em uma revisão sobre índices de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas, Baig *et al.* (2024), também identificou o modelo como sendo o mais recorrente e precursor para diversos outros métodos mais recentes que modificaram e adaptaram sua estrutura inicial.

Os países com mais artigos publicados acerca do tema (Estados Unidos, Itália, Brasil, França e Índia) possuem grande expressão na produção agrícola e no consumo mundial de agrotóxicos. Segundo os dados da FAO, no cenário mundial, a Índia foi o segundo país com maior produção agrícola de vegetais em 2022, ficando atrás apenas da China. A terceira colocação no ranking global é ocupado pelos Estados Unidos. O Brasil, por sua vez, ocupou a 13ª colocação. Itália e França ocuparam, respectivamente, a 109ª e 115ª e colocações. Em relação ao uso de agrotóxicos, os Estados Unidos lideraram o ranking mundial em 2021. A China foi o país com terceiro maior consumo. A França ocupou a sétima colocação. O Brasil, naquele ano, ocupou a 31ª colocação, seguido pela Índia na 32ª. A Itália foi o 94º país consumidor de agrotóxicos em

2021. Juntos, os países foram responsáveis por 47% da produção agrícola mundial de vegetais em 2022 e de 32% do consumo mundial de agrotóxicos em 2021. Esse fato, reforça a importância do desenvolvimento de pesquisas científicas que busquem o avanço da gestão e controle dos riscos proveniente do uso desordenado de agrotóxicos em seus territórios.

A predominância de estudos focados em mananciais subterrâneos pode se dar ao fato dos países com mais estudos utilizarem, majoritariamente, este tipo de manancial hídrico. A água subterrânea é, de fato, um recurso crítico para a garantia da segurança hídrica global. Aproximadamente 97% das águas doces e líquidas do planeta estão concentradas em aquíferos subterrâneos (Hirata *et al.*, 2019). Segundo Katsanou e Karapanagioti (2017), em escala global, 20% da água utilizada para irrigação e 40% da água utilizada na indústria é proveniente de fontes subterrâneas. Ao verificar a situação dos países analisados a situação não é diferente. Nos Estados Unidos, 39% da água utilizada para abastecimento público e 48,5% da água utilizada para irrigação é subterrânea (Groundwater Association, 2020). No Brasil, 52% dos 5.570 municípios são abastecidos total (36%) ou parcialmente (16%) por águas subterrâneas. A irrigação no Brasil consome, sozinha, 24% do total de água subterrânea produzida (Hirata *et al.*, 2019). Na Índia, 61,6% da água utilizada para a irrigação é subterrânea, enquanto o abastecimento público consome apenas 9% do total de água subterrânea extraída no país (Suhag, 2016). Na França, aproximadamente 66% da água para abastecimento público e 41% da água para a agricultura vem de fontes subterrâneas (OCDE, 2022). Na Itália, a água subterrânea representa 24% do total de água consumida, mas considerando apenas os sistemas municipais de abastecimento público, temos um total de 50% da água fornecida proveniente de fontes subterrâneas (Comitê Nacional Italiano, 2015). Apenas a China entre os países estudados depende mais de mananciais superficiais do que subterrâneos (Zhang *et al.* 2023).

Em relação às variáveis ou parâmetros utilizados nos artigos, observa-se uma ampla gama de informações, com 80 variáveis levantadas. A grande diversidade de variáveis utilizadas nos trabalhos também foi observada por Uddin, Nash e Olbert (2021). Para Syeed *et al.*, (2023), o conjunto de variáveis considerados nos estudos tende a variar conforme o objetivo específico da análise. Além disso, os fenômenos a serem representados pelos indicadores ou índices, como no

caso do risco de contaminação hídrica por agrotóxicos, são compostos por inúmeros fatores naturais e antropogênicos que dependem da disponibilidade de dados para sua representação. Dessa forma, torna-se difícil definir um conjunto específico de variáveis capazes de expressar uma figura precisamente completa da realidade (Uddin, Nash e Olbert, 2021).

Em relação a temática das variáveis analisadas, observa-se que as variáveis socioeconômicas possuem uma baixa inserção nos artigos. Tendo em vista que a desigualdade social é latente em países menos desenvolvidos, dados socioeconômicos podem indicar, mesmo que indiretamente, um maior ou menor risco à exposição a agrotóxicos (Bortoloto *et al.*, 2020). Nesse ponto, o racismo ambiental é um exemplo claro, onde populações mais pobres ocupam áreas de maior risco, contam com sistemas de tratamento de água precários, com menor acesso a serviços de saúde pública e menos recursos para buscar a saúde privada (Silva Júnior, 2022). Portanto, ignorar variáveis socioeconômicas nesse tipo de análise pode acabar excluindo essa importante dimensão da sustentabilidade ambiental.

Estudos tem indicado a importância de fatores socioeconômicos na avaliação do risco de exposição de populações e a contaminação ambiental com agrotóxicos. De acordo com Oliveira-Silva *et al.* (2001), o nível de escolaridade é um fator limitante para o entendimento de informações técnicas relativas ao uso e manuseio seguro de agrotóxicos, desde o descarte adequado de embalagens vazias até o uso de equipamentos de proteção individual. Albuquerque *et al.* (2015) observou, inclusive, que as maiores taxas de morbidade e mortalidade por intoxicações com agrotóxicos no estado de Pernambuco, entre os anos de 2008 e 2012, concentraram-se em pessoas com baixo nível de escolaridade. Faria, Rosa e Facchini (2008), por sua vez, destacam que a escolaridade dos produtores rurais pode gerar um efeito protetor contra o risco de intoxicação e contaminação ambiental com agrotóxicos devido ao maior entendimento das orientações de manejo adequado. Por outro lado, Abreu e Alonzo (2016), destacam que não é adequado culpabilizar os trabalhadores rurais de baixa escolaridade, principalmente os agricultores familiares, pelos agravos decorrentes do mau uso de agrotóxicos. Conforme relatam os autores, a tecnologia agroquímica é projetada para utilização no contexto da agricultura industrial. Portanto, pequenos estabelecimentos familiares de produção agrícola não contam

com estrutura física, tecnológica e tampouco financeira para adotar medidas complexas de segurança.

A renda também é um fator limitante para a resiliência das populações à exposição a agrotóxicos. Pignati *et al.* (2022), identificou associação entre a recorrência de morbidades autoreferidas associadas à exposição a agrotóxicos e a baixa renda, ao entrevistar famílias de três municípios do estado do Mato Grosso. Segundo Tomasiello *et al.* (2021), apesar das populações de menor renda e cor negra terem mais acesso a estabelecimentos de saúde de atenção básica, existe marcantes desigualdades no acesso desses grupos a serviços de saúde de alta complexidade. No caso da intoxicação com agrotóxicos via água de consumo humano, onde muitos dos efeitos podem ocorrer de maneira crônica, dificilmente sendo associados à ingestão de água contaminada com essas substâncias (Ministério da Saúde, 2013), os indivíduos podem encontrar dificuldades para obter tratamento para possíveis cânceres, disfunções endócrinas, problemas psicológicos, entre outros efeitos decorrentes dessa exposição.

Dessa forma, é possível recomendar a inclusão de informações socioeconômicas nesse tipo de análise. Essa complementação pode trazer uma maior representatividade da realidade vivida pela população local, que será diretamente afetada pela contaminação hídrica. Através desse tipo de informação, podem ser identificadas outras vulnerabilidades que enfrentam aqueles que serão diretamente afetados pelos efeitos nocivos da contaminação hídrica por agrotóxicos. Vulnerabilidades essas que vão além da questão ambiental, agrícola ou hidrológica e que, como visto, podem limitar sua capacidade de buscar tratamento médico adequado, de buscar por água em fontes mais seguras ou por melhores condições de moradia. Justifica-se, desta forma, a proposição de um índice de risco de contaminação da água para consumo humano com agrotóxicos que considere, além das informações já observadas no presente estudo, dados socioeconômicos.

É importante destacar também alguns fatos a respeito das análises espaciais de risco de contaminação hídrica por agrotóxicos enquanto procedimento metodológico. A avaliação de risco de agrotóxicos, por si só, não é um processo fácil e totalmente preciso. Existe complexidade nas informações envolvidas, como o nível de exposição, o tipo de substância ou mistura utilizada,

e as características geográficas e meteorológicas da região, que variam grandemente e afetam diretamente a quantidade, a época e o modo de utilização dos agrotóxicos (Damalas e Eleftherohorinos, 2011). Conforme relatam Huston e Correll (2018), não existe um modelo único capaz de atender a diversidade de demandas dos usuários, uma vez que eles mesmos variam em capacidade de entendimento dos modelos e dos fatores químicos, físicos e biológicos inerentes do comportamento ambiental dos agrotóxicos. As dificuldades são basais pois, até mesmo a seleção dos indicadores para a avaliação depende de alguns fatores com a disponibilidade e validade de dados (Huston e Correll, 2018; Parween e Jan, 2019; Spânu *et al.*, 2022).

Com base nos resultados obtidos pela revisão sistemática é possível chegar a respostas para as perguntas que ela buscou responder. Observa-se que (i) a produção científica sobre índices e indicadores de risco de contaminação hídrica por agrotóxicos tem se concentrado em países com forte vocação agrícola, principalmente Estados Unidos, União Europeia (Itália e França), Brasil e a Índia. Temporalmente, a produção científica aumentou nos últimos anos (2022 e 2023). (ii) Os resultados demonstram que os artigos, apesar de considerarem as águas superficiais, têm focado, principalmente, em análises de risco de contaminação da água subterrânea. (iii) O modelo DRASTIC, associado a SIGs, é o mais utilizado nessas análises e, de modo geral, as variáveis mais consideradas nos trabalhos são relativas a critérios pedológicos, litológicos, hidrogeológicos e físico-químicos. Variáveis relacionadas a critérios socioambientais, entretanto, foram menos empregados. E (iv) as principais lacunas que podem, a princípio, justificar a proposição de um novo indicador ou índice espacial de risco de contaminação hídrica por agrotóxico é a limitação de informações prontamente disponíveis para o território brasileiro e, principalmente, a pouca inserção de aspectos socioeconômicos. No território brasileiro a indisponibilidade de dados ambientais complexos e a grande desigualdade social podem representar barreiras para a utilização dos modelos existentes. Assim, um método inovativo deverá ser capaz de integrar de variáveis socioeconômicas às análises e, ao mesmo tempo, simplificar os procedimentos necessários.

No que se refere à análise estatística realizada, a abordagem metodológica adotada no presente estudo não foi eficaz para apontar uma correlação estatisticamente significativa entre o número de artigos publicados e as demais variáveis. Portanto, a produção científica não pôde ser considerada como um indicador da inserção dessa temática nas políticas de controle da qualidade da água para consumo humano e nem mesmo da vocação agrícola ou do abuso do uso de agrotóxicos. A simples contabilização das menções das palavras-chave nas políticas considerando o número total de menções, sem uma triagem e avaliação das palavras mais recorrentes, pode não ter sido adequada para representar o nível de inserção da temática nas políticas. Como observado na apresentação dos resultados, palavras genéricas como “drinking water” (água para consumo humano) estiveram muito mais presentes que outras. Isso se deve ao fato de que as políticas focam na água para consumo humano e, naturalmente, esse é um termo recorrente apesar de não ter nenhuma relação direta com a temática de interesse. Ainda assim, mesmo que a análise estatística não indique correlação é possível observar uma convergência no caso dos Estados Unidos, que foi país com maior produção científica e, também, maior consumidor de agrotóxicos.

Por outro lado, palavras mais diretamente relacionadas ao objetivo, como as palavras-chave “indicator” ou “index” (indicador ou índice), foram pouco mencionadas para além da política da China. Assim, a repetição exacerbada de palavras sem conexão direta com a temática de interesse nas buscas acabou inflando o valor total de menções observadas. A pouca menção de palavras-chave relacionadas ao tema pode, contudo, indicar que esse ainda não é um tema que tem sido incluso nas políticas de proteção da qualidade da água para consumo humano. Isso pode sugerir que as propostas metodológicas disponíveis na literatura científica ainda não possuem um efeito importante no discurso político. Não é possível indicar as causas para isso. Contudo, é possível afirmar que o conflito de interesses e a interferência de setores econômicos tende a afetar diretamente o processo de formulação de políticas e a opinião dos tomadores de decisão (Porto, 2018; Hesker e Lepenies, 2022).

Sugere-se que em próximos estudos onde se apliquem a metodologia proposta, seja realizada uma triagem das palavras-chave, selecionando para realização das buscas nas

políticas apenas as palavras mais fortemente ligadas ao tema de interesse. Mas, apesar desse fator, é possível observar que, para os Estados Unidos, houve uma convergência entre o número de artigos publicados e a quantidade de agrotóxicos utilizados. Apesar de não ser possível afirmar que o maior número de estudos publicados possui relação direta com essas variáveis, é importante destacar o fato de que o país com mais estudos publicados foi o que mais utilizou agrotóxicos em 2022. Esse fato pode indicar que, em algum nível, a maior produção científica no país sobre a temática avaliada pode ser um reflexo da necessidade de buscar métodos para controlar do uso abusivo de agrotóxicos e gerenciar seu risco, assim como da necessidade de compreensão e debate sobre as determinações contidas em seu arcabouço legal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estão disponíveis diversos métodos para identificação da vulnerabilidade espacial de contaminação hídrica por agrotóxicos e o número de artigos publicados sobre esse tema tem crescido nos últimos anos. Os Estados Unidos se destacam como país com mais artigos publicados. As metodologias utilizadas podem variar no número e temática das variáveis utilizadas, conforme o objetivo a escala da análise. Foi constatada a predominância de análises que consideram a contaminação da água subterrânea e que utilizam variáveis sobre as características ambientais da área (principalmente a textura do solo e sua condutividade hidráulica, o uso do solo e a declividade da área) dados hidrológicos como a profundidade dos lençóis freáticos e a composição dos aquíferos, muitas vezes baseadas no modelo DRASTIC e no uso de SIG. Por outro lado, poucos estudos consideram informações de cunho socioeconômico como escolaridade, emprego, renda, isolamento linguístico e desenvolvimento humano.

A análise estatística empregada não foi capaz de confirmar a hipótese de que há correlação estatisticamente significativa entre o quantitativo de produção científica sobre métodos para identificação de áreas de risco ou vulneráveis à contaminação hídrica por agrotóxicos e a inserção dessa temática no discurso político sobre a proteção da qualidade da água para consumo humano. Também não foi identificada correlação significativa entre a produção científica sobre o

tema e a produção agrícola, o valor da produção ou o consumo de agrotóxico. Contudo, alguns pontos devem ser ressaltados. O primeiro deles é que foi verificada nas políticas uma baixa ocorrência de palavras-chave diretamente relacionadas ao tema em análise. Isso pode sugerir que a produção científica no assunto não tem refletido em uma inclusão desse tema no discurso político dos países avaliados. O segundo ponto é que, para os Estados Unidos, apesar do resultado estatístico, foi observada uma convergência entre a produção científica e o uso de agrotóxicos. O país com o maior consumo de agrotóxicos teve o maior número de artigos publicados. Isso pode ser um reflexo da necessidade de se buscar por maneiras de gerenciar os riscos provenientes do uso dessas substâncias.

Em relação a identificação de hipóteses que justifiquem a proposição futura de uma nova metodologia de análise espacial do risco da contaminação hídrica com agrotóxicos, duas podem ser exploradas com mais confiança. A primeira é a necessidade de que se incluam informações de cunho socioeconômico para que se construam métodos mais realistas e capazes de considerar fenômenos que vão além do meio ambiente físico. A segunda evidência é a complexidade e demanda de informações verificada nos métodos analisados. Muitas variáveis não estão prontamente disponíveis para municípios de pequeno porte e, quando disponíveis, não são de fácil acesso ao público leigo. Assim, um método inovador deve incluir informações socioeconômicas e, ao mesmo tempo, simplificar e adaptar os processos de análise à realidade brasileira. Para estudos futuros que repliquem a metodologia empregada neste artigo, sugere-se como refinamento metodológico a escolha de palavras-chave mais fortemente relacionadas ao tema em análise para busca nas políticas. Dessa forma, é possível evitar o efeito observado no presente estudo, onde a grande recorrência de palavras que não estão diretamente ligadas ao tema acabou inflando em alguns casos o total de menções das palavras-chave nas políticas sem, necessariamente, refletir alguma diferença importante.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de doutorado sob o processo nº 88887.683678/2022-00 e ao CNPq Processo no. 423.287/2021-4, que foram imprescindíveis para a realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABREU, P. H. B.; ALLONZO, H. G. A. O agricultor familiar e o uso (in)seguro de agrotóxicos no município de Lavras/MG. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, vol. 41, p. 1-12, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2317-6369000130015>.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS – US EPA. **Safe drinking water act**. Disponível em: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CPRT-106SPRT67528/pdf/CPRT-106SPRT67528.pdf>. Acesso em: 15 de jul. 2024.

AGGARWAL, R.; RANGANATHAN, P. Common pitfalls in statistical analysis: the use of correlations techniques. **Perspectives in Clinical Research**, vol. 7, p. 187-190, 2019. DOI: 10.4103/2229-3485.192046.

ALBUQUERQUE, P. C. C.; GURGEL, I. G. D.; GURGEL, A. M.; AUGUSTO, L. G. S.; SIQUEIRA, M. T. Sistemas de informação em saúde e as intoxicações em Pernambuco. **Rev Bras Epidemiol**, vol. 18, p. 666-678, 2015. DOI: 10.1590/1980-5497201500030012.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA – NGWA. **Groundwater use in the United States of America**. 2020. Disponível em: https://www.ngwa.org/docs/default-source/default-document-library/groundwater/usa-groundwater-use-fact-sheet.pdf?sfvrsn=5c7a0db8_4. Acesso em: 15 de jul. 2024.

BAIG, F.; SHERIF, M.; SEFALNASR, A.; FAIZ, M. A. Groundwater vulnerability to contamination in the gulf cooperation council region: a review. **Groundwater for Sustainable Development**, vol. 23, 101023, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101023>.

BARRA, R.; VIGHI, G.; MAFFIOLI, G.; GUARDO, A. D.; FERRARIO, P. Coupling SoilFug model and GIS for predicting pesticide pollution of surface water at watershed level. **Environ. Sci. Technol.**, vol. 34, p. 4425-4433, 2000.

BARRETO, M. L. P. et al. Gray water footprint assessment for pesticide mixtures applied to a sugarcane crop in Brazil: a comparison between two models. **Journal of Clean Production**, vol. 276, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124254>.

BERA, A.; MUKHOPADHAYAY, B. P. DAS, S. Groundwater vulnerability and contamination risk mapping of semi-arid Tokto river basin, India using GIS-based DRASTIC model and AHP techniques. **Chemosphere**, vol. 307, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135831>.

BORTOLOTTI, C. C.; HIRSCHMANN, R.; MARTINS-SILVA, T.; FACCHINI, L. A. Pesticide exposure: a population-based study in a rural area in southern Brazil. **Rev Bras Epidemiol**, vol. 23, p. 1-11, 2020. DOI: 10.1590/1980-549720200027.

BOULOMITYS, V. T. G.; BRESAOLA JUNIOR, R. Problemática no uso da terra e no manejo agrícola da bataticultura em Bueno Brandão, MG. **Soc. Nat.**, vol. 25, p. 303-3016. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000200008>.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888 de 04 de maio de 2021**. Brasília, 2021

BRINDHA, K.; ELANGO, L. Cross comparison of five popular groundwater pollution vulnerability index approaches. **Journal of Hydrology**, vol. 524, p. 597-613, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.003>.

BROVINI, E. M.; QUADRA, G. R.; PARANAÍBA, J. R.; CARVALHO, L.; PEREIRA, R. O.; AQUINO, S. F. Occurrence and environmental risk assessment of 22 pesticides in Brazilian freshwaters. **Aquatic Toxicology**, 260, 106566, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2023.106566>.

CERVANTES-SERVIN, A. I.; ARORA, M.; PETERSON, T. J., PETTIGROVE, V. Seasonal estimation of groundwater vulnerability. **Scientific Reports**, vol. 13, 2023. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36194-1>.

COMISSÃO INTERNACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM – ICID. **Groundwater in Italy**. Disponível em: https://www.icid.org/v_italy.pdf. Acesso em: 15 de jul. 2024.

CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. **Diretiva (EU) 2020/2184 relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano (reformulação)**. Parlamento Europeu, 2020. Disponível em:

https://eur-lex.europa.eu/legal_content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184&from=EL.

Acesso em: 15 jul. 2023.

DAMALAS, C. A.; ELEFTHETOHORIONOS, I. G. Pesticide, exposure, safety issues, and risk assessment indicators. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, 8, p. 1402- 1419, 2011.

DOI:10.3390/ijerph8051402.

DARTHIER, J.; EFFENBERGER, A. Agriculture and development: a brief review of the literature.

Economic Systems, vol. 36, p. 175-205, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2011.09.003>.

DEMORTAIN, D. Expertise, regulatory Science and the evaluation of technology and risk: introduction to the special issue. **Minerva**, vol. 55, p. 139-159, 2014.

<https://doi.org/10.1007/s11024-017-9325-1>.

DHAOUI, O., ANTUNES, I. M. H. R., AGOUBI, B.; KHARROUBI, A. Integration of water contamination indicators and vulnerability indices on groundwater management in Menzel Habib area, South-eastern Tunisia. **Environmental Research**, vol. 205, 2022.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112491>.

DIXON, B.; SCOTT, H. D.; STEELE, K. F. Prediction of aquifer vulnerability to pesticides using fuzzy rule-based models at the regional scale. **Physical Geographic**, vol. 23, n. 2, p. 130-153, 2013.

DOI: 10.2747/0272-3646.23.2.130.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA – FAO (2023). **FAOSTAT**. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/>. Acesso em: 29 de jun. 2024.

FARIA, N. M. X.; ROSA, J. A. R.; FACCHINI, L. A. Intoxicações por agrotóxicos entre trabalhadores rurais de fruticultura, Bento Gonçalves, RS. **Rev Saúde Pública**, vol. 43, p. 335-344, 2009.

GABINETE DE NORMAS INDIANO – GNI. **Indian Standard 10500**. 2012. Disponível em:

<https://law.resource.org/pub/in/bis/S06/is.10500.2012.pdf>. Acesso em: 15 de jul. 2024.

GOMES, F. B. R.; ASSUNÇÃO, T. O. G.; DIAS, A. C. L.; CASTRO, S. R.; BRANDT, E. M. F.; PEREIRA, R. O. Assessment of exposure to simazine through drinking water in Brazil. **Environmental Advances**, 11, 100336, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100336>.

HIRATA, R.; SUHOGUSTOFF, A.; MARCELLINI, S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo, SP: Universidade de São Paulo, 2019. DOI: 10.11606/9788563124074.

HUSTON, J.; CORRELL, R. Easy to use pesticide fate/effects models and statistical tools. In: MAESTRONI, B.; CANNAVAN, A. **Integrated analytical approaches for pesticide management**. Elsevier, p. 185-196, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816155-5.00012-9>.

JANUZZI, P. M. **Indicadores sociais no Brasil: conceitos, fontes de dados e aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: Alínea, 2014. 162p.

JUNG, D.; JEONG, D.; LEE, H. Endocrine disrupting potential of selected azole and organophosphorus pesticide products through suppressing the dimerization of human androgen receptor in genomic pathway. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 247, 114246, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114246>.

KATSANOOU, K.; KARAPANAGIOTI, H. K. Surface water and groundwater sources for drinking water. In: GIL, A.; GALEANO, L. A.; VICENTE, M. A. **Applications of advanced oxidation processes (AOPs) in drinking water treatment**. Springer Nature, p. 1-19, 2019. DOI: 10.1007/698_2017_140.

KOOKANA, R. S.; OLIVER, D. P. Environmental risk indicators: their potential utility in pesticide risk management and communication. In: MAESTRONI, B.; CANNAVAN, A. **Integrated analytical approaches for pesticide management**. Elsevier, p. 197-206, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816155-5.00013-0>.

LI, Z.; JENNINGS, A. Global variations in pesticide regulations and health risk assessment of maximum concentration levels in drinking water. **Journals of environmental management**, vol. 212, p. 384-394, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.083>.

MANOS, B.; PAPATHANASIOU, J.; BOURNARIS, TH.; VOUDOURIS, K. A multicriteria model for planning agricultural regions within a context of groundwater rational management. **Journal of Environmental Management**, vol. 91, p. 1593-1600, 2010. doi:10.1016/j.jenvman.2010.03.002.

MARWAHA, N.; KOURAKOS, G.; LEVINTAL, E.; DAHLKE, H. E. Identifying agricultural managed aquifer recharge locations to benefit drinking water supply in rural communities. **Water Sources Research**, 57, 3, 2021. DOI: 10.1029/2020wr028811.

MENDES, S. A. F.; SILVA JÚNIOR, M. F. Percepção de risco no uso de agrotóxicos na produção de tomate do distrito de nova matrona, salinas, Minas Gerais. **Caminhos de Geografia**, vol. 12, p. 226-244, 2011.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Documento orientador para a implementação da vigilância em saúde de populações expostas a agrotóxicos**. Brasília, DF: Secretaria de Vigilância em Saúde, 2013. Disponível em: Microsoft Word-Documento orientador Vig Pop Agrotox_Vigipeq_completo2013.doc (fiocruz.br). Acesso em: 08 de jul. 2024.

MÖHRING, N.; INGOLD, K.; KUDSK, P.; MARTIN-LAURENT, F.; NIGGLI, U.; SIEGRIST, M.; STUDER, B.; WALTER, A.; FINGER, R. Pathways for advancing pesticide policies. **Nature Food**, vol. 1, p. 535-540, 2020. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00141-4>.

OLIVEIRA-SILVA, J. J.; ALVES, S. R.; MEYER, A.; PEREZ, F.; SARCINELLI, P. N.; MATTOS, R. C. O.; MOREIRA, J. C. Influência de fatores socioeconômicos na contaminação por agrotóxicos, Brasil. **Rev Saúde Pública**, vol. 35, p. 130-135, 2001.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO – OCDE. **Environmental Performance Review – France 2021**. 2022. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-environmental-performance-reviews_19900090. Acesso em: 15 de jul. 2024.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **Research Methods and Reporting**, vol. 372, n. 71, p. 1-9, 2021. <http://dx.doi.org/10.1136/bmj.n71>.

PARWEEN, T.; JAN, S. **Ecophysiology of Pesticides**, Academic Press, 2019. 332 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2018-0-01377-8>.

PIAGNATI, W. A.; SOARES, M. R.; LARA, S. S.; LIMA, F. A. N. S.; FAVA, N. R.; BARBOSA, J. R.; CORRÊA, M. L. M. Exposição aos agrotóxicos, condições de saúde autorreferidas e vigilância popular em saúde de municípios mato-grossenses. **Saúde Debate**, vol. 46, p. 45-61, 2022. DOI: 10.1590/0103-11042022E203.

PORTO, M. F. S. The Tragic "poison package": lessons for brazilian society and public health. **Cadernos de Saude Publica**, vol. 34, p. 1-5, 2018.

RANI, T. S.; NADENDLA, S. R.; BARDHAN, K.; MADHUPRAKASH, J.; PODILE, A. R. Chitosan conjugates, microspheres, and nanoparticles with potential agrochemical activity. In: PRASAD, M. N. V. **Agrochemicals detection and treatment and remediation**. Elsevier, p. 437-464, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00017-9>.

REPÚBLICA POPULAR DA CHINA. **GB 5749-2022. Substitui a GB 5749-2006**. 2022.

SAHA, D.; ALAM, F. Groundwater vulnerability assessment using DRASTIC and Pesticide Drastic models in intense agriculture area of the Gangetic planis, India. **Environmental Monitoring Assessment**, vol. 186, p. 8741-8763, 2014. DOI 10.1007/s10661-014-4041-x.

SAXENA, R.; JOSHI, A.; JOSHI, S.; BORKOTOKY, S.; SINGH, K.; RAI, P. K.; MUEED, Z.; SHARMA, R. The role of artificial statregies to mitigate abiotic stress and climate change in crop production. In: **Visualization techiniques for climate changes with machine learning and artificial intelligence**. Elsevier, 2022. p. 273-293. DOI: <https://doi.org/10.1016/C2021-0-01946-5>.

SHELDON, L. S. Exposure framework. In: KRIEGER, R. **Haye's handbook of pesticide toxicology**. Elsevier, p. 971-976, 2010.

SILVA JUNIOR, M. V. Os agrotóxicos são racistas? Uma análise crítica sobre o racismo ambiental no Brasil. **Trabalho de conclusão de curso** (Licenciatura em Educação do Campo). Santo Antônio de Pádua: UFF, 2022.

SOUZA, C. **Políticas públicas: conceitos, tipologias e sub-áreas**. Salvador, BA: Fundação Luís Eduardo Magalhães, 2002. Disponível em <https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/3843/material/001-%20A-%20POLITICAS%20PUBLICAS.pdf>. Acesso em: 12 de jul. 2024.

SPÂNU, I.; OZUNU, A.; PETRESCU, D. C.; PETRESCU-MAG, R. M. A comparative view of agri-environmental indicators and stakeholders' assessment of their quality. **Agriculture**, 12, 490, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12040490>.

SUHANG, R. **Overview of groundwater in India**. 2016. Disponível em: https://prsindia.org/files/policy/policy_analytical_reports/1455682937--Overview%20of%20Ground%20Water%20in%20India_0.pdf. Acesso em: 15 de jul. 2016.

SWARTJES, F. A.; VAN DER AA, M. Measures to reduce pesticides leaching into groundwater-based drinking water resources: an appeal to national and local governments, water boards and frames. **Science of the total environment**, vol. 699, 134186, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134186>.

SYEED, M. M.; HOSSAIN, M. S.; KARIM, M. R.; UDDIN, M. F.; HASAN, M.; KHAN, R. H. Surface water quality profiling using the water quality index, pollution index and statistical methods: a critical review. **Environmental and Sustainability Indicators**, vol. 18, 100247, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100247>.

TAGHAVI, N.; NIVEN, R. K.; KRAMER, M.; PAULL, D. J. Comparison of DRASTIC and DRASTICL groundwater vulnerability of the Burdekin Basin, Queensland, Australia. **Science of the Total Environment**, vol. 858, 2023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159945>.

TOMASIELLO, D. B. ; BAZZO, J.; PARGA, J.; SERVO, L. M.; PEREIRA, R. H. M. **Desigualdades raciais e de renda no acesso à saúde nas cidades brasileiras**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 35 p., 2021.

UDDIN, M. G.; NASH, S.; OLBERT, A. I. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. **Ecological Indicators**, vol. 122, 107218, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>.

UZCATEGUI-SALAZAR, M.; LILLO, J. Assessment of social vulnerability to groundwater pollution using K-means cluster analysis. **Environmental Science and Pollution Research**, 30, 14975-14992, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22810-6>.

VALLETE, A.; WEISS, K.; RATEAU, P.; ROING, B. Chemistry and psychology: cross views on pesticide risk. In: ROING, B.; WEISS, K.; THIREAU, V. **Management of emerging public health issues and risks**. Elsevier, p. 225-242, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813290-6.00009-3>.

WEIS, M. G. et al. Aplicação do índice de avaliação do risco de contaminação da água por pesticidas (ARCA) com uso de sensoriamento remoto. **Anuário do Instituto de Geociências**, vol. 44, 2021. https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_41262.

ZANCHI, M. M.; MARINS, K.; ZAMONER, A. Could pesticide exposure be implicated in the high incidence rates of depression, anxiety and suicide in farmers? A sistematic review. **Environmental Pollution**, 331, 121888, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121888>.

ZENGİN, Z.; KARACA, O. A bliometric analysis of academic publications about intoxication in the period from 1975 to 2020: a global and medical view. **Osmagazi Journal of Medicine**, vol. 44, p. 148-161, 2022. DOI: 10.20515/otd.993562.

ZHANG, F.; ZHANG, Q.; LIU, X.; GAO, M.; LI, X.; WANG, Y.; CHANG, Y.; ZHANG, X.; HUO, Z.; ZHANG, L.; SHAN, J.; ZHU, B.; YAO, W. Human sérum lipidomics analysis revealed glyphosate may lead to lipid metabolism disorders and health risk. **Environment International**, 171, 107682, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107682>.

ZHANG, Y.; DENG, J.; QUIN. B.; ZHU, G.; ZHANG, Y.; JEPPENSEN, E.; TONG, Y. Importance and vulnerability of lakes and reservoirs supporting drinking water in China. **Fundamental Reserach**, vol. 3. n. 2. P. 265-273. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2022.01.035>