



IV-529 - AVALIAÇÃO BIBLIOMÉTRICA DE ESTUDOS SOBRE AGROTÓXICOS EM ÁGUA E SEDIMENTOS EM AMBIENTES AQUÁTICOS NA ÚLTIMA DÉCADA

Francine Carvalho Gontijo⁽¹⁾, Isabela da Silva Pedro Rochinha⁽²⁾, Aníbal da Fonseca Santiago⁽³⁾

⁽¹⁾Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Engenheira Química pela Universidade Federal de São João Del Rei. Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP).

⁽²⁾Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Mestre em Engenharia de Biosistemas pela Universidade Federal Fluminense. Doutoranda em Engenharia Ambiental pela UFOP.

⁽³⁾Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Doutor em Engenharia civil pela Universidade Federal de Viçosa. Professor adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da UFOP.

Endereço⁽¹⁾: Campus Universitário Morro do Cruzeiro - Bauxita, Ouro Preto - MG, 35402-173- Brasil - Tel: (31) 98696-3904 e-mail: francine.gontijo@aluno.ufop.edu.br

RESUMO

O estudo visou realizar um levantamento bibliométrico sobre o uso de agrotóxicos no Brasil e no mundo, identificando aqueles comumente presentes em análises de água superficial de rios e sedimentos. A pesquisa utilizou dados da *Web of Science*TM, focando em literatura primária entre 2014 e 2023, utilizando *strings* de busca como "pesticide", "river", "surface water" e "sediment", juntamente com as aspas duplas. Foram identificados 296 materiais bibliográficos, dos quais, após a remoção de duplicatas, restaram 293 artigos. A análise foi conduzida usando os softwares *VOSviewer*® e *Microsoft Excel*® para organização e visualização dos dados. A análise revelou uma média de 29,3 publicações por ano. As principais palavras-chave incluíam herbicidas, sedimento e pesticidas organoclorados. As cinco instituições que mais publicaram foram a Academia Chinesa de Ciências, Universidade Benin, Instituto Nacional de Pesquisa em Ciência e Tecnologia para o Meio Ambiente e a Agricultura (IRSTEA), Universidade Putra Malásia (UPM), Universidade da Costa Rica, respectivamente. Os países líderes em publicações foram China, Estados Unidos, Brasil, França e Inglaterra, sucessivamente. Observou-se uma tendência de crescimento nas pesquisas sobre monitoramento de agrotóxicos em rios, com destaque para pesticidas proibidos como pesticidas organoclorados (OCP), Dicloro-Difenil-Tricloroetano (DDT) e Hexaclorociclohexano (HCH) devido à sua persistência ambiental. A pesquisa evidenciou que os trabalhos desta temática têm uma tendência a colaboração e está em expansão, envolvendo muitos autores e instituições. A partir dos resultados descritos, destaca-se a necessidade de práticas agrícolas mais sustentáveis e a preservação dos recursos hídricos. Sugere-se uma análise mais aprofundada para entender os padrões de contaminação e desenvolver soluções inovadoras para mitigar os impactos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Pesticida, Análise bibliométrica, Estatísticas mundiais, Água superficial, Sedimentos, Rio.

INTRODUÇÃO

O avanço constante do desenvolvimento socioeconômico tem impulsionado a expansão agrícola, uma vez que há um aumento na demanda por alimentos. O crescente uso do solo para atividades agropecuárias tem gerado considerável apreensão, devido aos impactos negativos provocados pela contaminação por substâncias químicas (EMBRAPA, 2018; RIBEIRO, 2011).

Essas substâncias, também conhecidas como defensivos agrícolas, agrotóxicos, pesticidas ou praguicidas, são produtos que agem em processos físicos, químicos ou biológicos que visam alterar a composição da flora ou fauna, com o propósito de protegê-las contra os efeitos prejudiciais de organismos nocivos, como: insetos, fungos e ervas daninhas. As plantações são expostas a esses produtos buscando aumentar a produtividade, porém acarretam inúmeros desafios ambientais, especialmente quando vinculada à



exploração inadequada do ecossistema e dos recursos hídricos naturais. (SILVA e COSTA, 2011; BRASIL, 2002).

Independente da forma de aplicação, os pesticidas possuem considerável potencial para contaminar corpos d'água, pois tem capacidade de transmissão a longas distâncias, podendo ser transportados pelo vento como aerossóis ou pela água das chuvas, além de possuir alta resistência à degradação, toxicidade para organismos não-alvo, incluindo seres humanos, animais e o meio ambiente, e bioacumulação em condições ambientais propícias (TODESCHINI, 2013; CETESB, 2018).

Os pesticidas podem chegar aos corpos d'água por origens diversas, como escoamento superficial, erosão do solo, drenagem urbana e dispersão durante a aplicação. Segundo Syeed et al. (2023) a vigilância constante e o controle da qualidade das águas superficiais são prioridades para todos os países, pois, além de auxiliar no controle da poluição hídrica, proporcionam uma base sólida para orientar o planejamento do uso sustentável dos recursos hídricos (REICHENBERGER et al., 2007).

Investigações voltadas para a compreensão do destino desses compostos, e dos efeitos que eles podem ocasionar em organismos não-alvos se intensificaram, e mostram as tendências globais, quanto a pesticidas estudados, além de países, instituições e autores responsáveis pelas pesquisas. Mas ainda exigem ampliação, a fim de se obter uma compreensão mais aprofundada, fornecendo as informações essenciais para iniciar a avaliação da qualidade da água.

OBJETIVO

Objetivou-se com esse estudo realizar um levantamento bibliográfico a fim de obter dados acerca dos agrotóxicos amplamente utilizados no Brasil e no mundo, comumente identificados em análises de amostras de água superficial de rios e/ou sedimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se um levantamento bibliográfico obtido do banco de dados da coleção principal da *Web of Science (WoS)* visando reunir referências relacionadas a agrotóxicos encontrados em águas superficiais de rios em todo o mundo. Foram coletados exclusivamente literaturas com dados primários no período de 2014 a 2023, com o propósito de apresentar uma evolução mais recente nesta área de pesquisa, pois os dados dependem de vários fatores que podem variar ao longo dos anos, como mudanças nas práticas agrícolas, regulamentações ambientais, novas tecnologias e preocupações com a segurança alimentar e ambiental (MORAES, 2019).

Foram utilizadas, juntamente com as aspas duplas, a fim de ajudar a identificar as consultas como cláusulas, as seguintes *strings* de pesquisa: “*pesticide*”, para englobar os diversos tipos procurados, permitindo a avaliação de uma ampla variedade de agrotóxicos, associado com “*river*” e “*surface water*” através do operador booleano “*AND*” e com “*sediment*” através do operador booleano “*OR*”, para entender a dispersão desses pesticidas, na água e no sedimento, em direção aos rios. Isso porque, segundo Milhome et al. os pesticidas possuem alto risco de contaminação em águas superficiais, que são águas encontrados em rios, riachos, lagos, pântanos e mares, uma vez que podem ser transportados, dissolvidos em água ou associados ao sedimento (FERREIRA, 2017).

Foram identificados 296 materiais bibliográficos que continham as palavras-chave em seus títulos ou resumos. Inicialmente, foi feita a remoção de duplicidades, por meio da análise do título e resumo e outros elementos relevantes presentes nos estudos. Após eliminação das duplicatas, restaram 293 artigos, nos quais foram realizadas as avaliações dos dados em relação às palavras-chave, autores, regiões e instituições.

Para realizar a investigação bibliométrica foram utilizados softwares *VOSviewer® 1.6.20* e o *Microsoft Excel® 365*. O *VOSviewer®* é um software que permite uma análise detalhada dos mapas bibliométricos, podendo ser exibidos de várias maneiras, destacando aspectos como sua apresentação gráfica de alta qualidade, eficiência em processar grandes conjuntos de dados e a versatilidade em lidar com diversos formatos e bancos de dados (VAN ECK e WALTMAN, 2010).

A incorporação dessas ferramentas possibilita a coleta, organização e visualização eficientes de dados de pesquisa, proporcionando uma visão completa dos antecedentes, tópicos e estruturas de conhecimento na área. Essa abordagem facilita a identificação de tendências de pesquisa futuras (VAN ECK e WALTMAN, 2010).

RESULTADOS

O levantamento de documentos resultou em 293 artigos (Figura 1), entre os anos de 2014 e 2023, com uma média de 29,3 publicações por ano, dos quais 52,2% foram publicados entre 2020 e 2023. Essas literaturas geraram um total de 8.813 palavras-chave, sendo 1.454 autores, 580 instituições e 63 países envolvidos, indicando uma ampla gama de temas abordados nessa área em expansão.

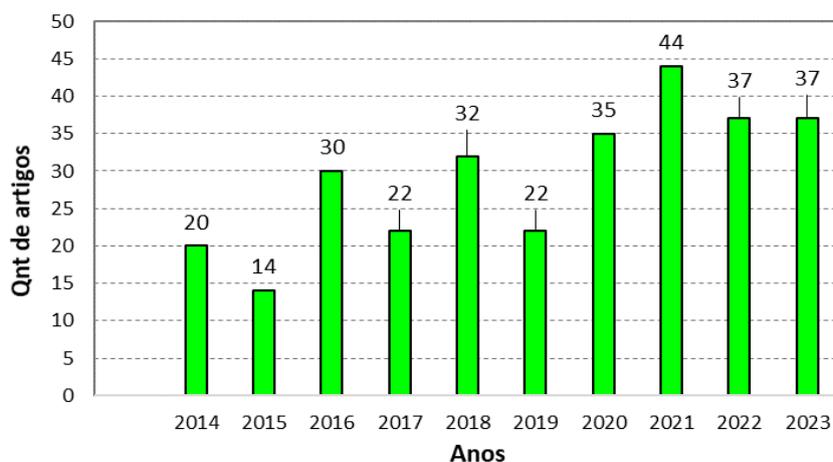


Figura 1: Distribuição das publicações por ano.

Este estudo utilizou estatísticas de frequência de palavras do *VOSviewer*®, considerando palavras-chave com frequências acima de 50 como alta. Foram obtidas 27 palavras-chave de alta frequência (Figura 2), entre elas herbicidas, sedimento, pesticidas organoclorados e outras. O tamanho dos nós reflete a frequência das palavras-chave, enquanto as linhas de conexão e os agrupados de cores indicam relações de coocorrência e alta interação entre palavras-chave.

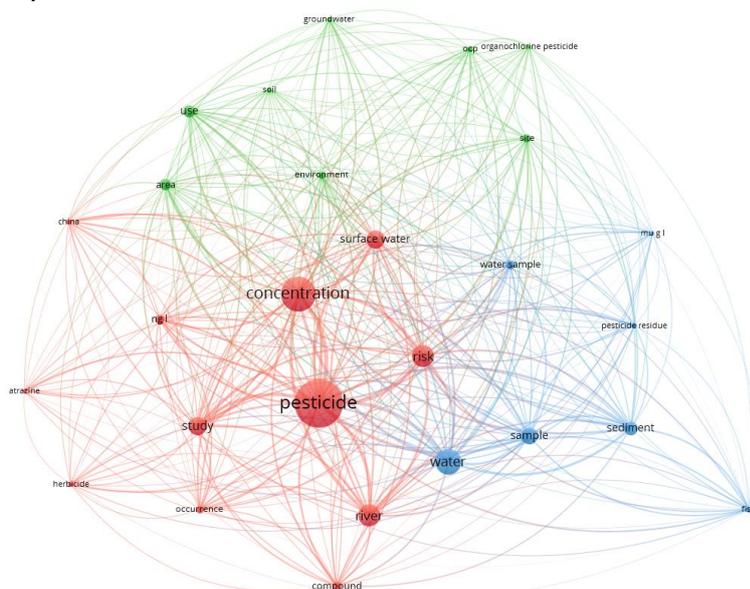


Figura 2: Mapa de frequência de palavras.



Dos resultados de frequência das palavras-chave foram selecionados os principais pesticidas estudados (Tabela 1). Deles destacaram-se, como os de maior relevância, os pesticidas Hexaclorociclohexano (HCH), Dicloro-Difenil-Tricloroetano (DDT) e compostos organoclorados (OCP).

Tabela 1: principais tipos de pesticidas encontrados nas pesquisas.

Palavra chave	ocorrências
Pesticida	833
pesticidas organoclorados (OCP)	147
Dicloro-Difenil-Tricloroetano (DDT)	90
Herbicidas	79
Endosulfan	60
Atrazina	58
Inseticidas	58
fungicidas	54
Clorpirifós	50
Diazinona	43
Diurion	42
Hexaclorociclohexano (HCH)	38

Realizou-se, também, uma avaliação das principais instituições, países e autores, e suas relações colaborativas, que estão envolvidas em pesquisas relacionadas ao monitoramento de agrotóxico em rios.

Destacaram-se as cinco instituições com o maior número de publicações: Academia Chinesa de Ciências (20), Universidade Benin (7), Instituto Nacional de Pesquisa em Ciência e Tecnologia para o Meio Ambiente e a Agricultura (IRSTEA) (6), Universidade Putra Malásia (UPM) (5), Universidade da Costa Rica (5), respectivamente. Essas cinco instituições responderam por um total de 43 artigos publicados no período de 2016 a 2020.

Um total de 63 países participam das pesquisas, e desse, foram selecionados países com mínimo de 5 publicações, obtendo 28 países (Figura 3). As variações de cores indicam as relações de coocorrência entre as publicações por países ao longo dos anos, mostrando que os dados estão predominantemente associados ao período de 2017 a 2021. Os cinco países com maior número de publicações são: China (58), Estados Unidos (37), Brasil (23), França (22) e Inglaterra (18), sucessivamente.

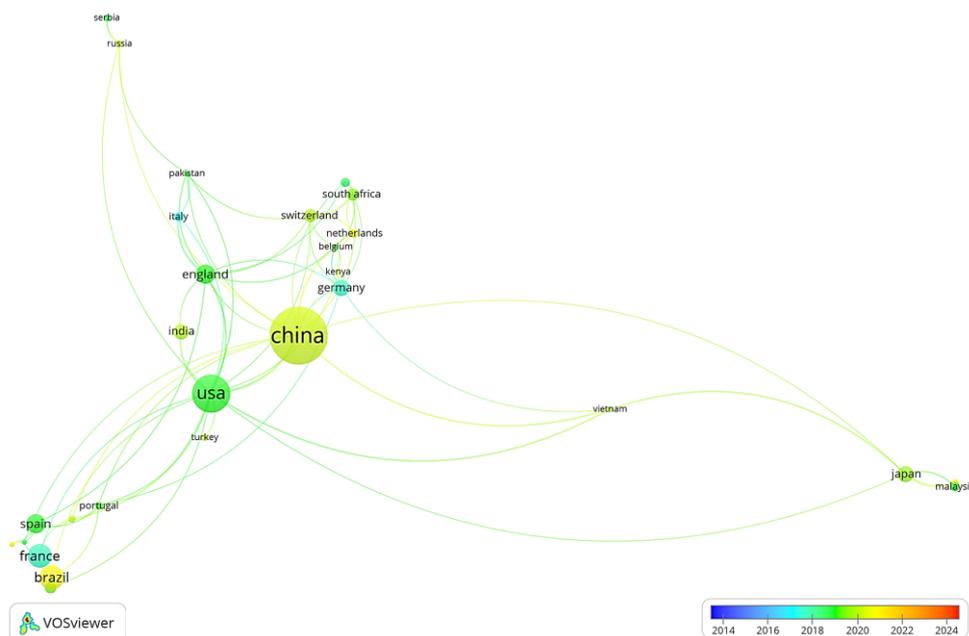


Figura 3: Mapa de cooperação entre países envolvidas nas pesquisas.

Dos autores (Tabela 2), foram considerados como principais autores com mais de 3 publicações na área, resultando em 32 autores principais. Destacando os cinco com mais artigos publicados: Ozekeke Ogbeide, Zisis Vryzas, Eliseo Herrero-Hernandez, Ahmad Zaharin Aris e Sze Yee Wee, sendo que desses, Zisis Vryzas lidera em termos de artigos mais citados, com 330 citações.

Tabela 2: Relação dos 10 principais autores, em termos de artigos mais citados, envolvidos nas pesquisas.

Autor	Instituição	País	Documentos	Citações
Ogbeide, Ozekeke	Universidade do Estado Livre	Africa do Sul	5	157
Vryzas, Zisis	Universidade Demócrito de Tracia - DUTH	Grécia	4	330
Herrero-Hernandez, Eliseo	Universidade de Salamanca	Espanha	4	214
Aris, Ahmad Zaharin	Universidade Putra Malásia-UPM	Malásia	4	189
Wee, Sze Yee	Universidade da Malásia em Sabah - UNIMAS	Malásia	4	189
Masis-Mora, Mario	Universidade da Costa Rica - UCR	Costa Rica	4	185
Ezemonye, Lawrence	Universidade Igbinedion - IUO	Nigéria	4	147
Tongo, Isioma	Universidade Benin	Nigéria	4	147
Sakugawa, Hiroshi	Universidade de Hiroshima Eawag - Instituto Federal	Japão	4	37
Stamm, Christian	Suíço de Ciência e Tecnologia Aquática	Suíça	3	318

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 4 demonstra a tendência de crescimento anual nas pesquisas, começando com 20 artigos em 2014 e atingindo seu ápice com 44 artigos em 2021. Isso implica em uma taxa média de crescimento anual de 12,7%, sugerindo um crescente interesse e atenção das pesquisas em monitorar as quantidades de agrotóxicos dos rios.

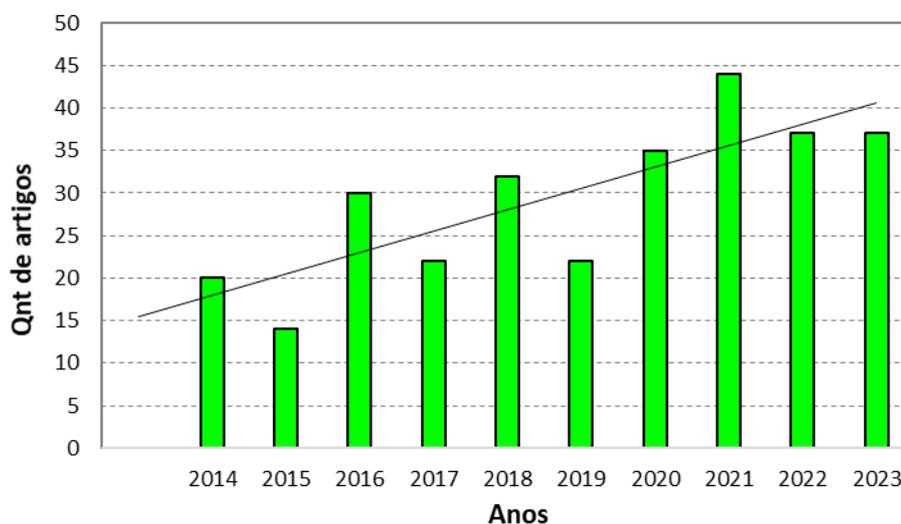


Figura 4: tendência anual de crescimento das publicações.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



Esse cenário mostra uma clara tendência de crescimento e inovação na área, baseada na transformação digital que vem ocorrendo na agricultura. Isso inclui o desenvolvimento de novos métodos, tecnologias e ferramentas de avaliação, que abrangem aspectos como desenvolvimento sustentável, adaptação climática e restauração ecológica (EMBRAPA, 2018).

Na Figura 2 observa-se uma distribuição mais equitativa entre as palavras centrais das publicações, dado que os agrupamentos por cores possuíam quantidades proporcionais de termos. É evidente que o termo “*pesticide*” foi o mais recorrente, já que ele direcionou a coleta de dados. Porém, os outros termos direcionadores não foram tão recorrentes, como “*surface water*”, que ocupou apenas a quarta posição na ordenação. Sugerindo que embora o termo estivesse no tópico de todos os documentos, não era, necessariamente, o tema central dos artigos.

Os pesticidas HCH, DDT e OCP (Tabela 1) destacaram-se, evidenciando que apesar de proibidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) na maioria dos países, devidos aos problemas toxicológicos gerados, ainda são utilizados em alguns países, para combater os vetores de doenças. Além disso, ainda são muito pesquisados devido a seus amplos usos no passado e suas altas persistências e recalcitrâncias, ambiental e biológica (CARVALHO et al., 2019). Pesticidas, como Atrazina, Clorpirifós e Diurion, sugerem novos desafios, pois, apesar de classificados pela OMS e pela ANVISA como de toxicidade mediana e alta, e já proibidos em alguns países, ainda são amplamente utilizados, principalmente no Brasil (INCA, 2023; TOOGE, 2019).

A Figura 5 nos permite entender os países com mais publicações sobre o tema (Figura 3), uma vez que eles estão entre os 10 países que mais consomem pesticidas no mundo. Isso reflete a preocupação das instituições de pesquisa em buscar novas maneiras de mitigar os impactos causados pelos pesticidas.

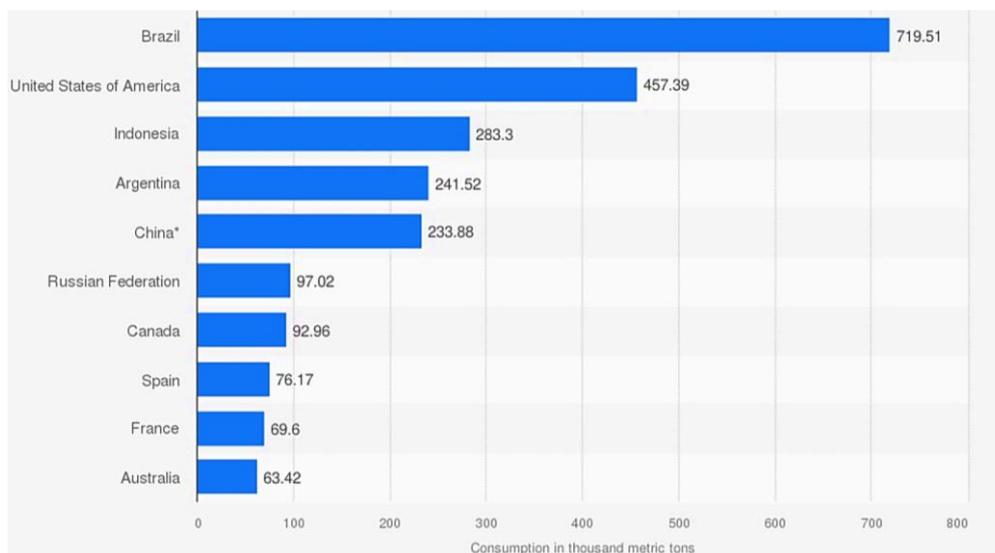


Figura 5: Países líderes no consumo agrícola de pesticidas em todo o mundo em 2021 (em 1.000 toneladas métricas). Fonte: STATISTA, 2021.

Ao todo, foram 293 artigos envolvendo 1.454 autores, com uma média de 0,2 artigos por autor e 4,96 autores por artigo. Indicando que as pesquisas relacionadas ao monitoramento de agrotóxico em rios é um campo colaborativo envolvendo diversos autores.

CONCLUSÕES

Uma abordagem bibliométrica foi empregada para analisar as publicações sobre monitoramento de agrotóxicos em rios, abrangendo o período de 2014 a 2023. Fica evidente um crescimento nas publicações de pesquisas relacionadas a este campo ao longo da última década, que está associado ao desenvolvimento e aprimoramento da monitorização de agrotóxicos em ambientes aquáticos.



Os países mais proeminentes em pesquisa são a China, Estados Unidos e Brasil, uma vez que também são os países líderes no consumo de pesticidas em todo o mundo. Os principais autores incluem Ozekeke Ogbeide, Zisis Vryzas e Eliseo Herrero-Hernandez, e o destaque vai para a Academia Chinesa de Ciências como instituição líder nas pesquisas sobre monitoramento de agrotóxico em rios.

O estudo evidenciou que, apesar de proibidas, as substâncias pesticidas, especificamente Hexaclorociclohexano (HCH), Dicloro-Difenil-Tricloroetano (DDT) e compostos organoclorados (OCP), constituem os principais focos das investigações devido a suas altas permanências no meio ambiente.

Estudos sobre o monitoramento de agrotóxicos são conduzidos para avaliar o impacto dessas substâncias na qualidade da água e nos ecossistemas aquáticos. Sendo assim, uma compreensão mais clara das tendências emergentes no campo de monitoramento de agrotóxicos em rios, como as áreas de interesse que tem ganhado notoriedade e dos avanços contínuos na gestão ambiental de rios e ambientes aquáticos é fundamental.

Nesse sentido, recomenda-se realizar uma análise mais aprofundada desses estudos, visando uma revisão sistêmica dos artigos levantados. Isso permitirá obter uma compreensão dos padrões de contaminação, e destacando a busca por soluções inovadoras e ações assertivas, cruciais para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis e a preservação dos recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PROAMB), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Pró-reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação (PROPPi).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, ano 139, n.5, 2002.
- CARVALHO, A. P. G. C. et. al.; Detecção de pesticidas organoclorados na água e a associação da exposição humana à esses poluentes com o risco de diabetes mellitus tipo 2. Destaques Acadêmicos, Lajeado. v.11, n.3, 2019.
- CETESB; Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs). Governo do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://encurtador.com.br/tBS07>. Acesso: fev. 2024.
- EMBRAPA; Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. Brasília, 2018.
- FERREIRA R. Conheça os diferentes tipos de água. SEMIL, São Paulo, 2017.
- INCA: Instituto Nacional de Câncer; Agrotóxico. Ministério da Saúde, 2019. Disponível em: <https://encurtador.com.br/yLX02>. Acesso: fev. 2024.
- MILHOME, M. A. L.; SOUSA, D. O. B.; LIMA, F. A. F.; NASCIMENTO, R. F.; Avaliação do, potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas aplicados na agricultura do Baixo Jaguaribe CE. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.14, n.3, 2009.
- MORAES, R.F.; Agrotóxicos no Brasil: padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória. IPEA, 2019.
- REICHENBERGER, S.; BACH, M.; SKITSCHAK, A.; FREDE H.-G.; Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; A review. Science of The Total Environment, v.384, 2007.
- RIBEIRO, A. C. A.; restauração ambiental da nascente do rio são Lourenço, mato grosso: avaliação preliminar do efeito sobre a movimentação de pesticidas. Cuiabá, 2011.
- SILVA, M. F. O.; COSTA, L. M.; A Indústria de Defensivos Agrícolas. BNDES Setorial, V.35, 2011.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



12. SYEED, M.; HOSSAIN, S.; KARIM, R.; UDDIN, O. 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*, v.18, 2023.
13. TODESCHINI, B. H.; Avaliação da presença de agrotóxicos por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas em águas superficiais e na rede pública de abastecimento de água no rio grande do sul. Florianópolis, 2013.
14. TOOGE R.; lista: quais são e para que servem os ingredientes dos agrotóxicos mais vendidos. G1 AGRO, 2019. Disponível em: <https://encurtador.com.br/pBF58>. Acesso: fev. 2024.
15. VAN ECK, NJ, WALTMAN, L.; Pesquisa de software: VOSviewer, um programa de computador para mapeamento bibliométrico. *Cientometria* 84, 2010.