



**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE PADRÕES INTERNACIONAIS DE QUALIDADE DA ÁGUA
PARA PESTICIDAS E SUA APLICAÇÃO A DADOS DE MONITORAMENTO NO RIO
DOURADOS (MS, BRASIL)**

**COMPARATIVE EVALUATION OF INTERNATIONAL WATER QUALITY STANDARDS FOR
PESTICIDES AND THEIR APPLICATION TO MONITORING DATA FROM THE DOURADOS
RIVER (MS, BRAZIL)**

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE ESTÁNDARES INTERNACIONALES DE CALIDAD DEL
AGUA PARA PESTICIDAS Y SU APLICACIÓN A DATOS DE MONITOREO EN EL RÍO
DOURADOS (MS, BRASIL)**

Danielle Cristine Pedruzzi¹, Eriton Rodrigo Botero², Nathalia Leite Bittencourt Figueiredo³, Filipe Bittencourt Figueiredo⁴

e768016

<https://doi.org/10.47820/recima21.v7i6.8016>

PUBLICADO: 06/2026

RESUMO

A intensificação das atividades agrícolas tem ampliado o uso de pesticidas, contribuindo para a contaminação de águas superficiais e levantando preocupações quanto à eficácia das regulamentações ambientais. Este estudo teve como objetivo comparar legislações internacionais relativas aos limites de pesticidas em águas superficiais e avaliar a conformidade de dados empíricos com esses padrões na Bacia Hidrográfica do Rio Dourados (MS), no período de 2020 a 2022. A pesquisa apresenta abordagem quali-quantitativa, de natureza documental e comparativa, baseada na análise de normativas de diferentes países e organismos internacionais, bem como em dados de monitoramento ambiental fornecidos pela Embrapa Agropecuária Oeste. Foram avaliados 46 pesticidas e produtos de degradação detectados em águas superficiais, dos quais apenas 17 possuem limites estabelecidos em pelo menos uma das legislações analisadas, permitindo comparação regulatória. Os resultados indicaram elevada frequência de detecção de pesticidas, com destaque para atrazina, tebuconazol e clorantraniliprole. A comparação entre os dados de monitoramento e os limites regulatórios evidenciou que a conformidade varia significativamente conforme o referencial normativo adotado. Enquanto os valores observados atendem, em geral, às legislações de países como Brasil, Estados Unidos e Canadá, foram identificadas inconformidades em relação aos padrões mais restritivos da União Europeia. Ademais, verificaram-se lacunas relevantes nas regulamentações, incluindo a ausência de limites para diversos compostos e a não consideração de efeitos cumulativos. Conclui-se que a heterogeneidade normativa compromete a avaliação da qualidade da água e reforça a necessidade de harmonização regulatória e atualização contínua das normas, com base em evidências científicas, visando à proteção dos recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: Pesticidas. Qualidade da água. Legislação ambiental. Contaminação hídrica.

¹ Engenheira Ambiental formada pela UEMS, com mestrado e doutorado em Ciência e Tecnologia Ambiental pela UFGD. Atuou em grupos de pesquisa sobre cana-de-açúcar, qualidade do ar e ótica aplicada. Atualmente é professora presencial e EAD no Centro Universitário da Grande Dourados.

² Experiência em Física dos Materiais, com ênfase em cerâmicas ferroelétricas transparentes e caracterização estrutural por refinamento de Rietveld. Atua em técnicas eletro-ópticas, filmes compósitos multiferroicos e aplicações fotônicas em plantas. Também se dedica ao estudo de metodologias e práticas no ensino de Física.

³ Doutora e mestre em Ciência dos Materiais pela UFMS e graduada em Engenharia Civil pela UNOESTE-SP. Possui experiência em projetos complementares, acompanhamento de obras e docência em Engenharia Civil. Desenvolve pesquisas em energias renováveis e novos materiais.

⁴ Universidade Federal da Grande Dourados.

**ABSTRACT**

The intensification of agricultural activities has increased the use of pesticides, contributing to the contamination of surface waters and raising concerns about the effectiveness of environmental regulations. This study aimed to compare international regulations regarding pesticide limits in surface waters and to assess the conformity of empirical data with these standards in the Dourados River Basin (MS, Brazil), from 2020 to 2022. The research adopted a qualitative-quantitative approach, using a documentary and comparative design based on the analysis of regulations from different countries and international organizations, as well as environmental monitoring data provided by Embrapa Agropecuária Oeste. A total of 46 pesticides and degradation products detected in surface waters were evaluated, of which only 17 had established limits in at least one of the analyzed regulations, enabling regulatory comparison. The results indicated a high frequency of pesticide detection, especially for atrazine, tebuconazole, and chlorantraniliprole. The comparison between monitoring data and regulatory limits showed that conformity varies significantly depending on the adopted regulatory framework. While the observed values generally comply with the regulations of countries such as Brazil, the United States, and Canada, non-compliance was identified in relation to the more restrictive standards of the European Union. Furthermore, important regulatory gaps were identified, including the absence of limits for several compounds and the lack of consideration of cumulative effects. It is concluded that regulatory heterogeneity compromises water quality assessment and reinforces the need for regulatory harmonization and continuous updating of standards based on scientific evidence, aiming to strengthen water resource protection.

KEYWORDS: *Pesticides. Water quality. Environmental legislation. Water contamination.*

RESUMEN

La intensificación de las actividades agrícolas ha incrementado el uso de pesticidas, contribuyendo a la contaminación de las aguas superficiales y generando preocupaciones sobre la eficacia de las regulaciones ambientales. Este estudio tuvo como objetivo comparar legislaciones internacionales relacionadas con los límites de pesticidas en aguas superficiales y evaluar la conformidad de estos estándares con datos empíricos obtenidos en la Cuenca Hidrográfica del Río Dourados (MS), en el período de 2020 a 2022. La investigación presenta un enfoque cualitativo-cuantitativo, de carácter documental y comparativo, basado en el análisis de normativas de diferentes países y organismos internacionales, así como en datos de monitoreo proporcionados por Embrapa. Se evaluaron 46 compuestos, de los cuales solo 17 cuentan con límites establecidos en al menos una de las legislaciones analizadas. Los resultados indicaron una alta frecuencia de detección de pesticidas, destacándose la atrazina, el tebuconazol y el clorantraniliprol. La comparación entre los datos de monitoreo y los límites regulatorios evidenció que la conformidad varía significativamente según el marco normativo adoptado. Mientras que los valores observados cumplen, en general, con las legislaciones de países como Brasil, Estados Unidos y Canadá, se identificaron incumplimientos en relación con los estándares más restrictivos de la Unión Europea. Además, se identificaron importantes vacíos en las regulaciones, incluyendo la ausencia de límites para varios compuestos y la falta de consideración de efectos acumulativos. Se concluye que la heterogeneidad normativa compromete la evaluación de la calidad del agua y refuerza la necesidad de armonización regulatoria y actualización continua de las normas, basada en evidencia científica, con el objetivo de proteger los recursos hídricos.

PALABRAS CLAVE: *Pesticidas. Calidad del agua. Legislación ambiental. Contaminación hídrica.*



INTRODUÇÃO

A intensificação das atividades agrícolas nas últimas décadas tem sido acompanhada por um aumento significativo no uso de pesticidas, impulsionado pela necessidade de ampliar a produtividade e atender à crescente demanda por alimentos (Albou et al., 2024). Embora esses compostos desempenhem papel relevante no controle de pragas e no aumento da produção agrícola, sua ampla utilização tem resultado em impactos ambientais expressivos, especialmente relacionados à contaminação de águas superficiais (Pizarro et al., 2024). Processos como escoamento superficial, lixiviação e deriva favorecem o transporte dessas substâncias para rios, lagos e reservatórios, comprometendo a qualidade da água e afetando ecossistemas aquáticos (Primus et al., 2025). Nesse contexto, a regulação ambiental assume papel central ao estabelecer limites máximos permitidos para substâncias potencialmente nocivas e orientar ações de monitoramento e controle voltadas à proteção da saúde humana e da integridade ambiental (Kim et al., 2023).

Apesar da existência de regulamentações nacionais e internacionais voltadas à qualidade da água, os limites máximos permitidos para pesticidas em águas superficiais variam significativamente entre países e organismos reguladores (Li e Fantke, 2022). Essas diferenças decorrem de distintos critérios metodológicos, abordagens de avaliação de risco e níveis de rigor adotados pelas legislações (Van Winckel et al., 2021), podendo resultar em interpretações divergentes sobre a qualidade da água e em diferentes níveis de proteção ambiental para um mesmo contaminante (Oliveira et al., 2023). Além disso, fatores institucionais, econômicos e estruturais influenciam diretamente a atualização e a aplicação dessas normas, especialmente em países em desenvolvimento, onde limitações regulatórias e de governança podem comprometer o controle da poluição por pesticidas (Coria e Elgueta, 2022).

Embora existam estudos sobre contaminação por pesticidas em ambientes aquáticos, ainda são limitadas as pesquisas que realizam comparações sistemáticas entre legislações internacionais aplicadas à qualidade de águas superficiais, utilizando dados reais de monitoramento ambiental para avaliar diferenças regulatórias e seus possíveis impactos sobre a interpretação da conformidade ambiental. Essa lacuna dificulta a compreensão da consistência entre diferentes padrões legais e limita a comparabilidade entre estudos conduzidos em distintos contextos geográficos e institucionais (Wuijts et al., 2021). Nesse sentido, análises comparativas tornam-se relevantes para subsidiar discussões sobre harmonização normativa e fortalecimento das políticas públicas voltadas à gestão da qualidade da água.

Para subsidiar essa análise, o presente estudo utiliza dados de monitoramento de contaminantes em águas superficiais do Rio Dourados, localizado no estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, obtidos a partir de pesquisas conduzidas pela Embrapa entre 2020 e 2022. A utilização de



dados empíricos provenientes de bacias hidrográficas brasileiras contribui para compreender a ocorrência e a dinâmica de pesticidas em regiões de intensa atividade agrícola (Campos et al., 2024). Além disso, essa base permite confrontar as concentrações observadas com os limites estabelecidos por diferentes legislações internacionais, proporcionando uma análise aplicada e contextualizada da aderência dos dados monitorados aos padrões regulatórios.

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo comparar legislações internacionais relativas aos limites de pesticidas em águas superficiais. Especificamente, busca-se identificar as principais normativas aplicáveis, comparar os limites máximos permitidos para diferentes substâncias e analisar as divergências entre abordagens regulatórias adotadas por distintos países e organismos internacionais. Além disso, pretende-se identificar lacunas normativas que possam comprometer a efetividade da proteção ambiental, contribuindo para o avanço das discussões sobre harmonização regulatória e para o aprimoramento das políticas públicas voltadas à gestão da qualidade da água.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Pesticidas e contaminação de águas

Os pesticidas constituem um grupo diversificado de compostos químicos amplamente utilizados na agricultura para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas. Apesar de sua relevância para a produtividade agrícola, esses compostos apresentam elevado potencial de dispersão no ambiente, especialmente em função de suas propriedades físico-químicas e das condições de aplicação (Anjum, 2017; Tiwari *et al.*, 2024). Entre os principais mecanismos de transporte, destacam-se o escoamento superficial, responsável por carrear pesticidas aplicados no solo para corpos hídricos adjacentes, e a lixiviação, que promove a infiltração dessas substâncias através do perfil do solo até atingir águas subterrâneas e, indiretamente, águas superficiais (Primus *et al.*, 2025; Araya *et al.*, 2024). Estudos empíricos demonstram que tanto o escoamento quanto a lixiviação são vias significativas de transporte de pesticidas, contribuindo para a contaminação de águas superficiais e subterrâneas (Casara *et al.*, 2012).

Além dos processos de transporte, a persistência ambiental de muitos pesticidas contribui significativamente para sua presença contínua nos ecossistemas aquáticos. Compostos com elevada estabilidade química e baixa taxa de degradação podem permanecer no ambiente por longos períodos, aumentando a probabilidade de detecção em corpos d'água mesmo após a interrupção de sua aplicação (Bilal *et al.*, 2019). Ademais, a formação de produtos de degradação, muitas vezes igualmente ou mais tóxicos que os compostos originais, amplia a complexidade da contaminação ambiental (Chauhan *et al.*, 2025). Essa persistência e transformação favorecem processos como



bioacumulação e biomagnificação, intensificando os impactos sobre organismos aquáticos e cadeias tróficas (Iqbal *et al.*, 2025).

Rios, lagos e reservatórios frequentemente apresentam concentrações detectáveis de pesticidas, resultado direto do uso intensivo na agricultura e do transporte por escoamento superficial e lixiviação (Syafudin *et al.*, 2021). Estudos de monitoramento indicam que uma alta proporção de amostras de águas superficiais apresenta resíduos de múltiplos pesticidas, frequentemente associados a áreas agrícolas, confirmando a influência direta dessas atividades sobre a qualidade da água (Eissa *et al.*, 2021).

Essa ocorrência representa um desafio significativo para a gestão da qualidade da água, uma vez que tais substâncias podem causar efeitos adversos em organismos aquáticos, incluindo toxicidade aguda e crônica, além de bioacumulação ao longo das cadeias tróficas (Bai; Ruan; Hoek, 2018). Além disso, a presença contínua desses contaminantes compromete o uso dos recursos hídricos para abastecimento humano, uma vez que muitos sistemas de tratamento convencionais apresentam limitações na remoção completa desses compostos, especialmente quando presentes em baixas concentrações e de forma persistente (Ren *et al.*, 2020; Syafudin *et al.*, 2021).

1.2. Importância da regulamentação ambiental

Diante do potencial de contaminação associado aos pesticidas, a regulamentação ambiental desempenha um papel central na proteção dos recursos hídricos e da biodiversidade. As normas ambientais estabelecem limites máximos permitidos para diferentes contaminantes, definindo parâmetros que visam minimizar riscos à saúde humana e aos ecossistemas (London *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2022). Esses limites são fundamentados em critérios toxicológicos, ambientais e, em alguns casos, socioeconômicos, refletindo a complexidade envolvida na definição de padrões de qualidade da água (Kortenkamp *et al.*, 2019).

Além de estabelecer valores de referência, a regulamentação atua como instrumento de controle de poluentes, orientando práticas de monitoramento, fiscalização e gestão ambiental. A definição de padrões legais permite a avaliação da conformidade da qualidade da água, subsidiando ações corretivas quando os limites são ultrapassados (Pimenta *et al.*, 2025; Baba, 2024). Nesse sentido, as normas ambientais não apenas regulam o uso e a disposição de substâncias químicas, mas também estruturam políticas públicas voltadas à conservação dos recursos naturais e à gestão sustentável da água (Barroso *et al.*, 2025; Gavrilaş *et al.*, 2025).

Outro aspecto relevante refere-se ao papel das regulamentações na proteção da biodiversidade. Ecossistemas aquáticos são particularmente sensíveis à presença de contaminantes, e a exposição contínua a pesticidas pode provocar alterações na estrutura e no funcionamento dessas



comunidades, incluindo efeitos tóxicos, perda de diversidade e comprometimento de serviços ecossistêmicos (Chauhan *et al.*, 2025; Chagnon *et al.*, 2014). Assim, a definição de limites adequados é fundamental para assegurar a manutenção dos serviços ecossistêmicos e a integridade ambiental. Contudo, a eficácia dessas normas depende diretamente dos critérios adotados em sua elaboração e implementação, o que evidencia a necessidade de análises comparativas entre diferentes abordagens regulatórias e de seu constante aprimoramento (Brack, 2019).

1.3. Legislações internacionais sobre qualidade da água

A regulamentação da qualidade da água apresenta variações significativas entre países e organizações internacionais, refletindo diferentes abordagens metodológicas, níveis de rigor e critérios de avaliação de risco na definição dos limites para pesticidas. De modo geral, os padrões de qualidade da água constituem instrumentos legais fundamentais para a gestão ambiental, estabelecendo concentrações máximas permitidas com base em avaliações toxicológicas, disponibilidade de dados e contextos regionais (Van Winckel *et al.*, 2021). No Brasil, a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece a classificação dos corpos d'água e define padrões de qualidade de acordo com seus usos preponderantes, organizando-os em diferentes classes com limites específicos para parâmetros físicos, químicos e biológicos (Pimenta *et al.*, 2025). No entanto, estudos indicam que parte desses limites pode não ser suficientemente protetiva para a biota aquática, evidenciando a necessidade de revisão e atualização com base em dados ecotoxicológicos mais recentes (Araújo; Caldas; Oliveira Filho, 2022).

Na União Europeia, por sua vez, a regulamentação é reconhecida por sua abordagem precaucionária, adotando limites bastante restritivos para pesticidas em água potável. A Diretiva de Água Potável estabelece um valor máximo de 0,1 µg/L para qualquer pesticida individual e 0,5 µg/L para o total de pesticidas, independentemente de suas características toxicológicas individuais, priorizando a prevenção da contaminação (Cossu *et al.*, 2024; Oliveira *et al.*, 2023). Essa estratégia adota critérios uniformes e conservadores para todos os compostos, resultando em um dos sistemas regulatórios mais rigorosos em nível global. Comparações internacionais evidenciam que os limites europeus são significativamente mais restritivos que os adotados em outras nações, podendo ser até milhares de vezes menores para determinados pesticidas, o que reforça o caráter protetivo dessa abordagem (Leite *et al.*, 2023).

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (USEPA, 2020) estabelece os chamados Maximum Contaminant Levels (MCLs), que variam de acordo com as propriedades toxicológicas de cada substância e são definidos com base em avaliações de risco à saúde humana, considerando também fatores como viabilidade técnica e econômica de remoção (Li e Jennings,



2017). Essa abordagem baseada em risco resulta em limites diferenciados entre os compostos, refletindo o conhecimento científico disponível sobre seus efeitos adversos, bem como incertezas associadas à exposição (EUROPEAN COMMISSION, 2014). Em comparação com modelos mais restritivos, como o europeu, os padrões norte-americanos podem ser mais permissivos para determinadas substâncias, especialmente quando há menor evidência de toxicidade aguda ou quando aspectos práticos de tratamento são considerados (London *et al.*, 2005).

O Canadá adota diretrizes de qualidade da água que também são fundamentadas em avaliação de risco, porém com forte ênfase no monitoramento contínuo e na revisão periódica dos valores estabelecidos, incorporando avanços científicos e dados atualizados de exposição (Tsaridou e Karabelas, 2021). As diretrizes canadenses abrangem uma ampla gama de contaminantes, incluindo pesticidas individuais, e buscam equilibrar a proteção da saúde humana e dos ecossistemas com a viabilidade de implementação das normas (HEALTH CANADA, 2008). Esse modelo dinâmico de regulamentação permite ajustes contínuos nos limites estabelecidos, refletindo novas evidências científicas e mudanças nos padrões de uso de substâncias químicas, o que contribui para maior efetividade na gestão da qualidade da água (Li e Jennings, 2017).

Outros países, como China e Austrália, possuem padrões próprios que refletem suas condições ambientais, contextos regulatórios e prioridades de gestão da qualidade da água. A China estabelece limites para diversos contaminantes com foco na proteção da saúde pública e no controle de riscos associados ao uso intensivo de pesticidas, incorporando progressivamente avanços científicos e políticas de segurança ambiental (Yi *et al.*, 2024; MINISTRY OF HEALTH, 2006). Por sua vez, a Austrália adota uma abordagem integrada de gestão da qualidade da água, baseada em avaliação de risco e adaptada às condições locais, com ênfase na gestão de bacias hidrográficas e no monitoramento contínuo (NHMRC, 2011).

Em nível global, as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) fornecem valores orientadores amplamente utilizados como referência internacional para a definição de padrões nacionais, embora não possuam caráter legal obrigatório (Oliveira *et al.*, 2023).

A análise comparativa dessas legislações evidencia diferenças significativas nos critérios adotados para a definição dos limites de pesticidas em água. Enquanto algumas jurisdições, como a União Europeia, adotam uma abordagem mais conservadora e fundamentada no princípio da precaução, estabelecendo limites uniformes e altamente restritivos independentemente das características toxicológicas individuais dos compostos, outras, como Estados Unidos e Canadá, utilizam predominantemente modelos baseados em avaliação de risco, nos quais os limites variam conforme dados toxicológicos, níveis estimados de exposição e viabilidade técnica de controle (Li e Fantke, 2022; Van Winckel *et al.*, 2021). Essas diferenças metodológicas refletem distintas



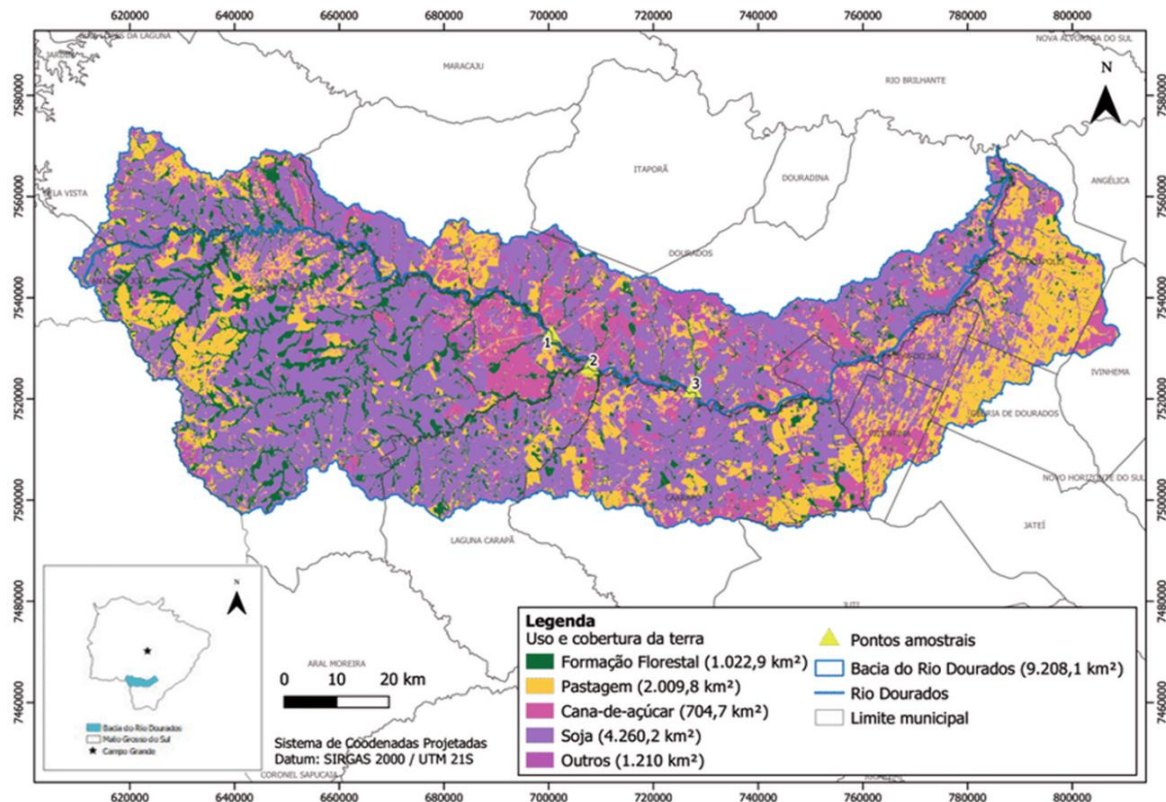
interpretações sobre incerteza científica e proteção ambiental. Abordagens precaucionárias priorizam a prevenção mesmo diante de limitações de conhecimento toxicológico, enquanto abordagens baseadas em risco tendem a flexibilizar limites em função da evidência científica disponível e da viabilidade regulatória. Além disso, observa-se a ausência de limites específicos para determinados compostos em algumas regulamentações, evidenciando lacunas normativas e limitações relacionadas à disponibilidade de dados toxicológicos e à capacidade analítica (Oliveira et al., 2023). Essas discrepâncias demonstram a inexistência de uma padronização global, o que pode comprometer a consistência na avaliação da qualidade da água e na proteção dos ecossistemas aquáticos, reforçando a necessidade de harmonização internacional e atualização contínua das normas.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como qualitativa e quantitativa, de natureza documental e comparativa, com foco na análise de legislações ambientais e na verificação de conformidade de dados empíricos de concentração de pesticidas em águas superficiais. A abordagem qualitativa foi empregada na interpretação dos marcos regulatórios e das diferenças entre os critérios normativos adotados por diferentes países, enquanto a abordagem quantitativa foi utilizada na comparação dos limites máximos permitidos com os valores observados em monitoramentos ambientais.

A análise utilizou como fonte de dados relatórios fornecidos pela Embrapa (Scorza Júnior e Paz, 2020; Scorza Júnior et al., 2021; Scorza Júnior et al., 2023), que apresentam as concentrações de pesticidas e produtos de degradação encontrados na Bacia Hidrográfica do Rio Dourados (BHRD) nos anos de 2020, 2021 e 2022. As análises dos contaminantes foram realizadas pela Embrapa, garantindo a precisão e confiabilidade dos dados obtidos. As amostras foram coletadas no Rio Dourados em três pontos estratégicos, com as seguintes coordenadas geográficas: 22°23'53"S e 54°47'28"O no ponto 1, localizado na ponte do Rio Dourados na rodovia BR-163; 22°21'33"S e 54°58'52"O no ponto 2, na ponte do Rio Dourados na rodovia MS-379; e 22°18'09"S e 55°03'12"O no ponto 3, na ponte do Rio Dourados na rodovia BR-267, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1. Uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Dourados, Mato Grosso do Sul, com os respectivos pontos de amostragem



Fonte: Silva, G. B. S. (2020).

As análises das amostras foram realizadas no Laboratório de Análises Ambientais da Embrapa Agropecuária Oeste, localizado em Dourados, MS. Para identificar a presença de 46 diferentes pesticidas e/ou produtos de degradação, utilizou-se método analítico multirresíduo, conforme descrito por Scorza Júnior e Paz (2020).

Os valores reportados como inferiores ao limite de detecção do método analítico (ex.: “<0,002 µg/L”) foram tratados como resultados abaixo do limite de detecção, não sendo considerados como ausência absoluta do composto, mas como concentrações não quantificáveis pelo método empregado.

Para a análise dos dados do presente estudo, foram considerados dois parâmetros principais: a frequência de amostras positivas (%) e a maior concentração detectada (µg/L) para cada composto. Esses indicadores permitiram avaliar tanto a ocorrência quanto a intensidade da contaminação por pesticidas. A comparação entre os dados monitorados e os limites estabelecidos nas diferentes legislações foi realizada por meio de análise descritiva e comparativa, verificando-se a conformidade



ou não conformidade das concentrações observadas em relação aos valores máximos permitidos por cada regulamentação analisada.

A análise foi restrita aos pesticidas e produtos de degradação que possuem valores de referência em pelo menos uma das legislações avaliadas, possibilitando a comparação com limites regulatórios. Dos 46 compostos identificados, apenas 17 apresentam parâmetros legais estabelecidos, enquanto os demais foram considerados apenas de forma descritiva, evidenciando lacunas nas regulamentações vigentes.

As legislações internacionais analisadas foram selecionadas com base em três critérios principais: relevância internacional na regulamentação da qualidade da água, disponibilidade pública dos limites máximos permitidos para pesticidas e representatividade de diferentes abordagens regulatórias. Dessa forma, foram consideradas as regulamentações vigentes do Brasil, Canadá, China, Estados Unidos, Austrália, União Europeia, além das diretrizes propostas pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

A partir do levantamento quantitativo das concentrações de poluentes nos três pontos de coleta no Rio Dourados, foi conduzido o estudo que visou analisar as regulamentações vigentes sobre os limites máximos permitidos dos pesticidas em recursos hídricos nas jurisdições do Brasil, Canadá, China, Estados Unidos, Austrália, União Europeia, além das diretrizes propostas pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Embora algumas normas analisadas sejam originalmente voltadas à potabilidade da água e outras à proteção de águas superficiais e ecossistemas aquáticos, todas foram utilizadas como referenciais comparativos internacionais para avaliação da presença de pesticidas em águas superficiais, considerando sua ampla utilização em estudos regulatórios e ambientais. A análise envolveu uma revisão das regulamentações referidas para identificar quais substâncias excedem os limites estabelecidos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo discute as concentrações de poluentes no Rio Dourados no período de 2020 a 2022, contemplando fungicidas, herbicidas, inseticidas e seus produtos de degradação. A análise tem como objetivo comparar os resultados entre os anos e avaliar o potencial impacto sobre a biota aquática da BHRD. Para isso, são evidenciados a frequência de amostras positivas (%) e a maior concentração detectada ($\mu\text{g/L}$) para cada composto, indicadores que permitem avaliar tanto a ocorrência quanto a intensidade da contaminação por pesticidas. Posteriormente, esses dados são confrontados com a legislação nacional e internacional, visando à análise da conformidade e à avaliação do risco associado à presença desses contaminantes.

Tabela 1. Frequência e concentrações máximas de pesticidas ou produtos de degradação encontrados nas amostras de águas superficiais coletadas nos três pontos de estudo no Rio Dourados durante os anos de 2020, 2021 e 2022

Pesticidas ou produtos de degradação	Tipo	2020		2021		2022	
		Frequência de amostras positivas (%)	Maior concentração encontrada (µg/L)	Frequência de amostras positivas (%)	Maior concentração encontrada (µg/L)	Frequência de amostras positivas (%)	Maior concentração encontrada (µg/L)
Tebuconazole	Fungicida	35	<0,002	100	0,005	100	0,011
Carbendazim	Fungicida	71	0,012	5	<0,01		
Ametrina	Herbicida	4	0,008				
Atrazina	Herbicida	87	0,13	100	0,188	100	0,254
Bentazona	Herbicida	36	0,028	56	0,28	84	0,079
Diuron	Herbicida	40	0,013	67	0,026	47	0,033
haloxifope-p-metilico	Herbicida	7	<0,002				
Imazetapir	Herbicida	51	0,006	54	0,012	80	0,08
Simazina	Herbicida			8	<0,002	13	<0,002
metsulfurom-metilico	Herbicida					7	0,003
Hexazinona	Herbicida	58	0,005	28	<0,002	33	0,004
Clorantniliprole	Inseticida	93	0,019	100	0,007	100	0,008
Fipronil	Inseticida	24	0,023	62	0,019	87	0,012
Metomil	Inseticida	9	<0,009	3	<0,009	7	0,01
Carbofurano	Inseticida	4	<0,002	18	<0,002	22	0,002
2-hidroxiatrazina	Produto de Degradação	100	0,074	97	0,021	53	0,024
Haloxifope-p	Produto de Degradação	40	0,022	8	0,008	27	0,011

Fonte: Elaborado pelo autor (2026), com base em Scorza Júnior *et al.* (2021), Scorza Júnior *et al.* (2022) e Scorza Júnior *et al.* (2023).

A Tabela 1 apresenta as concentrações máximas de pesticidas e produtos de degradação, bem como a frequência de detecção nas amostras de águas superficiais coletadas em três pontos do Rio Dourados, no período de 2020 a 2022. Foram apresentados apenas os compostos que possuem parâmetros estabelecidos nas legislações analisadas, totalizando 17 dentre os 46 identificados nas análises. Essa seleção foi adotada em função do foco do estudo na avaliação das legislações ambientais vigentes.

Os resultados indicam a presença significativa de diversos compostos nos cursos d'água, incluindo herbicidas, fungicidas, inseticidas e produtos de degradação. Em 2020, a atrazina, um herbicida amplamente utilizado em plantações de milho e cana-de-açúcar, foi detectada em 87% das amostras coletadas. Essa elevada frequência sugere o uso contínuo dessa substância na região,



contribuindo para sua dispersão por meio do escoamento superficial na BHRD. O produto de degradação 2-hidroxiatrazina, metabólito da atrazina, indica a ocorrência de processos de degradação desse herbicida ao longo da bacia hidrográfica.

O clorantraniliprole, um inseticida utilizado em culturas como milho, cana-de-açúcar e soja, foi detectado em 93% das amostras no ano de 2020. Esse composto é amplamente empregado no controle de pragas agrícolas e pode ser aplicado por meio do tratamento de sementes, prática considerada alternativa à aplicação direta no campo (Vicari *et al.*, 2017; Pes *et al.*, 2020). Além disso, o clorantraniliprole pode ser aplicado por pulverização foliar, injeção no solo ou via irrigação, dependendo da cultura e da praga-alvo (Pes *et al.*, 2020).

No ano de 2021, a análise das concentrações de poluentes continuou a evidenciar a presença de uma ampla gama de pesticidas e produtos de degradação. Nesse período, observou-se aumento na frequência da atrazina e clorantraniliprole, que foram detectados em 100% das amostras analisadas.

Outros compostos, como o fungicida tebuconazol, apresentaram aumento na frequência de detecção, sugerindo mudanças nas práticas agrícolas ou maior persistência ambiental. Esse aumento pode estar relacionado à ampla recomendação de uso do tebuconazol em diversas culturas, contribuindo tanto para sua maior permanência no ambiente quanto para a manifestação de suas propriedades tóxicas. O tebuconazol é um fungicida sistêmico do grupo dos triazóis, recomendado para uma variedade de culturas, incluindo algodão, milho, soja e trigo, sendo classificado como altamente perigoso para o ambiente e moderadamente tóxico (Wandscheer *et al.*, 2017; Gao *et al.*, 2019).

Em 2022, o tebuconazol, juntamente com o herbicida atrazina e o inseticida clorantraniliprole, se mantiveram com frequência de 100% nas amostras analisadas.

O herbicida imazetapir também apresentou aumento significativo ao longo do período estudado, com frequência de detecção de 51% em 2020, 54% em 2021 e 80% em 2022. Esse composto é utilizado no controle de plantas daninhas em culturas como milho e capim-sudão e sua aplicação, isolada ou em associação com outros herbicidas, pode afetar espécies vegetais não alvo, impactando a dinâmica dos agroecossistemas e a biodiversidade vegetal (Chang *et al.*, 2021). Além disso, o imazetapir apresenta elevada mobilidade e persistência no solo, podendo atingir maiores profundidades e aumentar o risco de contaminação de águas subterrâneas (Kumar e Singh, 2015).

Além dos compostos previamente discutidos, destacam-se o fipronil e a bentazona, que apresentaram aumento gradual na frequência de detecção ao longo do período analisado. O fipronil, um inseticida amplamente utilizado, é reconhecido por sua elevada toxicidade para organismos aquáticos, especialmente invertebrados, podendo causar efeitos adversos mesmo em baixas

concentrações (Chagnon *et al.*, 2014). Já a bentazona é um herbicida amplamente empregado no controle de plantas daninhas, sendo frequentemente detectado em ambientes aquáticos devido à sua mobilidade no solo e potencial de lixiviação (Li e Jennings, 2017). O aumento na frequência desses compostos pode estar associado tanto ao uso intensificado na região quanto ao acúmulo nos corpos hídricos, indicando potencial persistência e risco ambiental.

A Tabela 2 apresenta um comparativo entre legislações ambientais de diferentes regiões do mundo em relação aos limites máximos de contaminantes permitidos em águas superficiais, expressos em microgramas por litro ($\mu\text{g/L}$). Essa análise permite compreender a variabilidade nos padrões internacionais de qualidade da água, especialmente no que se refere aos resíduos de pesticidas. Observa-se uma diversidade significativa nos critérios adotados para substâncias como atrazina, bentazona e outros pesticidas, refletindo diferentes abordagens regulatórias, níveis de proteção ambiental e metodologias de avaliação de risco entre os países (Van Winkel *et al.*, 2021).

Tabela 2. Limite máximo de contaminantes permitidos em águas superficiais ($\mu\text{g/L}$) de acordo com legislação internacional

Pesticidas ou produtos de degradação	Tipo	Limite máximo de contaminantes permitidos em águas superficiais ($\mu\text{g/L}$)						
		BRASIL ^(1;2)	CANADÁ ⁽³⁾	OMS ⁽⁴⁾	CHINA ⁽⁵⁾	EUA ⁽⁶⁾	AUSTRÁLIA ⁽⁷⁾	UNIÃO EUROPEIA ⁽⁸⁾
Tebuconazole	Fungicida	180						0,1
Carbendazim	Fungicida	120					90	0,1
Ametrina	Herbicida						70	0,1
Atrazina	Herbicida	2	2	2	2	3	20	0,1
Bentazona	Herbicida	300		500	300		400	0,1
Diurom	Herbicida	90					20	0,1
Haloxifope-p-metilico	Herbicida						1	0,1
Imazetapir	Herbicida						9000	0,1
Simazina	Herbicida	2		2		4	20	0,1
Metsulfurom-metilico	Herbicida						40	0,1
Hexazinona	Herbicida						400	0,1
Clorantraniliprole	Inseticida						6000	0,1
Fipronil	Inseticida						0,7	0,1
Metomil	Inseticida						20	0,1
Carbofurano	Inseticida	7		7	7	40	10	0,1
2-hidroxiatrazina	Produto de Degradação			200				0,1
Haloxifope-p	Produto de Degradação						1	0,1
Total de pesticidas								0,5

BRASIL(2005)⁽¹⁾; (BRASIL, 2011)⁽²⁾; HEALTH CANADA (2008)⁽³⁾; WORLD HEALTH ORGANIZATION (2022)⁽⁴⁾; MINISTRY OF HEALTH (2006)⁽⁵⁾; USEPA (2014)⁽⁶⁾; NHMRC (2011)⁽⁷⁾; COMISSÃO EUROPEIA (2020)⁽⁸⁾.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).



No que se refere aos padrões específicos, a legislação brasileira estabelece limites máximos permitidos (VMP) para alguns pesticidas, como 2 µg/L para atrazina e simazina, evidenciando um compromisso regulatório com a proteção da saúde humana e dos ecossistemas aquáticos. Entretanto, ao confrontar esses parâmetros com os dados obtidos, observa-se que, dentre os 46 compostos identificados nos relatórios de monitoramento, apenas sete possuem valores regulamentados, revelando uma limitação significativa da normativa nacional frente à diversidade de contaminantes detectados.

No contexto brasileiro, diversos pesticidas autorizados para uso agrícola não possuem VMP definidos para águas superficiais, o que reflete a dependência da regulamentação em relação à disponibilidade de estudos toxicológicos e ambientais. A ausência desses parâmetros evidencia a necessidade de ampliação e atualização das normas vigentes, de modo a incorporar novos compostos e garantir maior efetividade na proteção dos recursos hídricos e da saúde pública.

No cenário internacional, verifica-se que apenas um dos compostos identificados na BHRD, a atrazina, está contemplado na legislação canadense. As diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS), por sua vez, estabelecem valores orientadores amplamente utilizados como referência global, sendo os limites estabelecidos para atrazina, simazina e carbofurano equivalentes aos adotados no Brasil, o que sugere certo alinhamento internacional para esses contaminantes em específico.

Na China, os padrões de qualidade da água apresentam valores comparáveis aos da OMS e do Brasil para atrazina e carbofurano, enquanto nos Estados Unidos os limites definidos pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) tendem a ser mais flexíveis, por adotarem uma abordagem baseada em avaliação de risco. A Austrália, por sua vez, apresenta limites menos restritivos para determinados compostos, como a atrazina, cujo valor permitido pode atingir 20 µg/L, porém é a legislação que contempla um maior número de contaminantes, totalizando 15 dos 46 identificados na BHRD. Em contraste, a União Europeia adota uma abordagem altamente conservadora, ainda que com menor detalhamento específico para alguns compostos individuais.

As variações observadas entre os limites estabelecidos por diferentes países refletem divergências nos critérios de avaliação de risco, na intensidade de uso de pesticidas e nas prioridades político-institucionais relacionadas à proteção ambiental e à saúde pública. Essas discrepâncias podem, inclusive, impactar o comércio internacional de produtos agrícolas, uma vez que resíduos considerados aceitáveis em determinadas jurisdições podem ultrapassar os limites estabelecidos em outras.

A análise comparativa entre os dados apresentados nas Tabelas 1 e 2 evidencia que a atrazina foi o único composto a exceder os padrões estabelecidos pela União Europeia, cujo limite



máximo é de 0,1 µg/L. As concentrações observadas no Rio Dourados foram de 0,13 µg/L em 2020, 0,188 µg/L em 2021 e 0,254 µg/L em 2022, indicando não conformidade com essa normativa. Contudo, é fundamental destacar que a legislação europeia também estabelece um limite de 0,5 µg/L para a soma total de pesticidas, sendo a única a considerar explicitamente o efeito cumulativo dessas substâncias. A aplicação desse critério aos dados analisados indica que, em todos os anos avaliados, o somatório dos contaminantes ultrapassaria esse limite, evidenciando um risco potencial que não é capturado por abordagens baseadas exclusivamente em compostos individuais.

De forma geral, a comparação entre os limites máximos permitidos em diferentes legislações evidencia elevada variabilidade nos padrões adotados. A União Europeia se destaca por sua abordagem precautória, com limites uniformes e restritivos, enquanto países como Estados Unidos, Canadá e Austrália adotam critérios baseados em avaliação de risco, resultando em maior flexibilidade e variabilidade entre substâncias. Essa diferença é particularmente evidente para compostos como atrazina e bentazona, cujos limites podem variar em ordens de magnitude entre as diferentes jurisdições.

Ao confrontar esses padrões com os dados de monitoramento do Rio Dourados, observa-se que, embora as concentrações detectadas sejam relativamente baixas em termos absolutos, sua classificação quanto à conformidade depende diretamente do referencial normativo adotado. Esse aspecto evidencia a influência dos critérios regulatórios na interpretação da qualidade da água.

A heterogeneidade entre legislações reflete diferentes estratégias de gestão ambiental. A abordagem europeia, fundamentada no princípio da precaução, prioriza a prevenção da contaminação por meio de limites rigorosos, enquanto modelos adotados por países como Estados Unidos, Canadá e Austrália incorporam avaliações de risco que consideram níveis aceitáveis de exposição, bem como aspectos técnicos e econômicos.

No caso brasileiro, observa-se uma posição intermediária, caracterizada pela existência de limites para alguns compostos, mas também por lacunas significativas para diversos pesticidas amplamente utilizados. Essa limitação evidencia desafios relacionados à atualização normativa e à incorporação de evidências científicas no processo regulatório.

A análise integrada dos dados do Rio Dourados reforça essas limitações, demonstrando que a ausência de parâmetros para diversos compostos compromete uma avaliação abrangente da qualidade da água. Adicionalmente, a não consideração do efeito combinado de múltiplos pesticidas na maioria das legislações representa uma limitação importante na proteção dos ecossistemas aquáticos.

Entre as principais lacunas identificadas, destaca-se a ausência de limites para grande parte dos pesticidas detectados. Dos 46 compostos identificados, apenas 17 possuem parâmetros



regulamentados, evidenciando uma defasagem significativa entre a realidade do monitoramento ambiental e os instrumentos normativos disponíveis. Soma-se a isso a inconsistência nos critérios de definição dos limites, o que dificulta a harmonização regulatória em escala global.

A ausência de parâmetros legais para 29 dos compostos detectados representa uma limitação relevante para a gestão da qualidade da água e para a avaliação ecotoxicológica dos ambientes aquáticos. Mesmo quando detectados em baixas concentrações, pesticidas podem provocar efeitos subletais, alterações fisiológicas, bioacumulação e impactos crônicos sobre organismos não alvo, especialmente em situações de exposição contínua e múltipla (Chagnon et al., 2014; Chauhan et al., 2025). Além disso, a inexistência de valores orientadores dificulta a classificação da conformidade ambiental, reduz a capacidade de fiscalização e limita a adoção de medidas preventivas e corretivas pelos órgãos reguladores. Esse cenário evidencia um descompasso entre a rápida introdução de novos compostos no mercado agrícola e a atualização das regulamentações ambientais, podendo comprometer a efetividade da proteção dos ecossistemas aquáticos e da saúde pública.

Adicionalmente, é importante considerar algumas limitações associadas ao monitoramento utilizado no presente estudo. Os dados analisados foram obtidos a partir de campanhas periódicas de amostragem, representando condições específicas dos períodos monitorados, o que pode não captar integralmente variações sazonais, eventos extremos de precipitação ou picos temporários de contaminação associados aos períodos de aplicação agrícola. Além disso, parte dos resultados foi reportada como abaixo do limite de detecção analítico, indicando a possível presença de compostos em concentrações não quantificáveis pelo método empregado. Também deve ser considerado que a análise contemplou apenas os compostos previamente incluídos no método multirresíduo adotado, de modo que outros pesticidas potencialmente presentes na bacia podem não ter sido identificados. Essas limitações não invalidam os resultados obtidos, mas indicam a necessidade de ampliação contínua dos programas de monitoramento, com maior frequência amostral, inclusão de novos contaminantes emergentes e integração de análises ecotoxicológicas complementares.

Por fim, ressalta-se que a ausência de atualização periódica das normativas e a limitação na incorporação de novos contaminantes emergentes representam desafios adicionais. Esses aspectos reforçam a necessidade de aprimoramento contínuo das políticas públicas, com maior integração entre dados científicos e processos decisórios, visando à proteção efetiva dos recursos hídricos e da biodiversidade aquática.

Além da comparação direta entre concentrações detectadas e limites máximos permitidos, é necessário reconhecer que a avaliação regulatória de pesticidas em águas superficiais apresenta limitações importantes quando baseada exclusivamente em compostos individuais. Em ambientes agrícolas, a exposição aquática raramente ocorre de forma isolada, sendo mais comum a presença



simultânea de múltiplos pesticidas, metabólitos e produtos de degradação. Navarro et al. (2024), ao avaliarem 193 resíduos de pesticidas em corpos hídricos de regiões agrícolas da Europa e da Argentina, identificaram misturas de pesticidas em todos os corpos d'água analisados, com mediana de 20 compostos por local. Além disso, os autores observaram que, embora poucos pesticidas individuais apresentassem quocientes de risco elevados, a avaliação das misturas indicou risco ambiental potencial para o compartimento aquático (Navarro et al., 2024). De forma semelhante, Munaron et al. (2023) demonstraram que misturas de pesticidas em lagoas costeiras mediterrâneas francesas podem representar risco crônico para organismos aquáticos, mesmo quando a avaliação isolada de substâncias não capta integralmente a pressão tóxica do conjunto de compostos. Esses achados reforçam que abordagens regulatórias centradas apenas em limites individuais podem subestimar efeitos aditivos, cumulativos ou combinados.

No presente estudo, essa limitação é particularmente relevante, uma vez que foram detectados diferentes herbicidas, fungicidas, inseticidas e produtos de degradação no Rio Dourados, embora apenas parte desses compostos disponha de parâmetros legais em pelo menos uma das legislações analisadas. A ausência de limites para diversos contaminantes dificulta a interpretação da conformidade ambiental e evidencia um descompasso entre a dinâmica de uso agrícola, a capacidade de monitoramento e a atualização dos instrumentos normativos. Finckh et al. (2022), ao avaliarem contaminantes emergentes em efluentes de estações de tratamento de águas residuárias na Europa por cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas de alta resolução, identificaram ampla diversidade de compostos e destacaram a relevância de abordagens baseadas em risco para priorizar substâncias e misturas de maior preocupação ambiental. Assim, a ampliação dos programas de monitoramento para compostos não regulados, metabólitos e produtos de transformação constitui etapa essencial para tornar a avaliação da qualidade da água mais compatível com a complexidade real da contaminação ambiental.

Também é necessário cautela ao comparar padrões regulatórios concebidos para finalidades distintas. Algumas normas analisadas foram originalmente estruturadas para água potável e proteção da saúde humana, enquanto outras se relacionam à qualidade de águas superficiais ou à proteção de ecossistemas aquáticos. Van Winckel et al. (2021) demonstram que os padrões de qualidade da água variam substancialmente entre países em função dos usos da água considerados, dos critérios de avaliação de risco e dos objetivos de proteção adotados. Da mesma forma, Li e Fantke (2022) identificaram ampla variação internacional nos padrões aplicáveis a pesticidas em águas superficiais, incluindo diferenças quanto ao tipo de padrão, ao uso da água, ao número de substâncias regulamentadas e aos valores numéricos adotados. Assim, a comparação internacional realizada



neste estudo deve ser interpretada como uma análise comparativa de sensibilidade regulatória, e não como equivalência direta entre normas com objetivos jurídicos, sanitários e ecológicos distintos.

A discussão sobre justiça ambiental também se mostra pertinente em bacias hidrográficas inseridas em regiões de agricultura intensiva. A contaminação por pesticidas tende a afetar de maneira desigual populações rurais, trabalhadores agrícolas, comunidades próximas a áreas de aplicação e usuários de recursos hídricos localizados a jusante das zonas produtivas. Essa desigualdade é especialmente relevante em países do Sul Global, onde limitações institucionais, menor densidade de redes de monitoramento e dificuldades analíticas podem reduzir a capacidade de identificação precoce de riscos. Huang e Li (2025), ao mapearem globalmente a contaminação de águas doces por pesticidas, observaram disparidades relevantes entre países e destacaram a importância de redes abrangentes de monitoramento e gestão integrada de pesticidas para a proteção dos recursos hídricos. Dessa forma, programas de monitoramento em áreas agrícolas intensivas, como a Bacia Hidrográfica do Rio Dourados, assumem papel estratégico não apenas para avaliação técnica da qualidade da água, mas também para subsidiar políticas públicas orientadas à prevenção, transparência e equidade ambiental.

Outro ponto relevante diz respeito aos desafios analíticos associados à detecção de compostos não regulados, metabólitos e substâncias presentes em baixas concentrações. A interpretação de resultados abaixo do limite de detecção ou do limite de quantificação exige cautela, pois tais valores não indicam necessariamente ausência do contaminante, mas apenas que a concentração se encontra abaixo da capacidade de detecção ou quantificação do método empregado. Esse aspecto é regulatoriamente importante quando os limites legais são muito próximos dos limites analíticos disponíveis, pois a classificação de conformidade pode depender diretamente da sensibilidade do método. Gosset et al. (2021) destacam que abordagens de triagem por suspeitos, associadas à avaliação de risco ecotoxicológico, permitem identificar contaminantes de preocupação emergente que frequentemente não estão contemplados em listas regulatórias tradicionais. Esse tipo de ferramenta analítica contribui para ampliar a capacidade de detecção, priorização e gestão de compostos não regulados em ambientes aquáticos.

Assim, os resultados deste estudo indicam que a harmonização normativa deve avançar para além da simples comparação numérica de limites máximos permitidos. Uma agenda regulatória mais robusta para países do Sul Global deve considerar a ampliação da lista de pesticidas e metabólitos monitorados, a incorporação de critérios para avaliação de misturas, a definição de protocolos para interpretação de resultados abaixo dos limites de detecção e quantificação, o fortalecimento de redes de monitoramento em regiões agrícolas intensivas e a adaptação dos padrões internacionais às realidades ambientais, produtivas e institucionais locais. Como defendem Li e Fantke (2022), a



harmonização global dos padrões de pesticidas em águas superficiais é relevante para reduzir inconsistências regulatórias e fortalecer a proteção da saúde humana e dos recursos hídricos. Contudo, essa harmonização deve respeitar especificidades regionais e incorporar princípios de precaução, justiça ambiental e atualização científica contínua.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciam a ocorrência recorrente de pesticidas e produtos de degradação nas águas superficiais do Rio Dourados entre 2020 e 2022, com destaque para compostos de alta frequência de detecção, como atrazina, clorantraniliprole, tebuconazol e fipronil, além da tendência de aumento na ocorrência de alguns contaminantes ao longo do período analisado.

A comparação com diferentes legislações internacionais demonstra que a avaliação da qualidade da água é fortemente dependente do referencial normativo adotado. Embora as concentrações observadas estejam, em geral, em conformidade com normas de países como Brasil, Estados Unidos, Canadá e diretrizes da OMS, verificam-se inconformidades quando aplicados os critérios mais restritivos da União Europeia, tanto para compostos individuais quanto para o somatório de pesticidas.

Adicionalmente, a análise evidencia lacunas relevantes nas regulamentações, especialmente quanto à limitação do número de substâncias contempladas e à ausência, na maioria das legislações, de critérios que considerem efeitos cumulativos e potenciais interações entre compostos. Essas limitações comprometem uma avaliação mais abrangente da qualidade da água e da proteção dos ecossistemas aquáticos.

Os resultados também demonstram que a ausência de parâmetros legais para parte significativa dos compostos detectados representa um desafio importante para a gestão ambiental e para a interpretação da conformidade regulatória, evidenciando a necessidade de atualização contínua das normas ambientais frente à dinâmica de uso de pesticidas e ao surgimento de contaminantes emergentes.

Como limitações da pesquisa, destaca-se que o estudo foi baseado em dados secundários de monitoramento ambiental e em análise comparativa de legislações, não contemplando avaliações ecotoxicológicas integradas, ensaios de toxicidade ou investigação dos efeitos sinérgicos e cumulativos entre múltiplos pesticidas presentes simultaneamente nas amostras. Além disso, aspectos relacionados à sazonalidade, persistência ambiental e bioacumulação não foram aprofundados experimentalmente.



Diante disso, destaca-se a necessidade de aprimoramento e maior harmonização das normativas ambientais, com ampliação dos compostos regulamentados e incorporação de abordagens integradas baseadas em evidências científicas, considerando efeitos de misturas, metabólitos, produtos de degradação e limitações analíticas associadas à detecção e interpretação regulatória de contaminantes em águas superficiais, visando fortalecer a gestão dos recursos hídricos e a proteção ambiental.

REFERÊNCIAS

ALBOU, E. M. et al. **Agricultural practices and their impact on aquatic ecosystems: a mini-review.** *Ecological Engineering & Environmental Technology*, v. 25, n. 1, p. 321–331, 2024. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/175652>.

ANJUM, M. M. **Pesticides and environmental health: a review.** 2017. DOI: <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2017.05.555671>.

ARAÚJO, E. P.; CALDAS, E. D.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. **Relationship between pesticide standards for classification of water bodies and ecotoxicity: a case study of the Brazilian directive.** *Toxics*, v. 10, n. 10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics11070601>.

ARAYA, G. et al. **Groundwater leaching potential of pesticides: a historic review and critical analysis.** *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.5869>.

BABA, F. A. M. **Water pollution: causes, impacts, and solutions: a critical review.** 2024. DOI: <https://doi.org/10.37376/jsh.vi76.5785>.

BAI, Y.; RUAN, X.; HOEK, J. **Residues of organochlorine pesticides (OCPs) in aquatic environment and risk assessment along Shaying River, China.** *Environmental Geochemistry and Health*, v. 40, p. 2525–2538, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0117-9>.

BARROSO, G. et al. **Pesticide residues in Brazil: analysis of environmental legislation and regulation and the challenge of sustainable production.** *Sustainability*, v. 17, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17062583>.

BILAL, M.; IQBAL, H. M. N.; BARCELÓ, D. **Persistence of pesticides-based contaminants in the environment.** *Science of the Total Environment*, v. 688, p. 124–134, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133896>.

BRACK, W. **Solutions for present and future emerging pollutants in land and water resources management: policy briefs summarizing scientific project results for decision makers.** *Environmental Sciences Europe*, v. 31, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0252-7>.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá



outras providências. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>. Acesso em: 16 maio 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 16 maio 2026.

CAMPOS, P. A. S. et al. **Pesticides in surface and groundwater in three micro-basins of the São Lourenço River**. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/03067319.2024.2382944>.

CASARA, K. P. et al. **Environmental dynamics of pesticides in the drainage area of the São Lourenço River headwaters, Mato Grosso State**. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 23, n. 9, p. 1719–1730, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532012005000037>.

CHAGNON, M. et al. **Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services**. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 22, p. 119–134, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3277-x>.

CHANG, Q. et al. **Bioavailability and toxicity of imazethapyr in maize plant estimated by four chemical extraction techniques in different soils**. *Science of the Total Environment*, v. 801, p. 149594, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149594>.

CHAUHAN, A. et al. **A review on aquatic ecotoxicity of organophosphorus insecticide profenofos with reference to environmental fate and impact on fish**. *Journal of Applied and Natural Science*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.31018/jans.v17i3.6775>.

COMISSÃO EUROPEIA. **Anexos à proposta de diretiva do Parlamento Europeu e do Conselho sobre a qualidade da água destinada ao consumo humano (reformulação)**. Bruxelas, 2020. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52017PC0753>. Acesso em: 16 maio 2026.

CORIA, J.; ELGUETA, S. **Towards safer use of pesticides in Chile**. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18843-6>.

COSSU, L. O. et al. **Review on pesticide contamination and drinking water treatment in Brazil**. *ACS ES&T Water*, v. 4, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsestwater.4c00063>.

EISSA, F.; AL-SISI, M.; GHANEM, K. **Occurrence, human health, and ecotoxicological risk assessment of pesticides in surface waters of the River Nile's Rosetta Branch, Egypt**. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 55511–55525, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14911-5>.

EUROPEAN COMMISSION. **Guidance document on the assessment of exposure of operators, workers, residents and bystanders in risk assessment for plant protection products**. Brussels: European Commission, 2014. Disponível em: <https://food.ec.europa.eu>. Acesso em: 28 abr. 2026.



FINCKH, Saskia et al. **A risk based assessment approach for chemical mixtures from wastewater treatment plant effluents.** *Environment International*, v. 164, p. 107234, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107234>.

GAO, J. et al. **Risk assessment of heavy metals in pipe scales and loose deposits formed in drinking water distribution systems.** *Science of the Total Environment*, v. 652, p. 1387–1395, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.347>.

GAVRILAŞ, S. et al. **The impact of anthropogenic activities on water quality.** *Water*, v. 17, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/w17121791>.

GOSSET, Antoine et al. **Ecotoxicological risk assessment of contaminants of emerging concern identified by “suspect screening” from urban wastewater treatment plant effluents at a territorial scale.** *Science of the Total Environment*, v. 778, p. 146275, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146275>.

HEALTH CANADA. **Water Quality: reports and publications. Guidelines for Canadian drinking water quality. Chemical/Physical Parameters.** Ottawa, 2008. Disponível em: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/water-quality.html>. Acesso em: 16 maio 2026.

HUANG, Yabi; LI, Zijian. **Global mapping of freshwater contamination by pesticides and implications for agriculture and water resource protection.** *iScience*, v. 28, n. 7, p. 112861, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112861>.

IQBAL, K. et al. **Agrochemical contamination and fish health.** *Chemistry and Ecology*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1080/02757540.2025.2508993>.

KIM, Y.-E. et al. **Revealing the Extent of Pesticide Runoff to the Surface Water in Agricultural Watersheds.** *Water*, v. 15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15223984>.

KORTENKAMP, A. et al. **Mixture risks threaten water quality: the European Collaborative Project SOLUTIONS recommends changes to the WFD and better coordination across all pieces of European chemicals legislation to improve protection from exposure of the aquatic environment to multiple pollutants.** *Environmental Sciences Europe*, v. 31, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0245-6>.

KUMAR, A.; SINGH, A. **Behavior of imazethapyr in soil and its effect on crop growth.** *Journal of Environmental Biology*, v. 36, n. 4, p. 849–855, 2015.

LEITE, L. C. O. F. et al. **A comparison of maximum permissible concentrations.** *Rural Sustainability Research*, v. 50, 2023. DOI: <https://doi.org/10.2478/plua-2023-0011>.

LI, Z.; FANTKE, P. **Toward harmonizing global pesticide regulations.** *Journal of Environmental Management*, v. 301, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113909>.

LI, Z.; JENNINGS, A. **Global variations in pesticide regulations and health risk assessment of maximum concentration levels in drinking water.** *Journal of Environmental Management*, v. 212, p. 384–394, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.083>.



LI, Z.; JENNINGS, A. **Worldwide Regulations of Standard Values of Pesticides for Human Health Risk Control: A Review**. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 14, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph14070826>.

LONDON, Leslie et al. **Pesticide usage and health consequences for women in developing countries: out of sight, out of mind?** *International Journal of Occupational and Environmental Health*, v. 11, n. 4, p. 331–340, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1179/oeh.2002.8.1.46>.

MINISTRY OF HEALTH OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA. **GB 5749-2006: Standards for Drinking Water Quality**. Beijing, 2006. Disponível em: https://english.mee.gov.cn/Resources/standards/water_environment/quality_standard/200710/t20071024_111792.shtml. Acesso em: 16 maio 2026.

MUNARON, Dominique et al. **Evaluating pesticide mixture risks in French Mediterranean coastal lagoons waters**. *Science of the Total Environment*, v. 867, p. 161303, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161303>.

NATIONAL HEALTH AND MEDICAL RESEARCH COUNCIL (NHMRC). **Australian Drinking Water Guidelines 6**. Canberra ACT: National Health and Medical Research Council, 2011. Disponível em: <https://www.nhmrc.gov.au/sites/default/files/documents/reports/aust-drinking-water-guidelines.pdf>. Acesso em: 16 maio 2026.

NAVARRO, I. et al. **Assessing pesticide residues occurrence and risks in water systems: a Pan-European and Argentina perspective**. *Water Research*, v. 254, p. 121419, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121419>.

OLIVEIRA, D. M. et al. **Comparison of the drinking water standard for pesticides of the Brazil with other countries**. *Heliyon*, v. 9, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13783>.

PES, M. P. et al. **Translocation of chlorantraniliprole and cyantraniliprole applied to corn as seed treatment and foliar spraying to control Spodoptera frugiperda**. *PLoS ONE*, v. 15, n. 4, e0229151, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229151>.

PIMENTA, C. E. R.; SZELES, J.; VÁRBÍRÓ, G. **Water Quality Monitoring Systems: A Comparative Evaluation of Legislative Frameworks European and Brazilian**. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 19, 2025. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n4-096>.

PIZARRO, H. N. et al. **Pesticides in Latin American and Caribbean freshwater: a critical review**. *Inland Waters*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/20442041.2024.2398850>.

PRIMUS, A. et al. **Sustainable Water Management Strategies for Mitigating Pesticide Pollution in Urban and Agricultural Areas**. *Civil and Sustainable Urban Engineering*, v. 5, n. 1, p. 30–52, 2025. DOI: <https://doi.org/10.53623/csue.v5i1.629>.

REN, H. et al. **Screening of organic micropollutants**. *Environmental Sciences Europe*, v. 32, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00342-5>.

SCORZA JÚNIOR, R. P. et al. **Monitoramento dos resíduos de agrotóxicos em Mato Grosso do Sul: Rio Dourados – Ano: 2022**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2023. 6 p. Disponível em:



<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1143455/1/Monit-1-2022.pdf>. Acesso em: 16 maio 2026.

SCORZA JÚNIOR, R. P. et al. **Resíduos de agrotóxicos em águas do Rio Dourados, Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2021. 30 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 87). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1130741>. Acesso em: 16 maio 2026.

SCORZA JÚNIOR, R. P.; PAZ, R. B. S. **Método analítico multirresíduo para determinação de agrotóxicos e seus produtos de degradação em águas superficiais**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2020. 36 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 86). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126682>. Acesso em: 16 maio 2026.

SYAFRUDIN, M. et al. **Pesticides in drinking water: a review**. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18020468>.

TIWARI, A. K. et al. **Understanding the physicochemical dynamics of pesticides: implications for environmental management and sustainable agriculture**. *Agriculture Archives: an International Journal*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.51470/AGRI.2024.3.1.12>.

TSARIDOU, Eleni; KARABELAS, Anastasios J. **Drinking water quality standards and regulations: a comparative review of the European Union, United States and Canada**. *Desalination and Water Treatment*, v. 214, p. 1–12, 2021.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Atrazine: Updated Toxicological Profile**. 2006. Disponível em: <https://www.epa.gov>. Acesso em: 16 maio 2026.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Chlorantraniliprole Insecticide Risk Assessment**. 2008. Disponível em: <https://www.epa.gov>. Acesso em: 16 maio 2026.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Clothianidin: Human Health Risk Assessment**. 2017. Disponível em: <https://www.epa.gov>. Acesso em: 16 maio 2026.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Fipronil: Ecological Risk Assessment**. 2013. Disponível em: <https://www.epa.gov>. Acesso em: 16 maio 2026.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Guidelines for proper disposal of solid and liquid waste and monitoring requirements**. Washington, D.C.: USEPA, 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/guidelines-disposal>. Acesso em: 16 maio 2026.

VAN WINCKEL, T. et al. **Towards harmonization of water quality management: A comparison of chemical drinking water and surface water quality standards around the globe**. *Journal of Environmental Management*, v. 298, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113447>.

VICARI, C. et al. **Efeito do inseticida clorantraniliprole no desenvolvimento larval e na determinação de rainha da abelha sem ferrão *Plebeia droryana***. 2017.

WANDSCHEER, A. C. D. et al. **Impacto do uso de fungicidas e inseticidas sobre organismos aquáticos não alvos em lavouras de arroz irrigado**. *Ciência Rural*, v. 47, p. 1–7, 2017.



WANG, G. et al. **Risk assessment of organophosphorus pesticide residues in drinking water resources: statistical and Monte-Carlo approach.** *Chemosphere*, v. 307, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135632>.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for Drinking-Water Quality.** 4. ed. incorporating first and second addenda. Geneva: WHO, 2022. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>. Acesso em: abr. 2024.

WUIJTS, S. et al. **Achieving European water quality ambitions: governance conditions for more effective approaches at the local-regional scale.** *Sustainability*, v. 13, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13020681>.

YI, J. et al. **Crop grey water footprints in China: The impact of pesticides on water pollution.** *Science of the Total Environment*, v. 935, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173464>.