

**Potencial de contaminação ambiental dos herbicidas utilizados nas culturas do milho,  
soja e cana de açúcar**

**Potential for environmental contamination of herbicides used in corn, soy and sugar  
cane cultures**

**Potencial de contaminación ambiental de herbicidas utilizados en cultivos de maíz, soja  
y caña de azúcar**

Recebido: 08/08/2020 | Revisado: 16/08/2020 | Aceito: 18/08/2020 | Publicado: 23/08/2020

**Keila Cristina Vieira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0996-5661>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: keilavieira.bio@hotmail.com

**Cícero Teixeira Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5268-3742>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: ciceroagronomia@hotmail.com

**Marcio Marques da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5716-5928>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: marciomarquesmds@gmail.com

**Alexandre Sylvio Vieira da Costa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7251-7816>

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

E-mail: alexandre.costa@ufvjm.edu.br

**Resumo**

O crescimento populacional e consequente demanda por alimentos exerce uma forte pressão sobre o meio ambiente principalmente em áreas agrícolas. No Brasil, segundo maior exportador de alimentos do mundo, destaca-se a cana-de-açúcar, milho e soja, importantes commodities do agronegócio. No entanto, para que essa produção seja mantida, práticas agrícolas como o manejo de plantas daninhas, dos agrotóxicos e práticas proteção ambiental dos recursos naturais são essenciais. O método de controle químico das plantas daninhas com herbicidas é o mais utilizado, colocando o Brasil como maior consumidor mundial, em

quantidade. A presença dessas moléculas no ambiente podem afetar vários ecossistemas incluindo os recursos hídricos. Objetivou-se nesta revisão discorrer sobre potencial de contaminação com herbicidas utilizados na cultura da soja, milho e cana-de açúcar no Brasil. Os ingredientes ativos mais comercializados nos últimos anos foram o glyphosate, 2,4-D, atrazine e diuron. Estudos de monitoramento de resíduos de agrotóxicos têm sinalizado que esses agroquímicos estão presentes nos alimentos, atmosfera, águas superficiais e subterrâneas. Parte das formulações dos herbicidas comercializados para as culturas avaliadas apresenta classificação ambiental entre as classes II (Muito Perigoso) e III (Perigoso). Relatos de casos envolvendo a contaminação por herbicidas têm sido descritos no Brasil e no mundo. Atrazine é o herbicida com maior número de relatos como contaminante de água. O controle deve ser adotado dentro do manejo integrado para minimizar danos, além da conscientização dos agricultores sobre o uso consciente e sustentável e fiscalização dos órgãos competentes para o monitoramento nos recursos hídricos.

**Palavras-chave:** Agricultura; Agrotóxicos; Commodities; Meio ambiente.

### **Abstract**

Population growth and the consequent demand for food puts strong pressure on the environment, especially in agricultural areas. Brazil, the second largest exporter of food in the world, stands out the important sugarcane, corn and soybean agribusiness commodities. However, for this production to be maintained, agricultural practices such as weed management, pesticide management, and environmental protection practices of natural resources are essential. The method of chemical control of weeds with herbicides has been the most used, placing Brazil as the largest consumer in the world, in quantity. The presence of these molecules in the environment can affect several ecosystems including water resources. The objective of this review was to discuss the potential of contamination of water bodies with herbicides used in the cultivation of soybeans, corn and sugarcane in Brazil. The most traded active ingredients in recent years are glyphosate, 2,4-D, atrazine and diuron. Studies of the monitoring of pesticide residues have indicated that these agrochemicals are present in food, atmosphere, surface water and groundwater. Part of the formulations of the herbicides marketed for the evaluated crops has an environmental classification between Class II (Very Dangerous) and III (Dangerous). Case reports involving herbicide contamination have been described in Brazil and worldwide. Atrazine is the herbicide with the highest number of reports as a water contaminant. Control should be adopted within integrated management to

minimize damage, as well as farmers' awareness of the conscious and sustainable use and monitoring of the bodies responsible for monitoring water resources.

**Keywords:** Agriculture; Agrochemicals; Commodities; Environmental.

## Resumen

El crecimiento de la población y la consiguiente demanda de alimentos ejerce una fuerte presión sobre el medio ambiente, especialmente en las zonas agrícolas. Brasil, el segundo mayor exportador de alimentos en el mundo, destaca la caña de azúcar, el maíz y la soja, importantes productos agroindustriales. Sin embargo, para mantener esta producción, las prácticas agrícolas como el manejo de malezas, el manejo de pesticidas y las prácticas de protección ambiental de los recursos naturales son esenciales. El método de control químico de malezas con herbicidas ha sido el más utilizado, colocando a Brasil como el mayor consumidor mundial, en cantidad. La presencia de estas moléculas en el medio ambiente puede afectar diversos ecosistemas, incluidos los recursos hídricos. El objetivo de esta revisión fue discutir el potencial de contaminación de cuerpos de agua con herbicidas utilizados en el cultivo de soja, maíz y caña de azúcar en Brasil. Los ingredientes activos más comercializados en los últimos años son glifosato, 2,4-D, atrazina y diurón. Los estudios de monitoreo de residuos de pesticidas han señalado que estos agroquímicos están presentes en los alimentos, la atmósfera, las aguas superficiales y subterráneas. Parte de las formulaciones de los herbicidas comercializados para los cultivos evaluados tiene una clasificación ambiental entre las clases II (Muy peligroso) y III (Peligroso). Se han descrito informes de casos de contaminación por herbicidas en Brasil y en todo el mundo. La atrazina es el herbicida con el mayor número de informes como contaminante del agua. El control debe adoptarse dentro de la gestión integrada para minimizar los daños, además de aumentar la conciencia de los agricultores sobre el uso consciente y sostenible y la inspección por parte de los organismos competentes para controlar los recursos hídricos.

**Palabras clave:** Agricultura; Pesticidas; Productos básicos; Medio ambiente.

## 1. Introdução

Nos últimos 200 anos a população mundial cresceu mais de sete vezes, alcançando mais de sete bilhões de pessoas (US Census Bureau, 2016). Este crescimento da população mundial associado à crescente demanda por alimentos, exerce uma forte pressão sobre o meio

ambiente principalmente nas áreas agrícolas onde a produção é direcionada para atender o mercado das *commodities* agrícolas.

O Brasil é o segundo maior exportador de alimentos do mundo ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Entre as principais culturas produzidas no Brasil, o destaque tem sido à cana-de-açúcar, milho e soja, devido à grande importância dessas culturas no cenário nacional e mundial. A produção de cana-de-açúcar no Brasil para a safra 2016/2017 atingiu 691 milhões de toneladas, em uma área de 8,6 milhões de hectares. Dentre os estados brasileiros de maior produção estão São Paulo com 52%, Goiás com 10,4% e Minas Gerais com 10,1% (Conab, 2016).

A produção do milho no Brasil para a safra de 2015/2016 foi de 69 milhões de toneladas, em área de 15 milhões de hectares. Os principais estados brasileiros produtores são Mato Grosso, Paraná, Mato Grosso do Sul e Goiás, com produção de 15; 14; 6,9 e 6,4 milhões de toneladas de milho grão, respectivamente. A área plantada de soja no Brasil da safra 2017 foi de 33.903,4 milhões de hectares com produção de 102.446,6 milhões de toneladas. Os estados do Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás e Mato Grosso do Sul, foram responsáveis por 75,59% da safra brasileira de grãos de soja (Conab, 2016).

Para esses expressivos dados de produção das culturas no país, algumas práticas agrícolas são essenciais, uma vez que, o sucesso produtivo está intimamente correlacionado com o aperfeiçoamento do plantio direto e manejo das plantas daninhas. As interferências negativas das plantas daninhas que infestam as áreas cultivadas, afetam as fases iniciais de crescimento da cultura, competindo por água, luz e nutrientes, reduzindo a quantidade e qualidade produzida bem como aumentando os custos da produção (Kuva et al., 2003). A alta eficiência, praticidade e baixo custo do uso de herbicidas em relação a outros métodos de controle tornam o manejo químico de plantas daninhas com herbicidas o mais utilizado (Kuva et al., 2008; Monquero et al., 2011).

Segundo a ANVISA, desde 2009 o Brasil é o maior consumidor e produtor de agrotóxicos do mundo (Anvisa, 2013). Do total de agrotóxicos comercializados no Brasil, a maior parte refere-se aos herbicidas, chegando a quase 58% do total dos agrotóxicos comercializados, o que equivale à aproximadamente 295 mil toneladas de ingrediente ativo (Ibama, 2014). Estes herbicidas, apesar de serem formulados com propósito de ação somente sobre as plantas daninhas, podem também afetar organismos não alvo, bem como a contaminação de cursos hídricos subterrâneos e/ou superficiais, em função da lixiviação e escoamento superficial, decorrentes da toxicidade e ecotoxicidade do ingrediente ativo ou das formulações comerciais existentes (Santos et al., 2013).

Dores et al., (2006) estudando a contaminação em áreas sob cultivo intensivo das culturas de algodão, milho e soja indicaram a presença de alguns herbicidas na água subterrânea na região Centro Oeste, que normalmente é usada para o consumo humano. Alguns resultados indicaram que os maiores níveis encontrados nas amostras de água foram,  $1,732 \mu\text{g L}^{-1}$  para o metolacoloro,  $0,063 \mu\text{g L}^{-1}$  para a atrazine,  $0,061 \mu\text{g L}^{-1}$  para o simazine e  $0,351 \mu\text{g L}^{-1}$  para o metribuzin, que são herbicidas recomendados para aplicação nas grandes culturas agrícolas do Brasil, como soja, milho e cana-de-açúcar.

Diante do exposto, torna-se importante uma avaliação detalhada do potencial de contaminação dos herbicidas empregados nas principais culturas produzidas no Brasil. Objetivou-se com esse trabalho, discorrer, com base nas informações disponíveis em órgãos ambientais brasileiros, o potencial de contaminação dos corpos hídricos com os herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar, milho e soja.

## **2. Herbicidas mais Utilizados nas Culturas do Milho, Soja e Cana-de-Açúcar**

No Brasil atualmente são registrados 39 ingredientes ativos para a cultura do milho, 47 para a cana-de-açúcar e 55 para a cultura da soja (Mapa, 2016). Destaca-se que grande parte desses produtos é recomendado para aplicações em pré-emergência e pós-emergência inicial, sendo o principal destino o solo (Rodrigues e Almeida, 2005; Monquero et al., 2011). Ao entrarem em contato com o solo, os herbicidas estão sujeitos a processos físico-químicos que regulam seu destino no ambiente, podendo ser perdido para água através da lixiviação e escoamento superficial (Mancuso et al., 2011).

De acordo com o IBAMA, em 2014 os principais herbicidas comercializados para a cultura do milho no Brasil foram; o glyphosate, 2,4-D e atrazine, seguidos dos diuron, clomazone, ametrin, trifluralin, bentazon, glyphosate, sal de isopropilamina, simazine, imazetapyr, nicossulfuron, metilsulfurom e imazaquim. Para cultura da cana-de-açúcar os mais utilizados são o glyphosate, 2,4-D, atrazine seguidos do diuron, dicloreto de paraquate, clomazone, tebutiurom, ametrina, picloram, trifluralin, hexazinona, metribuzim, MSMA, glyphosate, sal de isopropilamina, simazina e metsulfurom-metílico. Para a cultura da soja, os principais herbicidas utilizados: glyphosate, 2,4-D, clomazone, bentazon, clorimuron-etílico, lactofen, fenoxaprop, metribuzim, ametrina, trifluralin, glyphosate-sal de isopropilamina, imazetapir (Tabela 1).

De todos os herbicidas citados o glyphosate, 2,4-D, atrazine e diuron foram os quatro ingredientes ativos mais vendidos nos últimos anos, com 193, 36, 13 e 8 mil toneladas

respectivamente (Tabela 1). O primeiro lugar absoluto em vendas no ano de 2014 foi o glyphosate, quantidade aproximadamente três vezes maior do que o total de todos os demais herbicidas. Esses números significativos de comércio do glyphosate tem como responsável a introdução das culturas geneticamente modificadas (Klump e Qaim, 2014).

**Tabela 1:** Relação dos principais herbicidas comercializados no ano de 2014 para as culturas de milho, soja e cana-de-açúcar.

Herbicida	Grupo Químico	Quantidade	Cultura
2,4-D	Ácido ariloxialcanoico	36.513,55	Milho, soja e cana
glyphosate	Glicina substituída	193.947,87	Milho, soja e cana
atrazine	Triazinas	13.911,37	Milho, cana
diuron	Ureia substituída	8.579,52	Milho, cana
dicloreto de paraquate	Bipiridílio	8.404,76	Cana
clomazona	Isoxazolidinona	5.420,32	Milho, soja e cana
tebuthiuron	Uréia	3.952,54	Cana
bentazon	Tiadiazina	1.250,80	Milho e soja
clorimuron-etílico	Sulfoniluréia	331,54	Milho e soja
lactofen	Difeniléteres	197,60	Soja
fenoxaprop	Ariloxifenoxipropionico	138,80	Soja
metribuzin	Triazinas	1.034,43	Soja, milho e cana
ametrina	Triazinas	2.278,98	Soja, milho e cana
picloram	Ácido piridinocarboxílico	2.022,89	Cana
trifluralina	Dinitroanilina	1.594,00	Soja, milho e cana
hexazinona	Triazinona	1.381,45	Cana
MSMA	Organoarsênico	1.015,99	Cana
glifosato-sal de isopropilamina	Glicina substituída	929,97	Soja, milho e cana
simazina	Triazinas	491,78	Milho e cana
imazetapir	Imizadozolinona	381,50	Soja e milho
nicosulfurom	Sulfonilureia	69,23	Milho
metsulfurom-metílico	Sulfoniluréia	56,30	Cana
imazaquim	Imizadozolinona	25,06	Soja e milho

Fonte: IBAMA (2014).

Diante do aumento significativo e exponencial do uso destes herbicidas no país ao longo dos anos, diversos órgãos ambientais têm suscitado questionamentos preocupantes acerca dos efeitos desses agrotóxicos no meio ambiente, como os corpos hídricos, e também

na saúde do homem. Os estudos de monitoramento de resíduos de agrotóxicos têm aumentado significativamente nos últimos anos, sinalizando que resíduos de agroquímicos estão frequentemente presentes nos alimentos (Anvisa, 2013), na atmosfera (Moreira, et al., 2012), nas precipitações (Nogueira et al., 2012) e águas superficiais e subterrâneas (Dores et al., 2008). Segundo o IBGE, o esgoto sanitário, os resíduos de agrotóxicos e a destinação inadequada dos resíduos sólidos urbanos foram relatados como responsáveis por 72% das incidências de poluição na captação em mananciais superficiais, 54% em poços profundos e 60% em poços rasos.

De acordo com o IBAMA (2014), a avaliação do potencial de periculosidade ambiental dos agrotóxicos é definido pela portaria 84/96, que estabelece os critérios para o registro e liberação de um produto, a partir de dados físico-químicos, cor, odor, pressão de vapor, solubilidade, pH, hidrólise, fotólise, coeficiente de partição (n-octanol/água), dados de toxicidade à organismos não alvo em diversos níveis tróficos, comportamento no solo, potencial genotóxico, embriofetotóxico e carcinogênico.

Mesmo para as outras classes toxicológicas, a tendência continua, embora em menores quantidades de formulações. É possível perceber uma concentração dos produtos entre a classe ambiental II e III.

**Tabela 2:** Classificação ambiental dos herbicidas formulados para aplicação na cultura da soja, milho e cana-de-açúcar.

Toxicologia	Ambiental	Milho	Soja	Cana
I	I	10	2	6
	II	55	3	41
	III	48	0	49
	IV	0	0	0
II	I	2	10	1
	II	36	25	34
	III	30	26	26
	IV	0	0	0
III	I	0	0	0
	II	61	12	45
	III	91	62	73
	IV	0	0	0
IV	I	0	0	0
	II	12	2	7
	III	15	39	10
	IV	0	0	0
Total	-	360	232	292

Fonte: Agrofit/MAPA (2016).

A maior parte das formulações de herbicidas recomendados para as culturas do milho, soja e cana apresentam classificação ambiental entre as classes II (Muito Perigoso) e III (Perigoso) ao ambiente. Para o milho, estão registradas 360 formulações em 39 ingredientes ativos diferentes registrados. Do total de formulações, a maior parte encontra-se inserida na classe toxicológica III (Medianamente tóxico) e com classificação ambiental II (Muito Perigoso) e III (Perigoso) com 61 e 91 formulações para o milho respectivamente. A mesma tendência é verificada para as outras culturas. São registrados com classificação ambiental II e III, 12 e 62 formulações para a soja, 45 e 73 para a cana respectivamente (Tabela 2).

### **2.1. Potencial de Contaminação das Águas Superficiais e Subterrâneas**

Um herbicida pode contaminar os cursos d'água pelo escoamento superficial, sub superficial e lixiviação (Santos et al., 2013). Para o estudo do comportamento dessas moléculas no ambiente, alguns modelos de probabilidade de contaminação de pesticidas em água, podem fornecer informações relevantes e úteis no conhecimento dos possíveis efeitos ambientais da aplicação de agrotóxicos. Os modelos para avaliação da probabilidade de contaminação de água subterrânea levam em consideração, isoladamente ou em conjunto, as propriedades dos pesticidas, as condições ambientais, as características da paisagem e as práticas de manejo. Existem modelos mais simples como o índice GUS (Potencial de Lixiviação), EPA (*Escreening* EPA) e LIX (Potencial de lixiviação) que consideram somente as propriedades dos pesticidas, e modelos mais complexos, como AF (Fator de atenuação potencial de lixiviação), RF (Potencial de adsorção retardamento) e TLPI (Potencial de Lixiviação) (Lourencentti et al., 2004). Dentre todos os herbicidas, glyphosate, o 2,4-D e a Atrazina merecem destaque visto que juntos representam 91% do total das vendas no Brasil em 2014 (Ibama, 2014).

De acordo com as informações disponíveis pelo Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), através do Agrofit, grande parte dos produtos à base do glyphosate disponíveis, estão classificados na classe III, considerados como perigosos ao ambiente. Seguindo os critérios estabelecidos pelos novos sistemas de classificação, o glyphosate de acordo com o método GUS é considerado como um pesticida não lixiviável. Enquanto que pelos critérios da USEPA, o mesmo se enquadra na classe de contaminantes potenciais (Santos et al., 2013). O glyphosate é fortemente adsorvido na maioria dos solos, apresenta meia vida de 46 dias sendo considerado como moderadamente persistente no solo, na água a meia vida é 35 dias. De acordo com Solomom e Thompson (2003), a grande solubilidade do glyphosate e seus sais em água, sugerem que estes apresentam grande mobilidade em água,

contudo, a sua persistência é curta, sendo degradada pelos microrganismos ou ligados aos materiais inertes.

Resíduos de glyphosate quando presentes na água, afetaram o crescimento de plantas de *Bolboschoenus maritimus* através de uma interação direta com o sistema radicular, em concentrações de 30 mg.L<sup>-1</sup> provocando a redução de 30% na biomassa. Esta redução pode ser explicada pela diminuição na taxa fotossintética líquida (Naramjo e Martin, 2013). Alterações hepáticas em juvenis de *Leporinus macrocephalus*, quando submetidos as concentrações de glyphosate 6,67 e 13,3 mg L<sup>-1</sup> foram observadas por Albinati et al., (2007).

Já o 2,4-D é aplicado no controle em pré e pós emergência das plantas daninhas infestantes na cultura do arroz, aveia, café, cana-de-açúcar, centeio, cevada, milho, pastagens, soja, sorgo e trigo (Mapa, 2016). Embora seja uma molécula muito difundida entre os produtores, o herbicida apresenta uma classificação toxicológica classe I produto extremamente tóxico. Cerca de 88% dos produtos comerciais registrados a base de 2,4-D, apresentam classificação máxima para a toxicidade. No entanto, a classificação ao nível de periculosidade ambiental coloca a molécula como um produto perigoso (Classe III) ou muito perigoso (Classe II). De maneira geral o 2,4-D apresenta meia vida no solo de 34 dias enquanto que na água a meia vida pode chegar até 39 dias. Pela classificação GOSS, o 2,4-D apresenta baixo potencial de transporte de sedimento e médio potencial de transporte dissolvido em água. É considerado um produto provável de lixiviação pelo método GUS, enquanto pelo EPA o mesmo é classificado como não lixiviável (Britto et al., 2012). O 2,4-D também pode chegar aos cursos d'água através de outros meios. Por apresentar baixa pressão de vapor, o produto pode ser perdido facilmente para atmosfera através da volatilização que acrescida da deriva. Podem também contaminar águas superficiais de córregos e nascentes. Concentrações de 5,09 mg L<sup>-1</sup> de 2,4-D foram encontradas em amostras de água coletadas no rio Iquiri no município de Capixaba/AC na estação chuvosa, enquanto na estação da seca foi encontrado concentração de 2,08 mg L<sup>-1</sup>. As concentrações altas no período chuvoso são devido a maior utilização deste herbicida nessa época (Chaiam et al., 2009). Quando presente em água o herbicida pode ser prejudicial em várias espécies aquáticas. Benli et al., (2007) avaliando a toxicidade aguda em lagostas demonstraram que o 2,4-D é tóxico a *Astacus leptodactylus*. Em concentrações acima de 30 mg L<sup>-1</sup>, foram observadas mudanças no comportamento das lagostas, com início uma hora após a administração. Estudos preliminares mostraram que o 2,4-D em concentrações acima de 70 mg L<sup>-1</sup> podem levar a mortalidade de *Xenopus laevis*, e concentrações entre (60 e 70 mg L<sup>-1</sup>) causaram malformações intestinais e edemas. A presença de fenilureias, como 2,4- D foram tóxicas para *Lemna minor* e também

para *Vibrio fischeri*. Existe uma potencial ameaça ambiental para os organismos fotossintéticos aquático, devido à presença de diuron e linuron derivados do 2,4-D (Gatidou et al., 2014).

O atrazine é um herbicida de ação residual, e apresenta solubilidade em água de 33 ppm,  $pka = 1,7$ ,  $kow = 481$  e  $koc$  médio de  $100 \text{ mL g}^{-1}$  de solo. É adsorvido pelos coloides da argila e da matéria orgânica. É pouco lixiviável, não sendo comumente encontrado em solos cultivados em profundidade superior a 30 cm. Apresenta persistência média no solo entre cinco a sete meses nas doses indicadas (Vargas et al., 2006). Pela classificação ambiental, quanto ao potencial de contaminação de água subterrânea (EPA e GUS) e superficial (GOSS), o atrazine é classificado como um herbicida com potencial de contaminação, uma vez que apresenta alta solubilidade em água, com provável lixiviação (GUS). Por apresentar meia vida longa, o atrazine é enquadrado na classificação de GOSS com alto potencial de contaminação de águas superficiais e média capacidade quando associado a sedimentos (Santos et al., 2013). A média da concentração dos resíduos deste herbicida em corpos de água próximos a áreas de agricultura é de  $20 \mu\text{g L}^{-1}$  (Nwani, 2010). Em estudos na planície do Rio Danúbio na Bulgária, o atrazine foi o pesticida mais frequentemente detectado em águas subterrâneas, e o alacloro, 2,4-D, metolacoloro foram encontrados em águas subterrâneas e superficiais (Balinova e Mondesky, 1999).

## 2.2. Estudos de Casos Envolvendo a Contaminação de Água por Herbicidas

Segundo a portaria Nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, preconiza que os valores máximos tolerados de resíduos de herbicidas em água potável é de  $30 \mu\text{g L}^{-1}$  para o 2,4-D;  $20 \mu\text{g L}^{-1}$  de alaclor,  $1, 2 \mu\text{g L}^{-1}$  de atrazine e simazine;  $90 \mu\text{g L}^{-1}$  de diuron;  $500 \mu\text{g L}^{-1}$  de glyphosate,  $10 \mu\text{g L}^{-1}$  de metolacoloro e  $20 \mu\text{g L}^{-1}$  de trifluralin.(Brasil, 2017).

Relatos de casos envolvendo a contaminação por esses herbicidas têm sido descritos com frequências em diversos ambientes aquáticos ao longo do mundo, inclusive no Brasil. Walls et al., (1996) afirma que os pesticidas mais frequentemente encontrados em águas subterrâneas usadas para consumo humano na Grã-Bretanha foram, atrazine, simazine, mecoprop, isoproturom e 2,4-D com valores máximos variando de 0,2 a  $0,5 \mu\text{g L}^{-1}$ .

Na sub-bacia do Rio Corumbataí, integrante da bacia do Rio Piracicaba -SP, uma região amplamente explorada por atividades agropastoris e cana-de-açúcar, foram encontradas concentrações do herbicida tebutirom em amostras de águas profundas do aquífero Guarani, na região de Ribeirão Preto-SP (Gomes et al., 2001). Armas et al., (2007) em seus estudos no local detectaram quali-quantitativamente resíduos de herbicidas dos grupos químicos das triazinas (ametrina, atrazina e simazina), das triazinonas (hexazinona), das isoxazolidinonas (clomazone) e da glicina substituída (glyphosate) em amostras de água, no período estudado. Estes resultados condizem com os herbicidas citados neste trabalho que são alguns dos ingredientes ativos mais utilizados para as culturas da cana-de-açúcar, milho e soja. Os autores verificaram que as triazinas foram os contaminantes, presentes em níveis mais elevados (ametrina > atrazina > simazina). De acordo com Armas et al., (2007) as triazinas foram os herbicidas detectados em níveis mais elevados, acima do padrão de potabilidade brasileira, principalmente na região norte de São Paulo, onde se verificam áreas de recarga do aquífero Guarani, de maior vulnerabilidade.

Em se tratando das triazinas, o atrazine é o herbicida com maior número de relatos como contaminante de água no mundo. No Brasil, nos estudos desenvolvidos por Armas et al. (2007), as concentrações do produto em água superficial variaram entre 0,6 e 2,7  $\mu\text{g L}^{-1}$ , em águas coletadas em região com predomínio de cana-de-açúcar.

Britto et al., (2012) buscando avaliar os riscos de contaminação por herbicidas das águas subterrâneas e superficiais realizaram o monitoramento do diuron e ametrina na Sub-bacia do Rio Poxim. O levantamento dos herbicidas usados no local resultou em uma lista de 14 princípios ativos mais comumente utilizados. Com os critérios propostos pela USEPA e GUS, classificou-se o diuron e a ametrina como os mais propensos à contaminação de água superficial, verificando que esses produtos estão presentes em rios no Estado de Sergipe em concentrações de até 0,9  $\mu\text{g L}^{-1}$  (diuron) e 0,5  $\mu\text{g L}^{-1}$  (ametrina). De acordo com os autores, o principal contribuinte para a chegada dos produtos na água é a intensidade de chuva que gera escoamento superficial de solo e herbicida.

Foram detectados a presença de atrazine, metolacoloro, carbofuram, paration-metil, imidacloprido e diuron, em concentrações de 0,07; 0,041; 1,08; 0,17; 3,41; 2,00  $\mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente, na água de poços tubulares em áreas de cultivo de algodão na microrregião de primavera do leste, Mato Grosso. A ocorrência destes compostos em águas de poços tubulares, com profundidades variando de 12 a 70 metros, mostra a vulnerabilidade das águas subterrâneas na região de estudo, especialmente devido ao uso continuado dos pesticidas na lavoura (Souza et al., 2004).

Jacomini et al., (2011) em seus estudos também detectaram resíduos de ametrina nas águas e biota do rio Mogi-Guaçu e nos sedimentos dos rios Sapucaí e Pardo próximos a locais de cultivo de cana-de-açúcar, onde o herbicida é bastante utilizado. Nos sedimentos do leito do rio as concentrações foram consideradas altas, com potencial para remobilização dos produtos novamente para a coluna de água e também contaminação da biota.

Traços de diuron e hexazinona foram detectados (0,26 a 7,12  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) por Dantas et al., (2009), em águas subterrâneas de poços localizados em zona de recarga, próximos à cultura de cana-de-açúcar em Ribeirão Preto –SP.

### **3. Considerações Finais**

A crescente demanda por alimentos trouxe consigo a intensa utilização de agrotóxicos, principalmente herbicidas, e uma preocupação com o risco de contaminação ambiental, haja vista que muitos desses produtos demonstram persistência no ambiente com possível potencial de contaminação dos rios e lagos.

Medidas que possam reduzir a quantidade utilizada ou a utilização de moléculas menos prejudiciais devem ser enfatizadas. Muitos efeitos danosos ao ambiente, causados pelos agrotóxicos podem ser diminuídos se outros tipos de controle forem adotados como: manejo integrado de pragas e plantas daninhas, plantio direto, rotação de cultura, alternância entre formulações dos princípios ativos.

Um fator relevante é a conscientização dos agricultores, sobre os prováveis riscos de contaminação para que sejam tomadas medidas preventivas de controle, a serem realizadas durante a aplicação, na lavagem dos equipamentos e nos descartes dos mesmos.

Todas as moléculas, são potenciais causadoras de impactos ao meio ambiente, contudo, o uso consciente e sustentável pode minimizar este impacto.

Torna-se relevante também o estabelecimento de diretrizes para o gerenciamento ambiental das áreas de produção agrícola que fazem uso de agrotóxicos, com estabelecimento de ações sustentáveis que visem a redução e a substituição destes produtos nos campos de produção. A fiscalização pelos órgãos competentes associados a medidas socioeducativas que visem o manuseio desses produtos, aplicação correta, uso das doses recomendadas, o correto descarte de embalagens e dos resíduos nos equipamentos são essências para o equilíbrio dos ambientes agrícolas.

Por fim, podemos prever que o impacto dos pesticidas na qualidade das águas deve continuar sendo objeto de estudos científicos e assunto de saúde pública, especialmente em áreas em que as águas subterrâneas são a principal fonte para consumo humano.

## Referências

Albinati, A. C. L., Moreira, E. L. T., Albinati, R. C. B., Carvalho, J. V., Santos, G. B., & Lira, A. D. (2007). Toxicidade aguda do herbicida Roundup para piaçu (*Leporinus macrocephalus*). *Revista Brasileira de Saúde Produção Animal*, 8, 184-192.

Anvisa – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2013). Recuperado de <http://portal.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/home>.

Armas, E. D., Monteiro, R. T. R., Antunes, P. M., Santos, M. A. P. F., & Camargo, P. B. (2007). Diagnóstico espaço temporal da ocorrência de herbicidas nas águas superficiais e sedimentos do Rio Corumbataí e principais afluentes. *Química Nova*, 30(5), 1119-1127.

Balinova, A. M., & Mondesky, M. (1999). Pesticides contamination of ground and surface water in Bulgarian Danube Plain. *J. Environ. Sci. Health*, 34(1), 33-46.

Benli, A. C. K., Sarikaya, R., Dincel, A. S., Selvi, M., Sajin, D., & Erkoç, F. (2007). Investigation of acute toxicity of (2,4-dichlorophenoxy)acetic acid (2,4-D) herbicide on crayfish (*Astacus leptodactylus* Esch. 1823). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 88, 296-299.

Britto, F. B., Vasco, A. N., Pereira, A. P. S., Junior, A. V. M., & Nogueira, L. C. (2012). Herbicidas no alto Rio Poxim, Sergipe e os riscos de contaminação dos recursos hídricos. *Revista Ciência Agronômica*, 43(2), 390-398.

Brasil-Ministério da Saúde. (2017). Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, Recuperado de [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html).

Chaim, C. F., Plese, L. P. M., & Consolin, F. (2009). Monitoramento do Rio Iquiri no Município de Capixaba/AC do herbicida 2,4-D utilizado na cultura da cana-de-açúcar. Recuperado de <http://connepi.ifal.edu.br/ocs/index.php/connepi/Connepi2010/paper/view/1667/43>.

Conab – Companhia Nacional de Abastecimento (2016). Perspectiva para a agropecuária. 132p. Recuperado de [www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br).

Dantas, A. D. B., Paschoalato, C. F. P. R., Ballejo, R. R., & Bernardo, L. D. (2009). Pré-oxidação e adsorção em carvão ativado granular para remoção dos herbicidas diuron e hexazinona de água subterrânea. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. 14(3),373-380.

Dores, E.F. G. C., Navickiene, S., Cunha, M. L. F., Carbo, L., Ribeiro, M. L., & Freire, E. M. L. (2006). Multiresidue determination of herbicides in environmental waters from Primavera do Leste Region (Middle West of Brazil) by SPE-GC-NPD. *Journal of the Brazilian Chemical Society*.17(5), 866-873.

Dores, E. F. G. C., Carbo, L., Ribeiro, M. L., & Freire, E. M. L. (2008). Pesticide levels in ground and surface waters of Primavera do Leste region, Mato Grosso, Brazil. *Journal of Chromatographic Science*. 46, 585-590.

Gatidou, G., Stasinakis, A. S., & Latrou, E. I. (2014). Assessing single and joint toxicity of three phenylurea herbicides using *Lemna minor* and *Vibrio fischeri* bioassays. *Chemosphere*, 119, 69-74.

Gomes, M. A. F., & Spadotto, C. A. (2001). Biodegradação. Embrapa Meio Ambiente: Jaguariúna.

Ibama - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2014). Substâncias Químicas. Agrotóxicos. Recuperado de [http://www.ibama.gov.br/index.php?option=com\\_blankcomponent&view=default&Itemid=839](http://www.ibama.gov.br/index.php?option=com_blankcomponent&view=default&Itemid=839).

Jacomini, A. E., Camargo, P. B., Avelar, W. E. P., & Bonato, P. S. (2011). Assessment of ametryn contamination in river water, river sediment, and mollusk bivalves in São Paulo State, Brazil. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 60,452-461.

Klumper, W., & Qaim, M. (2014). A Meta-Analysis of the Impacts of Genetically Modified Crops. *PLoS ONE*. 9(11) e111629.

Kuva, M. A., Gravena, R., Pitelli, R. A., Christoffoleti, P. J., & Alves, P. L. C. (2003). A. Períodos de interferência das plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar. III – capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) e capim-colonião (*Panicum maximum*). *Planta Daninha*, 21(1), 37-44.

Kuva, M. A., Ferraudo, A. S., Pitelli, R. A., Alves, P. L. C. A., & Salgado, T.P. (2008). Padrões de infestação de comunidades de plantas daninhas no agroecossistema de cana-crua. *Planta Daninha*. 26(4), 549-557.

Lourencetti, C., Ribeiro, M. L., & Silva, M. S. (2004). Avaliação do risco de contaminação de água subterrânea por pesticidas: comparação entre modelos (2004). *XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23366>.

Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2016). Agrofit (Sistema de Agrotóxicos fitossanitários. Recuperado de [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons).

Mancuso, M. A. C., Negrisoni, E., & Perim, L. (2011). Efeito residual de herbicidas no solo (“Carryover”). *Revista Brasileira de Herbicidas*. 10(2), 151-64.

Monquero, P. A., Binha, D. P., Inácio, E. M., Silva, P. V., & Amaral, L. R. (2011). Seletividade de herbicidas em variedades de cana-de-açúcar. *Brangantia*. 70(2),285-293.

Moreira, J. C., Peres, F., Simões, A. N., Pignati, W. A., Dores, E. C., Vieira, S. N., Strüssemann, C., & Mott, T. (2012). Contaminação de águas superficiais e de chuva por

agrotóxicos em uma região do estado do Mato Grosso. *Ciência e Saúde Coletiva*.18,557-1568.

Naranjo, M. E. & Martin, A. P. (2013). Effects of sub-lethal glyphosate concentrations on growth and photosynthetic performance of non-target species *Bolboschoenus maritimus*. *Chemosphere*, 93,2631–2638

Nogueira, E. N., Dores, E. F. G. C., Pinto, A. A., Amorim, R. S. S., Ribeiro, M. R., & Lourencetti, C. (2012). Currently used pesticides in water matrices in Central-western Brazil. *Journal of Brazilian Chemical Society*. 23,1476-1487.

Nwani, C. D., et al. (2010). Toxicity of the Herbicide Atrazine: Effects on Lipid Peroxidation and Activities of Antioxidant Enzymes in the Freshwater Fish *Channa punctatus* (Bloch). *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 7(8),3298- 3312.

Rodrigues, B. N., & Almeida, F. L. S. (2005). Guia de herbicidas. (5a ed.), Londrina: Grafmarke.

Santos, E. A., Correia, N. M., & Botelho, R. G. (2013). Resíduos de herbicidas em corpos hídricos – Uma revisão. *Revista Brasileira de Herbicidas*. 12(2), 188-201.

Solomon, K. R., & Thompson, D. G. (2003). Ecological risk assessment for aquatic organisms from over-water uses of glyphosate. *Journal of Toxicology and Environmental Health*. 6(3), 211-246.

Souza, V., Carbo, L., Dores, E. F. G. C., Ribeiro, M. L., Vecchiato, A. B., Weber, O. L. S., Pinto, A. A., Spadotto, C. A., & Cunha, M. L. F.(2004). Determinação de pesticidas em águas de poços tubulares em áreas de cultura de algodão na microrregião de primavera do leste, Mato Grosso. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2004. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23431>.

US Census Berau. (2016). International Programs, World Population. Recuperado de <http://goo.gl/z85UVP>.

Vargas, L., Peixoto, C. M., & Roman, E. S. (2006). Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. Passo Fundo: Embrapa Trigo. 20. Recuperado de [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do61.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do61.htm).

Walls, D., Smith, P. G., & Mansell, M. G. (1996). Pesticides in groundwater in Britain. *International Journal of Environmental Health Research*. 6(1),55-62.

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Keila Cristina Vieira – 25%

Cícero Teixeira da Silva – 25%

Marcio Marques da Silva – 25%

Alexandre Sylvio Vieira da Costa – 25%