



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

AMANDA LUÍZA DE GRANDI

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E
SUBTERRÂNEAS POR AGROTÓXICOS NO BRASIL, ATRAVÉS DOS MÉTODOS
DE GUS E DE LEACH**

ERECHIM

2021

AMANDA LUÍZA DE GRANDI

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E
SUBTERRÂNEAS POR AGROTÓXICOS NO BRASIL, ATRAVÉS DOS MÉTODOS
DE GUS E DE LEACH**

Trabalho de conclusão de curso apresentado na
Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e
Sanitária.

Orientadora: Profa. Dra. Marília Teresinha
Hartmann

ERECHIM

2021

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Grandi, Amanda Luíza de
AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS
SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS POR AGROTÓXICOS NO BRASIL,
ATRAVÉS DOS MÉTODOS DE GUS E DE LEACH / Amanda Luíza de
Grandi. -- 2021.
43 f.

Orientadora: Profa. Dra. Marília Teresinha Hartmann

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária,
Erechim, RS, 2021.

I. Hartmann, Marília Teresinha, orient. II.
Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

AMANDA LUÍZA DE GRANDI

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E
SUBTERRÂNEAS POR AGROTÓXICOS NO BRASIL, ATRAVÉS DOS MÉTODOS
DE GUS E DE LEACH**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção de grau de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Federal da Fronteira Sul.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 21/05/2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Marília Teresinha Hartmann
Orientadora

Prof. Dr. Altemir Mossi

UFFS

Prof. Dr. Paulo Afonso Hartmann

UFFS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por toda a força e luz a mim enviados durante a trajetória acadêmica e principalmente durante a elaboração deste trabalho, por atender meus pedidos em todas as vezes que orei pedindo ajuda.

Aos meus pais Alcebíades e Tatiana, por todo o amparo, incentivo, compreensão e amor incondicional. Por colocarem meus sonhos em primeiro lugar e por fazerem o possível e o impossível para me proporcionar sempre o melhor, por acreditarem em mim e por saberem e me mostrarem que eu sou capaz.

Ao meu irmãozinho Alberto, por ser meu porto seguro em dias difíceis, por trazer leveza e alegria para os dias ruins, por me fazer esquecer os problemas, por me fazer voltar a ser criança.

À minha nona Assunta, minhas tias, Maria e Tania e minha madrastra Franciele, por sempre me auxiliarem em toda a minha caminhada, por sempre zelarem por mim e por sempre me tranquilizarem em momentos de desespero.

Ao meu namorado e parceiro Guilherme, que esteve comigo em todos os momentos em que tive vontade de desistir, por consolar meu choro e por sempre me fazer pensar que tudo daria certo no final. Te amo!

Aos meus entes queridos que já partiram, mas que me protegem e me guiam de outro plano.

Aos meus grandes amigos da graduação, Sandrine, Liane, Suélen, Heloísa e Luiz, que levarei para sempre na memória e no coração. Sou grata por tantos anos vividos lado a lado, estudando, sofrendo, chorando, rindo e, acima de tudo, sendo felizes. Só nós sabemos da batalha que vivemos, mas que se tornou uma experiência especial e única em minha vida devido a companhia de vocês.

Agradeço a minha querida orientadora Marília, por me abraçar e amparar neste momento atípico, fazendo com que fosse possível a realização do meu trabalho de conclusão de curso.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária por compartilharem todo o seu conhecimento para a minha formação profissional e pessoal.

E por fim agradeço a todos que se fizeram presentes e estiveram ao meu lado neste momento final da graduação.

RESUMO

O processo de urbanização e o crescimento populacional favoreceram o uso descontrolado de agrotóxicos para aumentar a produção agrícola, o que é um fator preocupante no que se trata da contaminação de águas superficiais e subterrâneas. Visto o alto custo e complexidade de análises de monitoramento de qualidade destas águas, se faz necessário o uso de métodos alternativos para analisar potencial de contaminação dos agrotóxicos. O objetivo do presente estudo foi avaliar o risco de contaminação das águas, para os 24 agrotóxicos mais vendidos no Brasil. Para tanto, foram utilizados dois índices numéricos, GUS e LEACH, e as propriedades físico-químicas dos agrotóxicos em estudo. Com isso, obteve-se 18 agrotóxicos com potencial risco de contaminação de águas superficiais e subterrâneas, dos quais dez (picloram, atrazina, metribuzim, 2,4-D, diurom, ametrina, carbendazim, glifosato, acefato e dicloreto de paraquate) possuem limites de concentrações máximas em água estabelecidas por lei. Merecem atenção os agrotóxicos que se enquadraram com alto potencial de contaminação (picloram, tebutiuram, imidacloprido, atrazina e tiofanato-metílico), bem como ficam em alerta o glifosato que, apesar de apresentar médio risco, é o responsável por 44,95 % das vendas totais no período.

Palavras-chave: ingrediente ativo, pesticida, potencial de contaminação, recursos hídricos.

ABSTRACT

The urbanization process and population growth favored the uncontrolled use of pesticides to increase agricultural production, which is a worrying factor when it comes to the contamination of surface and groundwater. In view of the high cost and complexity of the analyzes for monitoring the quality of these waters, it is necessary to use alternative methods to analyze the potential for contamination of pesticides. The aim of the present study was to assess the risk of water contamination for the 24 best-selling crop protection products in Brazil. For that, two numerical indexes were used, GUS and LEACH, and the physical-chemical properties of the pesticides under study. Thus, 18 pesticides were obtained with a potential risk of contamination of surface and groundwater, of which ten (2 picloram, atrazine, metribuzim, 2,4-D, diuron, ametrine, carbendazim, glyphosate, acephate and paraquat dichloride) have maximum concentration limits in water established by law. Pesticides classified as having high potential for contamination (picloram, tebutiuron, imidacloprido, atrazine and thiophanate-methyl) deserve attention, as well as the glyphosate, which, despite presenting a medium risk, is responsible for 44.95% of total sales in the period.

Keywords: active ingrediente, pesticide, contamination potential, water resources.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação do risco de contaminação para as águas subterrâneas, conforme o índice de GUS.....	24
Tabela 2. Classificação do risco de contaminação para as águas superficiais, conforme o índice de LEACH.	24
Tabela 3. Ranking dos ingredientes ativos de produtos agrotóxicos mais vendidos (em toneladas e em porcentagem) de 2015 a 2019 e respectiva categoria de uso.....	26
Tabela 4. Propriedades físico-químicas dos ingredientes ativos de produtos agrotóxicos mais vendidos no Brasil.	27
Tabela 5. Classificação do risco de contaminação das águas subterrâneas pelo índice de GUS.	28
Tabela 6. Classificação do risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas pelo índice de LEACH.	29
Tabela 7. Comparação entre as classificações dos índices de GUS (águas subterrâneas) e LEACH (águas superficiais e subterrâneas).....	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
4 METODOLOGIA	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
6 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Com grande influência da Revolução Industrial, que ocorreu no período de 1760 a 1840, o conhecimento e a prática da agricultura mudaram do sistema de plantio de diferentes culturas para uma metodologia de cultivo baseada em uma única cultura, com intensa utilização de insumos agrícolas (SOUSA; GORRI, 2019). Segundo as autoras, na transição entre os séculos XIX e XX o conceito de monocultura foi implantado principalmente nos países considerados subdesenvolvidos, por conta do avanço das políticas agrícolas nos Estados Unidos e Europa, políticas estas integrantes do movimento chamado Revolução Verde.

Por sua vez, a Revolução Verde, que surgiu sob uma justificativa de aumento da produção de alimentos para erradicar a fome no mundo (JESUS; OMMATI, 2017; POZZETTI; SANTOS; MICHILES, 2019), trouxe uma agricultura mecanizada, com o cultivo de grãos geneticamente modificados (transgênicos) associado ao uso de agrotóxicos e adubos químicos (LAZZARI; SOUZA, 2017). Carneiro et al. (2015) afirmam que a Revolução Verde veio como uma imposição e somada à fatores como o aumento de doenças nas lavouras, o subsídio de financiamentos agrícolas e a isenção de impostos, acarretaram o aumento no consumo de agrotóxicos.

O estudo de Freitas e Regino (2020) aponta a dependência do Brasil frente aos países europeus, no que diz respeito à implantação das políticas e tecnologias agrícolas, que vem desde a Revolução Verde propriamente dita. Mas uma grande diferença entre o Brasil e países eurocêntricos é que a legislação brasileira apresenta maior flexibilidade quando comparada à europeia, o que se torna um agravante, porque permite que o uso de agrotóxicos seja maior e mais abrangente, visando manter o Brasil na posição de país agroexportador (FREITAS; REGINO, 2020).

Segundo a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS), o uso de agrotóxicos na agricultura, a nível mundial, teve início na década de 1920, com pouca preocupação e conhecimento sobre sua toxicidade. Foram usados como arma química pelo exército americano durante a Segunda Guerra Mundial e, a partir disso, o uso de agrotóxicos foi grandemente expandido (OPAS, 1996; POZZETTI; SANTOS; MICHILES, 2019). No Brasil, a utilização de agrotóxicos teve início em programas de saúde pública, para o controle de vetores e parasitas, sendo direcionado para a agricultura a partir da década de 1960 (OPAS, 1996).

O Brasil, por sua vez, é considerado um dos maiores consumidores mundiais de agrotóxicos, devido à extensa área de plantio disponível (PIGNATI, et al. 2017). Desde o ano de 2008, está em primeiro lugar no ranking de maior consumidor agrotóxicos a nível mundial, com maior uso dos herbicidas e inseticidas (RIBEIRO et al. 2019). Deste modo, o Brasil se destaca de forma negativa no que diz respeito ao uso de agrotóxicos (MARQUES et al., 2019).

E a falta de legislação abrangendo todos os agrotóxicos autorizados no Brasil, corrobora para o uso descontrolado e excessivo, causando contaminação da água e do solo (CARNEIRO et al., 2015).

Os agrotóxicos são substâncias sintéticas que tem por finalidade atingir e eliminar organismos alvo (GILSON et al., 2020), mas ao mesmo tempo atingem também organismos não alvo e o meio ambiente em geral. Em algumas situações, menos de 0,1% do produto aplicado atinge o organismo alvo, ou seja, o restante (99,9%) tem potencial de mobilidade para alcançar compartimentos ambientais como os recursos hídricos subterrâneos e superficiais (SABIK; JEANNOT; RONDEAU, 2000).

Os agrotóxicos também são capazes de seguir diversos caminhos de degradação no ambiente e atingem diversos compartimentos ambientais (PRESTES, 2011). Na pulverização são transportados pelo vento e se deslocam para locais distantes do ponto de aplicação; na aplicação no solo, lixiviam com o escoamento da água pluvial e atingem mananciais superficiais e subterrâneos (SANCHES et al., 2003). E como os pesticidas possuem características diferentes entre si, sua mobilidade e persistência no meio também difere (PRESTES, 2011).

As moléculas que compõem os agrotóxicos podem ser degradadas quimicamente ou biologicamente quando aplicados diretamente no solo, mas existem substâncias altamente persistentes capazes de permanecer no meio sem sofrer qualquer tipo de degradação, podendo escoar e alcançar mananciais superficiais ou ainda, penetrar no solo, lixiviar e alcançar os mananciais subterrâneos (PALMA; LOURENCETTI, 2011). Segundo Sanches et al. (2003), os agrotóxicos que atingem a atmosfera, através da volatilização e perdas na aplicação, podem voltar ao solo e corpos hídricos através do transporte de moléculas para a superfície. Sendo assim, os recursos hídricos são um dos compartimentos ambientais mais prejudicados pela utilização descontrolada dos pesticidas (SANCHES et al., 2003).

A Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011), apresenta concentrações máximas permitidas em água para abastecimento para 27 agrotóxicos. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 396, de 3 de abril de 2008 (CONAMA, 2008), apresenta limites para 29 agrotóxicos, destes, 20 já constam na Portaria da Saúde. A resolução mais recente é a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, onde constam limites para 41 agrotóxicos, sendo que já estão inclusos os constantes na Portaria da Saúde e Resolução CONAMA nº 396. Sendo assim, há legislação para um total de 41 agrotóxicos até o momento, número não condizente com os 497 agrotóxicos liberados no Brasil (ANVISA, 2021).

Portanto, águas consideradas potáveis legalmente, podem estar contaminadas com agrotóxicos, porque os mesmos não são legislados, mas que são tão prejudiciais à saúde humana quanto os que constam em legislação (SOARES; SOUZA, 2020).

Desta forma, a contaminação da água para o consumo humano é uma grande problemática (CARNEIRO et al., 2015). Sendo assim, identificar e avaliar o risco de contaminação oferecido pelos agrotóxicos ao ambiente e à saúde humana são ações imprescindíveis para o controlar e prever o comportamento destas substâncias no meio (ISMAEL; ROCHA, 2019).

A análise do potencial de contaminação das águas pode ser feita a partir da estrutura química do agrotóxico, uma vez que esta determina a mobilidade e a degradabilidade do componente no meio (ANDRADE et al., 2011). Existem modelos matemáticos simplificados capazes de prever, de uma maneira geral, o comportamento dos pesticidas no ambiente, e prever o potencial de contaminação e a mobilidade da substância nas águas superficiais e subterrâneas (RIBEIRO et al., 2019). Estes modelos são alternativas de avaliação ambiental complementar, economicamente viáveis, para monitoramento da qualidade das águas (RIBEIRO et al., 2019). Ou seja, os índices numéricos são alternativas para contornar e afunilar o uso de análises laboratoriais voltadas a um grande número de agrotóxicos.

Dois modelos matemáticos, validados cientificamente, muito utilizados para avaliação de risco de contaminação das águas por agrotóxicos são: o índice de vulnerabilidade de águas subterrâneas *Groundwater Ubiquity Score* (GUS) e o índice de lixiviação *Leaching Index* (LEACH) para águas superficiais e subterrâneas (ARMAS et

al., 2005). O índice de GUS avalia o potencial de lixiviação dos agrotóxicos e a possibilidade de que elas atinjam as águas subterrâneas (ARMAS et al., 2005). Segundo os autores, o índice de LEACH, descreve a mobilidade do agrotóxico e o potencial de contaminação tanto para mananciais subterrâneos, quanto para mananciais superficiais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo foi a avaliação do risco de contaminação de águas superficiais e subterrâneas para os agrotóxicos mais vendidos no Brasil, no período de 2015 a 2019, a partir dos índices de GUS e de LEACH.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os agrotóxicos mais vendidos no Brasil no período de 2015 a 2019;
- Determinar o índice de GUS de cada ingrediente ativo;
- Determinar o índice de LEACH para cada ingrediente ativo;
- Analisar e apontar o significado dos valores obtidos a partir dos métodos de GUS e de LEACH;
- Avaliar o risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas a partir dos índices.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A intensa urbanização somada com o aumento populacional demandam maior produção de alimentos e de bens de consumo em geral, com isso, os setores energético, industrial e agrícola precisam aumentar a produção (CANTELLE; LIMA; BORGES, 2018). Em estudos da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), estimou-se que, para o suprimento da demanda de uma população de mais de dois bilhões de pessoas até o ano de 2050, a economia precisará crescer quatro vezes, e a demanda por energia e recursos naturais deverá ser 80% maior. Também estima-se que, até o ano de 2050, aproximadamente 70% da população global residirá em área urbana e isso culminará a expansão de áreas agrícolas a nível mundial (OECD, 2012). O processo de urbanização e crescimento populacional geram o aumento no consumo e na demanda de produtos alimentícios, influenciando no maior uso de produtos agrotóxicos em áreas agrícolas para aumentar a produção (JARDIM et al., 2009).

Com a introdução dos agrotóxicos na produção de alimentos houve a necessidade de regulamentação do uso destas substâncias, que surgiu na forma da Lei nº 7.802 de 11 de julho de 1989 (BRASIL, 1989). Porém, na lei não consta a proibição de nenhum agrotóxico específico, apenas a restrição de substâncias carcinogênicas, teratogênicas ou mutagênicas, de maneira geral, fato que ocorre também devido ao pouco conhecimento dos efeitos destes produtos, de forma isolada, sob a saúde humana e ambiente (SILVA et al., 2020).

Tomando por base a Lei nº 7.802/89, conhecida como Lei dos Agrotóxicos, os agrotóxicos e seus semelhantes são definidos como:

os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos (BRASIL, 1989)

Apesar de a legislação brasileira utilizar o termo agrotóxico para definir a substância sintética de combate à organismos indesejados na agricultura, também pode ser chamado de defensivo agrícola, praguicida, pesticida, biocida e, ainda, fitossanitário (GILSON et al., 2020).

Os agrotóxicos possuem uma classificação comum relacionada principalmente a sua função de combate a doenças agrícolas, a sua classe química e também ao seu grau toxicológico (MENDES et al., 2019). Quanto à classificação relacionada a função de combate, podem ser (FERREIRA, 2015):

- Herbicidas: utilizados para o controle de plantas que competem com a cultura;
- Fungicidas: utilizados para o controle de fungos;
- Inseticidas: utilizados para o controle de formigas, insetos e larvas;
- Acaricidas: utilizados para o controle de ácaros;
- Rodenticidas: utilizados para o combate de roedores;
- Nematicidas: utilizados para o controle de nematoides; e
- Molusquicidas: para o combate de moluscos (como é o caso do caramujo que transmite a esquistossomose).

Quanto à classe química, podem ser classificados como triazinas, organofosforados, triazol, entre outros (MENDES et al., 2019). E quanto ao grau de toxicidade, são classificados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (2019) em:

- Categoria 1: produto extremamente tóxico, faixa vermelha na embalagem;
- Categoria 2: produto altamente tóxico, faixa vermelha na embalagem;
- Categoria 3: produto moderadamente tóxico, faixa amarela na embalagem;
- Categoria 4: produto pouco tóxico, faixa azul na embalagem;
- Categoria 5: produto improvável de causar dano agudo, faixa azul na embalagem;
- Não classificado: produto não classificado, faixa verde na embalagem.

A Figura 1 mostra como ficou a reclassificação dos agrotóxicos.

Figura 1. Nova classificação toxicológica dos agrotóxicos, conforme o sistema GHS.

CLASSIFICAÇÃO				
1. EXTREMAMENTE TÓXICO 2. ALTAMENTE TÓXICO				
1. MODERADAMENTE TÓXICO				
1. POUCO TÓXICO 2. IMPROVÁVEL DE CAUSAR DANO AGUDO				
1. NÃO CLASSIFICADO				
CRITÉRIOS				
CONCENTRAÇÃO LETAL INALATÓRIA DOSE LETAL ORAL DOSE LETAL DÉRMICA				
OBRIGAÇÃO DE COMUNICAÇÃO CLARA NO RÓTULO				
IRRITAÇÃO OCULAR IRRITAÇÃO DÉRMICA				
CLASSE DE PERIGO	CATEGORIA	PICTOGRAMA GHS	PALAVRA DE ADVERTÊNCIA	FRASE DE PERIGO
Corrosão/ Irritação cutânea	01		Perigo	"Provoca queimadura severa à pele e lesões oculares graves"
	02		Atenção	"Provoca irritação à pele"
	03	Não exigido	Atenção	"Provoca moderada irritação à pele"
Corrosão/ Irritação cutânea	01		Perigo	"Provoca lesões oculares graves"
	02		Atenção	"Provoca irritação ocular grave"

Fonte: AgroSaber, 2019.

Esta classificação faz parte do novo marco regulatório da ANVISA, que ocorreu em 23 de julho de 2019, a fim de adequação aos padrões do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS), lançado na ECO 92. Segundo a própria Agência, o principal objetivo do marco regulatório é o fortalecimento da comercialização de produtos do Brasil no exterior (ANVISA, 2019).

Quanto à questão físico-química dos produtos agrotóxicos, os mesmos podem ser caracterizados como ácidos, básicos ou neutros, podendo possuir diversos compostos químicos em sua estrutura (fósforo, enxofre, nitrogênio, halogêneos, heteroátomos) e ainda podendo apresentar muita ou pouca volatilidade; este comportamento variável faz com que seja difícil o desenvolvimento de um método de análise de compostos que seja capaz de abranger no mínimo, a maioria dos produtos agrotóxicos (PRESTES, 2011).

As formulações comerciais dos agrotóxicos são feitas à base do produto técnico ou ingrediente ativo. De acordo com o Decreto nº 4.074 de 4 de janeiro de 2002, que regulamenta a Lei dos Agrotóxicos, os produtos técnicos são definidos como aquele produzido diretamente de matérias-primas, seja por processos químicos, físicos ou biológicos, com teor definido de ingrediente ativo e impurezas; e designado a produção dos produtos formulados; ingrediente ativo é o agente químico, físico ou biológico que certifica eficácia aos produtos agrotóxicos e afins (BRASIL, 2002).

O Decreto nº 4.074/02, determina que as empresas que produzem, formulem, exportem e importem agrotóxicos e afins, devem fornecer relatórios semestrais contendo os dados referentes à quantidades de agrotóxicos produzidos, formulados, comercializados, importados e exportados aos órgãos (estaduais e federais) de controle e fiscalização competentes (BRASIL, 2002). Segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2021), os relatórios semestrais são a base para a elaboração dos boletins anuais de produção, importação, exportação e vendas de agrotóxicos no Brasil. A divulgação de dados consolidados tem como objetivos a expansão do conhecimento em relação ao emprego de agrotóxicos para o controle de organismos alvo (pragas e doenças) indesejados na agricultura, o incentivo à pesquisa na área e à tomada de decisões regulatórias, além de possibilitar a definição dos ingredientes ativos prioritários para a avaliação de impactos no solo, na água, na fauna e na saúde humana (IBAMA, 2021).

No ano de 2019, ano do último boletim anual de agrotóxicos divulgado, foram recebidos 7.508 relatórios semestrais, sendo 4.231 relatórios de produtos formulados e 3.277 relatórios de produtos técnicos, de 165 empresas titulares do registro de produtos agrotóxicos químicos e bioquímicos. O que totalizou 620.537,98 toneladas de ingredientes ativos de produtos formulados vendidas, valor que significa um aumento de 12,97% nas vendas em comparação ao ano de 2018 (IBAMA, 2021). Segundo os dados apresentados neste relatório, os ingredientes ativos mais vendidos no ano de 2019 foram: (1º.) glifosato; (2º.) 2,4-D; (3º.) mancozebe; (4º.) acefato; (5º.) atrazina; (6º.) clorotalonil; (7º.) dicloreto de paraquate; (8º.) malationa; (9º.) enxofre e (10º.) clorpirifós.

Esse aumento de vendas em 2019 tem relação com a grande produtividade agrícola à nível nacional, visto que teve safra agrícola com recorde de produção, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBAMA, 2021).

O aumento nas vendas e, conseqüentemente, no uso dos agrotóxicos também significa maior contaminação ambiental pelos mesmos. Os resíduos destes produtos são capazes de alcançar diferentes compartimentos ambientais, como o solo, a água e o ar (MONTAGNER et al., 2019). Isto impacta diretamente na saúde humana, ocorrendo por três vias principais, a via ocupacional, a via alimentar e a via ambiental (ISMAEL; ROCHA, 2019).

A contaminação pela via ocupacional ocorre pela manipulação dos agrotóxicos, nos processos de mistura/diluição do produto; no momento de pulverização das culturas, seja ela manual ou através de implementos agrícolas; na colheita, onde o trabalhador entra em contato direto com o produto contaminado; e ainda no momento do descarte das embalagens (MOREIRA et al., 2002).

A contaminação pela via alimentar ocorre pela ingestão diária de água e alimentos contaminados (MOREIRA et al., 2002). Apesar de, segundo Gilson et al. (2020), as concentrações de agrotóxicos encontradas nos alimentos não serem capazes de causar efeitos diretos de intoxicação e contaminação aguda, o montante de produtos consumidos ao longo do tempo, através de alimentos e da água, causam malefícios a longo e médio prazo que, geralmente, não são associados ao consumo indireto de agrotóxicos. Ou seja, o consumo periódico causa a acumulação destas substâncias no organismo, contribuindo o desenvolvimento de doenças, como câncer e distúrbios no sistema endócrino (PALMA; LOURENCETTI, 2011) e ainda a complicações no sistema nervoso central (GILSON et al., 2020).

Por último, mas não menos importante, a contaminação pela via ambiental pode ocorrer devido à dispersão dos agrotóxicos no meio, atingindo os recursos hídricos, o solo e, em menores proporções, o ar (MOREIRA et al., 2002).

Moreira et al. (2002) apontam que a via ambiental possui forte contribuição na contaminação humana, visto que mais pessoas estão expostas à esta via; porém, o impacto da contaminação ambiental é menor quando comparado ao impacto da via ocupacional, devido aos níveis de exposição da mesma. Já a via alimentar, segundo os autores, apresenta menos impacto à saúde humana, porque processos como cozimento e fritura do alimento podem diminuir a concentração de agrotóxicos presentes no mesmo, e deve-se considerar ainda que os agrotóxicos apresentam um tempo de carência para serem eliminados total ou parcialmente do produto. Aqui é importante lembrar que não somente os consumidores se tornam vítimas dos agrotóxicos, mas também o produtor

rural, que faz uso frequente e fica muito mais exposto aos produtos (GILSON et al., 2020).

As três formas de contaminação supracitadas estão relacionadas apenas à contaminação humana, é preciso levar em consideração que além do ser humano, animais e outras formas de vida também são diretamente afetados pela contaminação por agrotóxicos. Conforme comentam Arias et al. (2007), quanto maior a concentração e quanto mais longo o período de exposição, maior a probabilidade de que os impactos dos agrotóxicos atinjam níveis biológicos de organização, prejudicando comunidades e ecossistemas. A permanência no ambiente e a mobilidade para atingir corpos hídricos que os agrotóxicos possuem, são risco para animais devido à toxicidade e ao efeito de bioacumulação que pode afetar toda a cadeia alimentar (ISMAEL; ROCHA, 2019).

Gilson et al. (2020) citam que é complexo avaliar os males que cada produto agrotóxico causa nos seres vivos e no ambiente, porque ao longo do cultivo de uma cultura é utilizada uma série de agrotóxicos até que, efetivamente, seja gerado o produto final; e além disto, um produto agrotóxico é formado de vários compostos químicos que podem apresentar comportamentos e malefícios diferentes entre si.

Há também o fato apontado por Pessoa et al. (2004), no que tange o comportamento dos agrotóxicos no ambiente, este que é regido pela estrutura química do princípio ativo do produto. Entende-se por comportamento do agrotóxico a dinâmica agrotóxico no meio, ou seja, a eficiência e eficácia no controle de organismos alvo, a degradabilidade e a mobilidade (PESSOA et al., 2004).

Dentro da via ambiental, os recursos hídricos são importantes locais de contaminação. Estes, que incorporam os processos do ciclo biogeoquímico do ambiente, acabam sendo o destino final de muitos produtos químicos lançados no ambiente, como é o caso dos agrotóxicos (PESSOA et al., 2004).

A legislação sobre os agrotóxicos no Brasil ainda é falha, e o problema da falta de legislação está diretamente relacionado à dificuldade de detectar, qualificar e quantificar estes contaminantes em água, porque são substâncias que geralmente ocorrem em pequenas concentrações, exigindo técnicas analíticas de alta complexidade, que necessitam de alto grau de sensibilidade para analisar de forma correta a presença destas substâncias (SOARES; SOUZA, 2020).

De acordo com Andrade et al. (2011), uma forma de avaliação de qualidade das águas subterrâneas e superficiais em áreas de acentuada ação agrícola, são programas

públicos de monitoramento de qualidade. Ribeiro et al. (2007) mostram, em seu estudo, que o monitoramento pode ser realizado por meio de análises laboratoriais tanto das águas quanto do solo, devido ao fato de que os contaminantes só chegam até as águas subterrâneas porque possuem mobilidade no solo. Em contrapartida, Soares, Faria e Rosa (2017) afirmam que, devido ao Brasil possuir grandes extensões de áreas agrícolas, alto número de produtos agrotóxicos liberados, somada à dificuldade de análise laboratorial e à complexidade da gestão de recursos humanos para este fim, os programas de monitoramento de qualidade se tornam muito caros e de eficiência limitada.

Mas, além da complexidade de análise e monitoramento desses compostos, também existe a dificuldade de tratamento das águas contaminadas por agrotóxicos, visto que exigem tecnologias mais complexas para o tratamento, não sendo suficiente apenas o tratamento convencional (ISMAEL; ROCHA, 2019). Fato que é agravado, segundo os autores, quando essas águas são utilizadas para consumo humano.

A água doce, um bem natural essencial à vida, passa a se chamar recurso hídrico quando possui valor econômico (CANTELLE; LIMA; BORGES, 2018). O Brasil, que possui aproximadamente 12% da disponibilidade de água doce do mundo, segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), é privilegiado em abundância de recursos hídricos. Portanto, a pesquisa sobre contaminação de recursos hídricos por agrotóxicos é de extrema necessidade (PIGNATI, 2017).

4 METODOLOGIA

Para a seleção dos ingredientes ativos, foi consultado o banco de dados do IBAMA onde constam informações sobre os registros de agrotóxicos no país. Foram selecionados os boletins anuais de 2015, 2016, 2017, 2018 e 2019 para a análise, ou seja, foi utilizado um período de tempo de 5 anos.

De cada boletim, foi selecionada a planilha intitulada “Venda de ingrediente ativo por UF”, que apresenta: o número de toneladas de ingredientes ativos vendidos no ano para cada unidade de federação (UF), o número de toneladas de ingredientes ativos vendidos no ano sem identificação de UF e ainda o total de toneladas de ingredientes ativos vendidos no país. Deste total, foram selecionados os 20 ingredientes ativos mais vendidos de cada ano. Todos estes dados de vendas foram reunidos em uma única planilha do *software* Excel, a partir da qual gerou-se uma tabela dinâmica de onde foi obtido um total de 24 ingredientes ativos de produtos agrotóxicos, para o período de 2015 a 2019.

As propriedades físico-químicas dos agrotóxicos, necessárias para o cálculo dos índices, foram encontradas na base de dados de acesso livre *Pesticide Properties DataBase* (PPDB) desenvolvida pela Universidade de Hertfordshire, da Inglaterra; por meio da base de dados de acesso livre PubChem da *National Institutes of Health* (NIH), que faz parte do Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos da América; e por meio de revisão bibliográfica de trabalhos anteriores (EFSA, 2013; SOARES; FARIA; ROSA, 2017; MARQUES et al., 2019).

O índice de GUS foi calculado para cada ingrediente ativo conforme a Equação 1 abaixo.

$$\text{GUS} = \log_{10} (t_{1/2}) \cdot (4 - \log_{10} K_{oc}) \quad [1]$$

Onde $t_{1/2}$ é o tempo de meia-vida da substância no solo, em dias; e o K_{oc} é o coeficiente de partição entre o carbono orgânico e a água do solo, em l/kg (ARMAS et al., 2005). Segundo o modelo, os ingredientes ativos analisados são classificados de acordo com o potencial de lixiviação para mananciais subterrâneos, conforme os intervalos expressos na Tabela 1 (RIBEIRO et al., 2019).

Tabela 1. Classificação do risco de contaminação para as águas subterrâneas, conforme o índice de GUS.

Escala de classificação de contaminação do Índice de GUS	
GUS < 1,8	Não sofre lixiviação (NL)
1,8 < GUS ≤ 2,8	Faixa de transição (T)
GUS > 2,8	Provável lixiviação (L)

Fonte: Ribeiro et al. (2019).

O índice de LEACH segue a Equação 2 (ARMAS et al., 2005).

$$\text{LEACH} = (W_s \cdot t_{1/2}) / (V_p \cdot K_{oc}) \quad [2]$$

Onde W_s é a solubilidade da substância em água, expressa em mg/l, e V_p é a pressão de vapor, em Mpa (ARMAS et al., 2005). Ribeiro et al. (2019), enquadram o potencial de contaminação do índice de LEACH conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação do risco de contaminação para as águas superficiais, conforme o índice de LEACH.

Escala de classificação de contaminação do índice de LEACH	
LEACH <3	Baixo
3 < LEACH ≤ 7	Médio
LEACH >7	Alto

Fonte: Ribeiro et al. (2019).

Para o índice de LEACH, os valores foram expressos em escala logarítmica, seguindo estudos anteriores (ARMAS et al., 2005), para uma melhor comparação com o índice de GUS e para o enquadramento da classificação proposta por Ribeiro et al. (2019).

Para ambos os índices, as propriedades físico-químicas dos agrotóxicos possuem a mesma interpretação. A solubilidade, por exemplo, é um parâmetro importante para a determinação do comportamento do agrotóxico no meio, porque mostra a tendência de escoamento do composto no solo (OLIVEIRA et al., 2017).

O tempo de meia-vida está relacionado com a capacidade de permanência de um composto no meio, é o tempo necessário para que pelo menos 50% da quantidade total de agrotóxico aplicada, se dissipe (SILVA; SILVA, 2007).

Já o coeficiente de partição entre o carbono orgânico e a água do solo (K_{oc}), indica a capacidade de lixiviação do agrotóxico; quanto mais baixo, menor a capacidade de adsorção do agrotóxico pela matéria orgânica do solo, sendo mais possível de lixiviar para mananciais subterrâneos (BRITTO et al., 2015).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os 24 agrotóxicos obtidos através da análise e tratamento dos dados disponíveis nos boletins anuais do IBAMA, bem como o *ranking* de vendas, a categoria de uso e o total de vendas de ingrediente ativo vendido (em toneladas e em porcentagem) no período.

Tabela 3. Ranking dos ingredientes ativos de produtos agrotóxicos mais vendidos (em toneladas e em porcentagem) de 2015 a 2019 e respectiva categoria de uso.

Ranking	Ingrediente Ativo	Categoria de uso	Total de vendas (2015 à 2019)	
			Toneladas (t)	Porcentagem equivalente (%)
1º	Glifosato	Herbicida	965347,12	44,95
2º	2,4-D	Herbicida	260125,18	12,11
3º	Mancozebe	Fungicida	175334,99	8,16
4º	Atrazina	Herbicida	124444,79	5,79
5º	Acefato	Inseticida	124330,29	5,79
6º	Dicloreto de paraquate	Herbicida	63529,29	4,39
7º	Imidacloprido	Inseticida	46307,76	2,96
8º	Clorpirifós	Inseticida	40915,20	2,16
9º	Enxofre	Fungicida	39210,67	1,91
10º	Clortalonil	Fungicida	36338,86	1,69
11º	Oxicloreto de cobre	Fungicida	35317,14	1,64
12º	Malationa	Inseticida	32439,50	1,51
13º	Diurum	Herbicida	28223,17	1,31
14º	Metomil	Inseticida	22654,14	1,05
15º	Clomazona	Herbicida	21773,90	1,01
16º	Carbendazim	Fungicida	17318,07	0,81
17º	Ametrina	Herbicida	14738,13	0,69
18º	Tebutiurum	Herbicida	12525,24	0,58
19º	Tiofanato-metílico	Fungicida	10386,52	0,48
20º	Cletodim	Herbicida	5854,12	0,27
21º	Tetraconazol	Fungicida	4477,19	0,21
22º	Picloram	Herbicida	3827,47	0,18
23º	Azoxistrobina	Fungicida	3643,02	0,17
24º	Metribuzim	Herbicida	3586,03	0,17
TOTAL			2190472,33 t	100%

Fonte: adaptado IBAMA (2020).

Convém destacar que as empresas detentoras de registros de agrotóxicos entregam os relatórios de comercialização contendo a marca comercial do produto,

porém são apresentados os dados de comercialização por ingrediente ativo, conforme proteção prevista no Artigo 2 da Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996 (BRASIL, 1996), e devido ao fato de que o ingrediente ativo é o agente impactante na questão sanitária e ambiental (IBAMA, 2021).

As propriedades físico-químicas dos ingredientes ativos mais vendidos estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Propriedades físico-químicas dos ingredientes ativos de produtos agrotóxicos mais vendidos no Brasil. Sendo: W_s – solubilidade da substância em água, à 20 °C; V_p - pressão de vapor; $t_{1/2}$ – tempo de meia-vida da substância no solo; K_{oc} - coeficiente de partição entre o carbono orgânico e a água do solo.

Ingrediente ativo	Grupo químico	W_s (mg/l)	V_p (Mpa)	$t_{1/2}$ (dias)	K_{oc} (l/kg)
Glifosato	Glicina ¹	10500 ²	0,031 ²	15 ²	1424 ²
2,4-D	Ácido fenoxi carboxílico ¹	24300 ²	0,009 ²	4,4 ²	39,3 ²
Mancozebe	Alquilenobis ¹	6,2 ²	0,013 ²	0,05 ²	998 ²
Atrazina	Triazina ¹	35 ²	0,039 ²	75 ²	100 ²
Acefato	Organofosforado ¹	790000 ²	0,026 ²	3 ²	302 ²
Dicloreto de paraquate	Bipirilídeo ¹	620000 ²	0,01 ²	365 ²	100000 ²
Imidacloprido	Neonicotinoide ¹	610 ²	4E-08 ²	191 ²	2500 ³
Clorpirifós	Organofosforado ¹	1,05 ²	1,43 ²	386 ²	5509 ²
Enxofre	Inorgânico ¹	0,063 ²	0,098 ²	30 ²	1950 ²
Clorotalonil	Isoftalonitrila ¹	0,81 ²	0,076 ²	3,53 ²	2632 ²
Oxicloreto de cobre	Inorgânico ⁴	1,19 ²	0,00001 ²	10000 ²	50000 ⁴
Malationa	Organofosforado ¹	148 ²	3,1 ²	0,17 ²	1800 ²
Diurrom	Ureia ¹	35,6 ²	0,00115 ²	146,6 ²	680 ²
Metomil	Carbamato ¹	55000 ²	0,72 ²	7 ²	72 ²
Clomazona	Isoxazolidinona ¹	1212 ²	27 ²	22,6 ²	300 ²
Carbendazim	Benzimidazol ¹	8 ²	0,09 ²	40 ²	400 ³
Ametrina	Triazina	200 ²	0,365 ²	37 ²	316 ²
Tebutiurrom	Uréia ¹	2500 ²	0,27 ²	400 ²	80 ²
Tiofanato-metílico	Benzimidazol ¹	18,5 ²	0,5 ²	46,8 ²	210 ²
Cletodim	Oxima ciclohexadiona ¹	5450 ²	0,00208 ²	0,55 ²	3000 ²
Tetraconazol	Triazol ¹	156,6 ²	0,18 ²	61 ²	531 ⁵
Picloram	Ácido piridinocarboxílico ¹	560 ²	0,00008 ²	82,8 ²	13 ²
Azoxistrobina	Estrobirulina ¹	6,7 ²	1,117E-07 ²	78 ²	589 ²
Metribuzim	Triazinona ¹	10700 ²	0,121 ²	7,03 ²	60 ⁵

Fonte: ¹ANVISA, 2021; ²PPDB, 2021; ³SOARES; FARIAS; ROSA, 2017; ⁴EFSA, 2013; ⁵NIH, 2021.

Portanto, os compostos com altos valores de tempo de meia-vida (acima de 21 dias), como o oxicloreto de cobre, tebutiuram, clorpirifós, dicloreto de paraquate, imidacloprido, diurom, picloram, azoxistrobina, atrazina, tetraconazol, tiofanato-metílico, carbendazim, ametrina, enxofre e clomazona são compostos com alta persistência em solo, aumentando o risco de contaminação principalmente das águas subterrâneas (BRITTO et al., 2015).

Após, foram calculados os índices de GUS e de LEACH para cada ingrediente ativo, através das Equações 1 e 2, respectivamente. Foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 5 e na Tabela 6.

Tabela 5. Classificação do risco de contaminação das águas subterrâneas pelo índice de GUS. Sendo, L: provável lixiviação; T: faixa de transição; NL: não sofre lixiviação.

Ingrediente ativo	GUS	Classificação
Picloram	5,536	L
Tebutiuram	5,456	L
Atrazina	3,750	L
Tiofanato-metílico	2,802	L
Diurom	2,529	T
Ametrina	2,353	T
Azoxistrobina	2,327	T
Tetraconazol	2,276	T
Carbendazim	2,240	T
Clomazona	2,062	T
Metribuzim	1,882	T
Metomil	1,811	T
2,4-D	1,548	NL
Imidacloprido	1,373	NL
Enxofre	1,049	NL
Glifosato	0,996	NL
Acefato	0,725	NL
Clorpirifós	0,670	NL
Clorotalonil	0,318	NL
Cletodim	-0,136	NL
Malationa	-0,573	NL
Mancozebe	-1,302	NL
Dicloreto de paraquate	-2,562	NL
Oxicloreto de cobre	-2,796	NL

Fonte: A autora.

Os ingredientes ativos com maior potencial de lixiviação para as águas subterrâneas foram picloram, tebutiurum, atrazina e tiofano-metílico, representando 16,67% do total de ingredientes ativos. Ficaram na faixa de transição o diurom, ametrina, azoxistrobina, tetraconazol, carbendazim, clomazona, metribuzim, metomil, representando 33,33%. Portanto, 50% (12) dos agrotóxicos mais vendidos no Brasil podem lixiviar e atingir os mananciais hídricos subterrâneos.

De acordo com o índice de GUS, os outros 50% restantes não possuem potencial para sofrer lixiviação e atingir lençóis freáticos e aquíferos. São eles, 2,4-D, imidacloprido, enxofre, glifosato, acefato, clorpirifós, clorotalonil, cletodim, malationa, mancozebe, o dicloreto de paraquate e o oxicloreto de cobre.

Tabela 6. Classificação do risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas pelo índice de LEACH. Sendo, Alto, Médio e Baixo referente ao potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Ingrediente ativo	LEACH	Classificação
Imidacloprido	9,07	Alto
Picloram	7,65	Alto
Azoxistrobina	6,90	Médio
2,4-D	5,48	Médio
Acefato	5,48	Médio
Dicloreto de paraquate	5,35	Médio
Tebutiurum	4,67	Médio
Oxicloreto de cobre	4,38	Médio
Metribuzim	4,02	Médio
Metomil	3,87	Médio
Diurom	3,82	Médio
Glifosato	3,55	Médio
Atrazina	2,83	Baixo
Cletodim	2,68	Baixo
Tetraconazol	2,00	Baixo
Ametrina	1,81	Baixo
Carbendazim	0,95	Baixo
Tiofanato-metílico	0,92	Baixo
Clomazona	0,53	Baixo
Clorpirifós	-1,29	Baixo
Mancozebe	-1,62	Baixo
Clorotalonil	-1,84	Baixo
Enxofre	-2,00	Baixo
Malationa	-2,35	Baixo

Fonte: A autora.

Para o índice de LEACH apenas o imidacloprido e o picloram apresentaram alto risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, representando uma porcentagem de apenas 8,33%. Dez dos 24 ingredientes ativos de produtos agrotóxicos possuem médio potencial de risco de contaminação, o que significa 41,67% do total, são eles a azoxistrobina, 2,4-D, acefato, dicloreto de paraquate, tebutiurum, oxicloreto de cobre metribuzim, metomil, diurom e glifosato.

Já os demais, atrazina cletodim, tetraconazol, ametrina, carbendazim, tiofanato-metílico, clomazona, clorpirifós, mancozebe, clorotalonil, enxofre, malationa, obtiveram baixo risco de contaminação para águas superficiais e subterrâneas.

A Tabela 7 apresenta uma comparação entre os resultados obtidos para os índices de GUS e de LEACH, em ordem de risco de contaminação para águas superficiais e subterrâneas, dos agrotóxicos analisados.

Quanto maior o valor obtido através dos índices de GUS e de LEACH, maior é o potencial de lixiviação e escoamento do agrotóxico (MARQUES et al., 2019), por isso a classificação utilizada neste estudo priorizou o maior risco. Desta maneira, analisando os dois índices juntos, cinco agrotóxicos apresentam alto risco de contaminação das águas, treze agrotóxicos apresentaram médio risco, e seis agrotóxicos, baixo potencial de risco (Tabela 7).

Tabela 7. Comparação entre as classificações dos índices de GUS (águas subterrâneas) e LEACH (águas superficiais e subterrâneas). Sendo, L: provável lixiviação; T: faixa de transição; NL: não sofre lixiviação; Alto, Médio e Baixo referente ao potencial de contaminação das águas superficiais. Em vermelho agrotóxicos com alto risco de contaminação de águas, em amarelo com médio risco e em verde, com baixo risco de contaminação.

Ingrediente ativo	GUS	LEACH
Picloram	5,536 (L)	7,65 (Alto)
Tebutiuram	5,456 (L)	4,67 (Médio)
Imidacloprido	1,373 (NL)	9,07 (Alto)
Atrazina	3,750 (L)	2,83 (Baixo)
Tiofanato-metílico	2,802 (L)	0,92 (Baixo)
Azoxistrobina	2,327 (T)	6,90 (Médio)
Metribuzim	1,882 (T)	4,02 (Médio)
Metomil	1,811 (T)	3,87 (Médio)
2,4-D	1,548 (NL)	5,48 (Médio)
Diurom	2,529 (T)	3,82 (Médio)
Ametrina	2,353 (T)	1,81 (Baixo)
Tetraconazol	2,276 (T)	2,00 (Baixo)
Carbendazim	2,240 (T)	0,95 (Baixo)
Clomazona	2,062 (T)	0,53 (Baixo)
Glifosato	0,996 (NL)	3,55 (Médio)
Acefato	0,725 (NL)	5,48 (Médio)
Dicloreto de paraquate	-2,562 (NL)	5,35 (Médio)
Oxicloreto de cobre	-2,796 (NL)	4,38 (Médio)
Enxofre	1,049 (NL)	-2,00 (Baixo)
Clorpirifós	0,670 (NL)	-1,29 (Baixo)
Clorotalonil	0,318 (NL)	-1,84 (Baixo)
Cletodim	-0,136 (NL)	2,68 (Baixo)
Malationa	-0,573 (NL)	-2,35 (Baixo)
Mancozebe	-1,302 (NL)	-1,62 (Baixo)

Fonte: A autora.

O enquadramento da classificação do ingrediente ativo da Tabela 7 se deu de forma que, se um agrotóxico se enquadrasse em pelo menos um dos métodos com alto risco de contaminação ou como lixiviante, o mesmo possui alto risco de contaminação das águas (faixa vermelha). Se o ingrediente se encaixa na faixa de transição ou com médio risco de contaminação em pelo menos um dos índices, o mesmo possui médio potencial de contaminação das águas (faixa amarela). Para se enquadrar na faixa verde,

não apresentando risco de contaminação para os mananciais hídricos, o agrotóxico deve se enquadrar como não lixiviante e com baixo risco de contaminação pelos métodos.

Picloram foi o agrotóxico com maior probabilidade de atingir tanto águas superficiais quanto subterrâneas. Esse resultado concorda com o estudo de Ratchawang e Chotpantararat (2019), onde picloram foi o agrotóxico com maior potencial de lixiviação. A sequência picloram > tebutiurom > imidacloprido > atrazina também foi encontrada por Demir et al. (2019), quando analisaram o risco de contaminação de agrotóxicos baseados em diversos índices, incluindo GUS e LEACH. Estes quatro agrotóxicos, junto com tiofanato-metílico, deveriam ser priorizados nos monitoramentos de pesticidas em águas superficiais e principalmente subterrâneas.

O quarto agrotóxico em potencial de lixiviação e contaminação de águas subterrâneas foi o herbicida atrazina, que também é o quarto mais vendido no Brasil. O risco deste herbicida para águas é maior do que os outros, devido a quantia que chega no ambiente. Se a classificação combinar as vendas com o risco de contaminação das águas Atrazina (4º. em vendas) e Imidacloprido (7º. em vendas) seriam os agrotóxicos mais preocupantes, pois apresentam alto risco em pelo menos um dos índices e são muito utilizados no país. Os dois agrotóxicos mais vendidos, glifosato e 2,4-D, tem potencial médio de contaminar águas superficiais e subterrâneas, mas devido ao volume de vendas e uso, deveriam ser monitorados na água constantemente. Principalmente o glifosato, responsável por 44,95% do total de vendas no período, o que mostra uma grande disparidade entre ele e os outros agrotóxicos, significando que o volume de glifosato que entra no ambiente, é muito maior do que os outros produtos

Entre os 18 agrotóxicos que mostraram alto ou médio risco de contaminar águas brasileiras, dez tem limites de concentrações máximas em água definidos na legislação. Tebutiurom, imidacloprido e tiofano-metílico, que apresentam alto risco de contaminação em pelo menos um dos índices, não possuem limites definidos. Azoxistrobina, metomil, tetraconazol, clomazona e oxicloreto de cobre, com risco médio em pelo menos um dos índices, também não possuem concentração máxima permitida definida em lei.

Aparecem limites de concentrações máximas permitidas em água, na Portaria nº 888/21, para picloram, atrazina, metribuzim, 2,4-D, diurom, ametrina, carbendazim, glifosato, acefato e dicloreto de paraquate. Sem definições estabelecidas em lei para o restante, fica limitado o monitoramento e controle destes agrotóxicos em água, porque

apesar de apresentarem risco de contaminação das águas, a sua concentração máxima não é conhecida.

6 CONCLUSÃO

Visto a problemática envolvida para avaliar a contaminação dos agrotóxicos em água, que vai desde ao uso irrestrito destes produtos, até a limitação da pesquisa, é importante que existam formas alternativas, rápidas e viáveis de analisar, o risco de contaminação das águas que os pesticidas apresentam, mesmo que de uma forma simples e geral.

Conforme exposto, os métodos de monitoramento de qualidade das águas por meio de análises em laboratório são caros e complexos, por isso é importante a estimativa preliminar, com base nos bancos de dados disponíveis, através dos métodos numéricos apresentados.

Os métodos de GUS e de LEACH utilizam as propriedades físico-químicas dos agrotóxicos, disponíveis em bancos de dados de acesso livre e na literatura científica, podendo ser aplicados para qualquer agrotóxico. Isso promove a sua facilidade de aplicação, porque utilizam relativamente poucos dados para realizar uma triagem de pesticidas.

Este estudo mostrou que dos 24 agrotóxicos mais vendidos no Brasil, 18 tem alto ou médio potencial de contaminar águas superficiais ou subterrâneas (ou ambas).

A classificação apresentada neste estudo mostra uma ordem de prioridade dos pesticidas, que deveria ser seguida para a realização de monitoramentos nas águas brasileiras. Neste sentido, picloram e tebutiuram são os dois agrotóxicos com maior potencial de risco de contaminação, seguidos de imidacloprido, atrazina e tiofanato-metílico.

Atrazina e imidacloprido seriam os dois agrotóxicos com maior capacidade poluidora de águas subterrâneas, se enquadrando com alto potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, pelo índice de LEACH, e como lixiviante pelo índice de GUS. E além disso, ocupam, respectivamente, o 4º e 7º lugar no *ranking* de mais vendidos. Principalmente o glifosato merece atenção adicional em monitoramentos, pois é disparadamente o mais vendido no país e podem atingir águas superficiais e subterrâneas.

Portanto, presente estudo serve de base para futuros estudos de análise e monitoramento de qualidade das águas, visto que o mesmo norteia e alerta sobre quais os agrotóxicos devem ser diretamente analisados. Reduzindo assim o custo e o tempo de

pesquisas e análises laboratoriais caras e complexas, que se tornam inviáveis para a grande quantidade de agrotóxicos utilizados no Brasil.

Relacionado a precariedade da legislação brasileira no que diz respeito a limites máximos de concentrações de agrotóxicos permitidos em água, o presente estudo também é capaz de nortear políticas públicas direcionadas à criar limites para os agrotóxicos que mais oferecem potencial de contaminação, em um primeiro momento.

Ademais, o estudo também pode ser aplicado para localidades específicas, analisando a particularidade de agrotóxicos utilizados em cada cidade, estado ou região.

REFERÊNCIAS

AGROSABER. **Marco regulatório dos agrotóxicos é aprovado**. 2019. Disponível em: <<https://agrosaber.com.br/marco-regulatorio-dos-agrotoxicos-e-aprovado/>>. Acesso em 24 mai. 2021.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Quantidade de água**. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Publicada reclassificação toxicológica de agrotóxicos**. 2019. Disponível em: <[ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Monografias de Agrotóxicos**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/acesoainformacao/dadosabertos/informacoes-analiticas/monografias-de-agrotoxicos>>. Acesso em: 08 mai. 2021.](http://antigo.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=5578706&_101_type=content&_101_groupId=219201&_101_urlTitle=p-ublicada-reclassificacao-toxicologica-de-agrotoxicos-&inheritRedirect=true#:~:text=Categoria%201%20%E2%80%93%20Produto%20Extremamente%20T%C3%B3xico,T%C3%B3xico%20%E2%80%93%20faixa%20azul%3A%20599.> Acesso em: 02 abr. 2021.</p></div><div data-bbox=)

ANDRADE, A. S.; et al. Análise de Risco de Contaminação de Águas Superficiais e Subterrâneas por Pesticidas em Municípios do Alto Paranaíba – MG. **Química Nova**, v. 34, n. 7, p. 1129–1135, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000700005>

ARIAS, A. R. L.; et al. Utilização de Bioindicadores na Avaliação de Impacto e no Monitoramento da Contaminação de Rios e Córregos por Agrotóxicos. **Ciência &**

Saúde Coletiva, v.12, n.1, p. 62-72, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232007000100011>

ARMAS, E. D. de; et al. Uso de agrotóxicos em cana-de-açúcar na bacia do Rio Corumbataí e o risco de poluição hídrica. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p. 975–982, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000600008>

BRASIL. **Lei nº 7.802 de 11 de Julho de 1989**. Dispões sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Brasília, 1989. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7802.htm>.

BRASIL. **Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996**. Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. Brasília, 1996. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9279.htm>. Acesso em: 01 abr. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 4.074, de 4 de Janeiro de 2002**. Regulamenta a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Brasília, 2002. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4074.htm>. Acesso em: 15 mar. 2021.

BRITTO, F. B.; et al. Avaliação do Risco de Contaminação Hídrica por Agrotóxicos no Perímetro Irrigado Betume no Baixo Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 3, p. 158-170, 11 maio 2015. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v9n300301>.

CANTELE, T.; LIMA, E. de C.; BORGES, L. A. C. Panorama dos Recursos Hídricos no Mundo e no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 4, p. 1259, 2018. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n4p1259-1282>.

CARNEIRO, F.F.; et al. **Dossiê ABRASO**: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde, v. 1., 2015. São Paulo: Expressão Popular.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <
<http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2021.

DEMIR, A. E. A.; DILEK, F. B.; YETIS, U. A New Screening Index for Pesticides Leachability to Groundwater. **Journal Of Environmental Management**, v. 231, p. 1193-1202, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.007>.

EFSA - EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of confirmatory data submitted for the active substance Copper (I), copper (II) variants namely copper hydroxide, copper oxychloride, tribasic copper sulfate, copper (I) oxide, Bordeaux mixture. **EFSA Journal**, v. 11, n. 6, p. 3235, 2013. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3235>

FERREIRA, M. L. P. C. A Pulverização Aérea de Agrotóxicos no Brasil: Cenário Atual e Desafios. **Revista de Direito Sanitário**, v.15 n.3, p. 18-45, 2014/2015. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9044.v15i3p18-45>

FREITAS, A. D. de; REGINO, J. E. B. A Legislação para a Quantidade Permitida de Agrotóxicos na Água: os Casos do Brasil e da União Europeia. **Informe Econômico (UFPI)**, v. 41, n. 2, p. 131-146, 2020.

GILSON, I. K.; et al. Agrotóxicos liberados nos anos de 2019-2020: Uma discussão sobre a uso e a classificação toxicológica. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 49468–49479, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-553>

IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS. **Relatórios de Comercialização de Agrotóxicos**. 2021. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

ISMAEL, L. L.; ROCHA, E. M. R. Estimativa de Contaminação de Águas Subterrâneas e Superficiais por Agrotóxicos em Área Sucroalcooleira, Santa Rita/PB, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 24, n. 12, p. 4665-4675, 2019. <https://doi.org/10.1590/1413-812320182412.27762017>

JESUS, A. S. S. de.; OMMATI, J. E. M. Segurança Alimentar e Revolução Verde: Questionamentos Atuais Acerca da Luta Contra a Fome no Plano Internacional. **Revista Do Direito Público**, v. 12, n. 3, p.191-215, 2017. <http://dx.doi.org/10.5433/1980-511X.2017v12n3p191>

LAZZARI, F. M.; SOUZA, A. S. Revolução verde: impactos sobre os conhecimentos tradicionais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO E CONTEMPORANEIDADE, n. 4, 2017, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

MARQUES, J. G. DE C.; et al. Comparação entre Índices de Potencial de Lixiviação para Agrotóxicos Utilizados na Sub-Bacia do Natuba, Vitória e Santo Antônio-Pernambuco. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 1, p. 58–67, 2019. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v33i1.29239>

MENDES, C. R. A.; et al. AGROTÓXICOS: Principais Classificações Utilizadas na Agricultura Brasileira - uma Revisão de Literatura. **Revista Maestria**, v.17, p. 95-107, 2019.

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. Brasília, 2011. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021.** Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em: 05 mai. 2021.

MONTAGNER, C. C.; et al. Ten years-snapshot of the occurrence of emerging contaminants in drinking, surface and ground waters and wastewaters from São Paulo State, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 30, n. 3, p. 614–632, 2019. <http://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20180232>

MOREIRA, J.C.; et al. Avaliação Integrada do Impacto do Uso de Agrotóxicos sobre a Saúde Humana em uma Comunidade Agrícola de Nova Friburgo, RJ. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.7, n. 2, p. 299-311, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232002000200010>.

NIH. NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE. **PubChem**. Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

OLIVEIRA, M. C. de; et al. Índice GUS e GSI na Avaliação da Contaminação em Águas Subterrâneas por Fungicidas da Bataticultura. In: XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2017 [S. 1.]. **Anais...** 2017. <https://doi.org/10.14295/ras.v0i0.28786>

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD Environmental Outlook to 2050: the consequences of inaction**. Paris: OECD Publishing, p. 349, 2012.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE - OPAS. **Manual de vigilância da saúde de populações expostas a agrotóxicos**. Brasília, 1996.

PALMA, D. C. de A.; LOURENCETTI, C. Agrotóxicos Em Água E Alimentos: Risco À Saúde Humana. **Revista Uniara**, v. 14, n. 2, p. 7-21, 2011.

PESSOA, M. C. P. Y. et al. Software AGROSCRE - Apoio à Avaliação de Tendências de Transporte de Princípios Ativos de Agrotóxicos. **Embrapa Meio Ambiente / Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, p. 22, 2004.

PIGNATI, W. A.; et al. Distribuição Espacial do Uso de Agrotóxicos no Brasil: Uma Ferramenta para a Vigilância em Saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3281-3293, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-812320172210.17742017>

POZZETTI, V. C.; SANTOS, U. A. C. C. dos; MICHILES, M. P. O Direito Humano à Alimentação Saudável: da Revolução Verde ao Projeto de Lei de Proteção de Cultivares (Pl nº 827/2015). **Relações Internacionais no Mundo Atual**, v. 2, n. 23, p. 390, 2019. <http://dx.doi.org/10.21902/Revrima.v2i26.3906>

PRESTES, O. D. **Método Rápido para a Determinação Simultânea de Resíduos de Agrotóxicos e Medicamentos Veterinários em Alimentos de Origem Animal por LC-MS/MS**. 201. 130p. Tese (Doutorado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

RATCHAWANG, S., CHOTPANTARAT, S. The Leaching Potential of Pesticide in Song Phi Nong District, Suphan Buri Province, Thailand. **Environmental Asia**, v. 12, p. 112–120, 2019. DOI 10.14456/ea.2019.51

RIBEIRO, J. S.; et al. Avaliação Preliminar do Risco de Contaminação Dos Recursos Hídricos por Pesticidas Utilizados no Cultivo da Soja em Três Municípios da Região Oeste do Pará. **Atena Editora**, Ponta Grossa, p. 10-18, 2019. [10.22533/at.ed.5141924054](https://doi.org/10.22533/at.ed.5141924054)

RIBEIRO, M. L.; et al. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 688-694, jun. 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422007000300031>

SABIK, H.; JEANNOT, R.; RONDEAU, B. Multiresidue Methods Using Solid-Phase Extraction Techniques for Monitoring Priority Pesticides, Including Triazines and Degradation Products, in Ground and Surface Waters. **Journal of Chromatography A**, v. 885, n. 1-2, p. 217-236, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/s0021-9673\(99\)01084-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0021-9673(99)01084-5).

SANCHES, S.M. et al. Pesticidas e seus respectivos riscos associados à contaminação da água. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 13, p. 53-58, 2003.

SILVA, A. A. da; SILVA, J. F. da. Tópicos em manejo de plantas daninhas. **Editora UFV**, Viçosa: UFV, 2007. cap. 5, p. 189-248.

SILVA, L. T. M. da; SOUZA, K.-A. S. de; GUSMÃO, C. M. P.; RODRIGUES, A. P. R. A. OS Agrotóxicos Permitidos no Brasil e seus Impactos na Saúde Humana. **Caderno de Graduação - Ciências Biológicas e da Saúde - UNIT - ALAGOAS**, v. 6, n. 2, p. 213, 2020.

SOARES, A. F. S.; SOUZA, L. P. S. e. Contaminação das águas de abastecimento público por poluentes emergentes e o direito à saúde. **Revista de Direito Sanitário**, v. 20, n. 2, p. 100-133, 2020. <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9044.v20i2p100-133>.

SOARES, D. F.; FARIA, A. M.; ROSA, A. H. Análise de risco de contaminação de águas subterrâneas por resíduos de agrotóxicos no município de Campo Novo do Parecis (MT), Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 277-284, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016139118>.

SOUZA, P. S. de; GORRI, A. P. Agrotóxicos no Brasil: Uma Visão Relacional a Partir da Articulação Freire-CTS. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em**

Ciências, v. 19, p. 399–422, 2019. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2019u399422>