



**UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA, EXTENSÃO E AÇÃO COMUNITÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOCIEDADE, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE  
DOUTORADO ACADÊMICO**

**MARINA TEODORO**

**AVALIAÇÃO SOCIOAMBIENTAL DO USO DE AGROTÓXICOS POLIMÓRFICOS  
SOB A PERSPECTIVA JURÍDICA NO BRASIL**

**MARINA TEODORO**

**AVALIAÇÃO SOCIOAMBIENTAL DO USO DE AGROTÓXICOS POLIMÓRFICOS  
SOB A PERSPECTIVA JURÍDICA NO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPG STMA) da Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutora em Ciências Ambientais.

**Orientador: Prof. Dr. Hamilton Barbosa Napolitano.  
Coorientadora: Profa. Dra. Mariana Rezende M. da Costa.**

Anápolis/GO

2023

T314

Teodoro, Marina.

Avaliação socioambiental do uso de agrotóxicos polimórficos  
sob a perspectiva jurídica no Brasil / Marina Teodoro -  
Anápolis: Universidade Evangélica de Goiás – UniEvangélica, 2023.  
74p.; il.

Orientadora: Prof. Dr. Hamilton Barbosa Napolitano.

Coorientadora: Profa. Dra. Mariana Rezende M. da Costa.

Tese (doutorado) – Programa de pós-graduação *stricto sensu*

Doutorado em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente –

Universidade Evangélica de Goiás - UniEvangélica, 2023.

1. Cerrado brasileiro 2. História ambiental 3. Pesticida 4. Lacuna legislativa  
I. Napolitano, Hamilton Barbosa II. Costa, Mariana Rezende M. da III. Título

CDU 504

Catlogação na Fonte

Elaborado por Rosilene Monteiro da Silva CRB1/3038

**MARINA TEODORO**

**AVALIAÇÃO SOCIOAMBIENTAL DO USO DE AGROTÓXICOS POLIMÓRFICOS  
SOB A PERSPECTIVA JURÍDICA NO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPG STMA) da Universidade Evangélica de Goiás - UniEVANGÉLICA, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutora em Ciências Ambientais. Orientador Professor Doutor Hamilton Barbosa Napolitano e Coorientadora Professora Doutora Mariana Rezende M. da Costa.

Aprovada em 12/12/2023, pela seguinte Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente  
**HAMILTON BARBOSA NAPOLITANO**  
Data: 12/04/2024 10:30:24-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

**Prof. Dr. Hamilton Barbosa Napolitano**  
(Presidente da Banca)



Documento assinado digitalmente  
**MARIANA REZENDE MARANHÃO DA COSTA**  
Data: 22/02/2024 12:16:02-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

**Profa. Dra. Mariana Rezende Maranhão da Costa**  
(Coorientadora)



Documento assinado digitalmente  
**SANDRO DUTRA E SILVA**  
Data: 04/03/2024 07:42:14-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

**Prof. Dr. Sandro Dutra e Silva**  
(Examinador Interno)



Documento assinado digitalmente  
**FRANCISCO LEONARDO TEJERINA GARRO**  
Data: 27/02/2024 08:05:36-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

**Dr. Francisco Leonardo Tejerina-Garro**  
(Examinador Interno)



Documento assinado digitalmente  
**TIAGO GODOI RIBEIRO**  
Data: 22/02/2024 19:13:06-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

**Prof. Dr. Tiago Godoi Ribeiro**  
(Examinador Externo)



Documento assinado digitalmente  
**GERMÃO CAMPOS SILVA**  
Data: 25/02/2024 09:40:54-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

**Prof. Dr. Germano Campos Silva**  
(Examinador Externo)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, especialmente porque me ajudou até aqui e mais uma vez demonstrou Seu amor ao colocar cada uma das pessoas a seguir em meu caminho.

Ao meu orientador, professor Hamilton Barbosa Napolitano, pela sua inesgotável paciência e dedicação. Sua persistência em não desistir de mim, mesmo quando eu mesma havia perdido a esperança, é algo que valorizo imensamente.

À coorientadora, professora Mariana Maranhão, por suas intervenções certeiras.

Aos professores Sandro Dutra e Francisco Tejerina, cujos direcionamentos me levaram ao um lugar melhor e superior.

Aos meus pais, Jairo Teodoro e Sonia Teodoro, porque continuam a ser, a um só tempo, meus maiores treinadores, torcedores e patrocinadores. Reconheço que qualquer triunfo sob meu nome deve ser igualmente inscrito, e de forma merecida, sob o deles.

A Alessandra Gomes e Sara Diniz que validaram as palavras de Jesus sobre as boas companhias e seus efeitos sobre nós.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), em conjunto com a Universidade Estadual de Goiás (UEG) e a Universidade Evangélica de Goiás (UniEvangélica), meu sincero agradecimento pelo apoio e pelo financiamento parcial desta pesquisa, realizada em colaboração com o Welcome Trust n. 217968/Z/19/Z.

“La ecología política construye su campo de estudio y de acción en el encuentro y a contracorriente de diversas disciplinas, pensamientos, éticas, comportamientos y movimientos sociales”.

**Enrique Leff**

## RESUMO

O propósito desta pesquisa é demonstrar a convergência entre a legislação ambiental, o polimorfismo de agrotóxicos e a proteção do meio ambiente. Buscamos compreender, assim, como dispositivos legais impactam a produção, comercialização e utilização de agrotóxicos, especialmente aqueles que apresentam polimorfismo químico, cristalizando-se a mesma molécula em formas distintas. O objetivo é avaliar o impacto desses agrotóxicos na preservação e na qualidade do meio ambiente, bem como identificar a possibilidade de melhoria nas políticas e regulamentos existentes para promover uma agricultura mais sustentável e a proteção ambiental. Ao explorarmos esses temas, nossa pesquisa contribui ao identificar e analisar as lacunas presentes nas regulamentações de agrotóxicos, particularmente os polimórficos. Além disso, propomos recomendações para uma regulamentação mais adequada, considerando o polimorfismo e priorizando a segurança e a preservação ambiental. Abordamos também questões legais relacionadas ao uso de agrotóxicos em diferentes contextos agrícolas. Ao oferecer *insights*, nossa pesquisa visa não apenas a construção de políticas públicas que assegurem a segurança dos trabalhadores rurais, a saúde pública e a proteção do meio ambiente, mas também a contribuição para o avanço do Direito. Fornecemos perspectivas que têm o potencial de influenciar futuras regulamentações e práticas jurídicas no âmbito da agricultura e proteção ambiental, solidificando nosso papel no estado da arte dessas disciplinas.

**Palavras-chave:** Cerrado brasileiro; história ambiental; pesticida; lacuna legislativa.

## **ABSTRACT**

The purpose of this research is to demonstrate the convergence between environmental legislation, pesticide polymorphism and environmental protection. We seek to understand how legal provisions impact on the production, marketing and use of pesticides, especially those with chemical polymorphism, where the same molecule crystallizes in different forms. The aim is to assess the impact of these pesticides on the preservation and quality of the environment, as well as to identify the possibility of improving existing policies and regulations to promote more sustainable agriculture and environmental protection. By exploring these issues, our research contributes to identifying and analyzing the gaps present in pesticide regulations, particularly polymorphic pesticides. In addition, we propose recommendations for better regulation, taking polymorphism into account and prioritizing safety and environmental preservation. We also address legal issues related to the use of pesticides in different agricultural contexts. By offering these insights, our research aims not only to build public policies that ensure the safety of rural workers, public health and environmental protection, but also to contribute to the advancement of law. We provide perspectives that have the potential to influence future regulations and legal practices in the field of agriculture and environmental protection, solidifying our role in the state of the art of these disciplines.

**Keywords:** Brazilian Cerrado; environmental history; pesticide; legislative gap.

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

<b>Figura 1</b>	Caracterização das propriedades físico-químicas do glifosato.	22
<b>Figura 2</b>	Caracterização das propriedades físico-químicas da atrazina.	24
<b>Tabela 1</b>	Amostra de países com proibição ou regulamentação do uso de glifosato e atrazina.	25
<b>Tabela 2</b>	Principais regulamentações sobre agrotóxicos em nível federal no Brasil.	27
<b>Tabela 3</b>	Principais normas de regulamentação de agrotóxicos da Anvisa.	29
<b>Tabela 4</b>	Marcos legislativos estaduais de regulamentação de agrotóxicos em Goiás.	37
<b>Tabela 5</b>	Principais normas de regulamentação de agrotóxicos da Agrodefesa.	38

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 USO DE AGROTÓXICOS POLIMÓRFICOS NO BRASIL .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 A necessidade de uso de agrotóxicos em contraponto ao potencial de impacto negativo de sua utilização .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 O problema do polimorfismo.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Glifosato .....</b>	<b>20</b>
<b>2.4 Atrazina.....</b>	<b>23</b>
<b>2.5 Histórico e legislação regulamentadora do uso de agrotóxicos .....</b>	<b>26</b>
2.5.1 Glifosato como agente elegível da aposentadoria especial .....	39
<b>3 RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>42</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>68</b>
<b>5 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O objetivo geral deste trabalho é demonstrar a convergência entre a legislação ambiental, o polimorfismo de agrotóxicos e a proteção do meio ambiente. Com isso, busca-se compreender como dispositivos legais impactam a produção, comercialização e utilização de agrotóxicos, especialmente aqueles que apresentam polimorfismo químico – fenômeno que se refere à cristalização da mesma molécula em formas distintas. Também há o intuito de avaliar o efeito desses agrotóxicos na preservação e na qualidade do meio ambiente, bem como identificar a possibilidade de melhoria nas políticas e regulamentos existentes, a fim de promover uma agricultura mais sustentável e a proteção ambiental.

Tal abordagem visa orientar a pesquisa e análise desses temas, proporcionando uma compreensão mais profunda das implicações legais e ambientais do polimorfismo de agrotóxicos. Além disso, pretende-se identificar oportunidades para fomentar práticas agrícolas mais sustentáveis e proteger o meio ambiente. Assim, este trabalho estabelecerá claramente os conceitos relacionados à convergência mencionada, destacando as potenciais influências positivas e negativas no meio ambiente. Em razão dos dados encontrados e da localização de nosso programa de pós-graduação, o recorte metodológico em análise se concentra no estado de Goiás e no bioma predominante em seu território – o Cerrado –, bem como nos agrotóxicos polimórficos mais utilizados nessa região, tais como o glifosato e a atrazina. Contudo, as considerações apresentadas neste trabalho podem ser analogamente extrapoladas para o território nacional.

As questões aqui discutidas abrangem diversas áreas do conhecimento, tais como o Direito, a Química, a Sociologia, a Ecologia, as Ciências Ambientais e a Economia, o que ressalta a sua natureza multidisciplinar. Essa característica alinha-se aos objetivos do programa de pós-doutorado em sociedade, tecnologia e meio ambiente, refletindo a necessidade de uma abordagem integrada diante da complexidade e interconexão dos problemas ambientais.

De acordo com Leff (1996), o saber ambiental é multidisciplinar por natureza em razão da complexidade e interconexão dos problemas ambientais. Sendo assim, não é possível compreender ou atuar em prol do meio ambiente por meio da utilização de conhecimentos compartimentalizados, sem que uma ciência se relacione à outra, ou ainda sem que a ciência se relacione, por exemplo, ao conhecimento tradicional

de comunidades locais nas discussões sobre o meio ambiente, já que diferentes formas de conhecimento, sistematizados ou não, são essenciais para se entender a complexidade dos problemas ambientais.

A interdependência entre sistemas naturais e sociais deve fazer parte do que Leff chama de “racionalidade ambiental”, algo essencial para o exercício da sustentabilidade. Se falamos em sistemas sociais, não podemos deixar de mencionar a colaboração do Direito e da legislação nos caminhos neurais de proteção ao meio ambiente, já que, ainda de acordo com Leff, o saber ambiental é uma construção social, cujo desenvolvimento corresponde aos desafios ambientais que se apresentam ao longo do tempo, o que leva a sociedade a adaptar-se a eles. A sociedade adapta-se, por sua vez, por meio do fato social, isto é, padrões de comportamento, crenças e valores que são externalizados e exercem influência sobre os indivíduos, moldando o comportamento das pessoas independentemente de sua vontade (Durkheim, 1978).

O Direito é, a um só tempo, valor, norma e fato social, o que o torna uma ferramenta de controle social institucionalizado que se baseia em regras positivas e regula o comportamento das pessoas, muitas vezes refletindo os demais fatos sociais que são externalizados na sociedade. A interação entre Direito, fatos sociais e controle social é complexa e desempenha um papel importante na estabilidade e na dinâmica das sociedades. Com o Direito, exerce-se poder sobre os indivíduos e, de acordo com Leff, as questões ambientais não podem ser dissociadas do poder e da política, devendo-se levar em consideração esses fatores ao analisá-las.

Essa influência política sobre as questões ambientais não é recente, tendo sido descrita em “Primavera Silenciosa” por Rachel Carson (2015) já em 1962, quando ao analisar os efeitos negativos da utilização generalizada de pesticidas, a bióloga destacou como as empresas fabricantes desses produtos muitas vezes minimizavam os riscos de agrotóxicos e influenciavam a regulamentação governamental. Na época de seu lançamento, essa obra trouxe dois aspectos de discussão não abordados nessa escala anteriormente: a) como é fundamental ter uma visão holística do meio ambiente – ao encontro do pensamento multidisciplinar de Leff; e b) ainda que de forma branda, a autora sugeriu que a corrupção política e governamental tem sua parcela de contribuição nas mazelas ambientais, o que pôde ser corroborado pela repercussão de sua obra, já que a bióloga foi perseguida, difamada e desacreditada por tais afirmações (Maia; Franco, 2021).

O impacto de regulamentação jurídica sobre questões ambientais e sociais é também narrado em “The Death of Ramon Gonzalez”, no qual Wright (2005) argui que a morte da personagem titular é a insígnia da falha governamental em proteger o meio ambiente e os cidadãos sob sua tutela. Na narrativa isso fica evidenciado de forma especial quando os cidadãos são imigrantes pobres tidos como inferiores, o que demonstra como o ordenamento jurídico americano contribuiu para a formação de um sistema agropecuário que coloca números de produção e outros fatores econômicos acima da manutenção de um meio ambiente sadio e da saúde dos seres humanos.

Ambas as obras literárias mencionadas convidam à reflexão sobre as implicações das práticas agrícolas contemporâneas e as mudanças necessárias para preservar tanto os seres humanos quanto o meio ambiente. Sem a intenção de se equiparar a Carson e Wright, esta pesquisa busca conduzir o leitor a uma profunda reflexão. Almeja-se, da mesma forma, que este estudo demonstre que uma abordagem acadêmica sobre a regulamentação e os impactos do polimorfismo em agrotóxicos pode contribuir significativamente para o estado da arte do Direito. Isso proporcionaria perspectivas capazes de influenciar futuras regulamentações e práticas jurídicas relacionadas à agricultura e à proteção ambiental.

A agricultura, como atividade fundamental na construção da cultura humana, sempre esteve intrinsecamente ligada à produção de alimentos. Ao longo da história da humanidade, as práticas de plantio e colheita, que possibilitaram melhores condições de vida, estimularam a busca por inovações e tecnologias para aprimorar a produtividade. Diante do rápido crescimento populacional, a necessidade de aumentar a produção de alimentos vegetais, combinada com desafios como limitações territoriais e escassez de áreas rurais adequadas para o cultivo, levou à disseminação dos agrotóxicos (Pacífico, 2009).

Os agrotóxicos são produtos químicos sintéticos utilizados para eliminar insetos, larvas, fungos e carrapatos, visando controlar doenças causadas por esses vetores e regular o crescimento vegetal, tanto em ambientes rurais quanto urbanos (Brasil, 2022; 2023b). O uso massivo de agrotóxicos na maioria das culturas produzidas em larga escala no Brasil desperta preocupações em várias dimensões. Destaca-se, especialmente, a preocupação ambiental, pois os agrotóxicos têm alto potencial para causar desequilíbrios nos biomas onde as atividades agropecuárias ocorrem, além de estar associado a impactos na saúde das populações (Beltran; Klautau, 2020).

Torna-se cada vez mais evidente que o trabalho agrícola, principalmente nas grandes empresas em colaboração com multinacionais, revela-se uma atividade de alto risco para a saúde global dos trabalhadores rurais (Borsoi *et al.*, 2014). Entre os diversos riscos ergonômicos e ocupacionais, o contato com agrotóxicos, correlacionado a doenças crônicas e intoxicações agudas, tem suscitado debates significativos (Vasconcellos *et al.*, 2020).

Os herbicidas, categorizados como agrotóxicos destinados a combater ervas daninhas que prejudicam as culturas, destacam-se, sobretudo, pelos debates e questões que suscitam. Entre os diversos herbicidas disponíveis, o glifosato se destaca pela sua eficácia e ação em diferentes tipos de plantações, sendo o mais utilizado globalmente, inclusive liderando as vendas no Brasil (Lima, 2013). No âmbito da saúde pública, estudos revelam que o glifosato está diretamente associado a doenças neurodegenerativas, e apontam sua participação na indução de efeitos cardiovasculares, hepáticos, além de reações cancerígenas, distúrbios de fertilidade e reprodução (Pol; Hupffer; Figueiredo, 2021).

Críticas relacionadas à estrutura jurídica dos agrotóxicos no Brasil têm sido evidenciadas (Candioto, 2018). O marco legal mais significativo surge com a Constituição Federal de 1988, que, por meio do artigo 196, estabelece a saúde como um direito de todos os cidadãos, sendo responsabilidade do Estado efetivar essa garantia por meio de políticas sociais e econômicas para minimizar os riscos de doenças e outros agravos, bem como promover, proteger e recuperar a saúde da população.

Perspectivas acadêmicas indicam que a Lei 7802/1989 reflete diretamente as preocupações ecológicas e ambientais, emergindo das questões de saúde pública e coletiva que ganharam visibilidade internacional a partir da década de 1970 (Solano, 2020; Vicente; Guedes, 2021). A lei determina que os agrotóxicos só podem ser utilizados no Brasil mediante registro em órgãos federais competentes, em conformidade com diretrizes, normas e protocolos estabelecidos por órgãos ligados à saúde pública, meio ambiente e agricultura. A legislação brasileira referente a agrotóxicos e insumos agrícolas de origem química encontra-se distribuída em vários diplomas legais e portarias multiministeriais.

Sob a ótica jurídica, reconhece-se que a legislação, composta por leis, normas e diretrizes, representa o meio mais coeso para prevenir potenciais danos decorrentes do uso indiscriminado e desregulado de agrotóxicos no Brasil. Apesar da existência

de estruturas legais que regulam a produção, venda, armazenamento e comércio desses produtos, é possível identificar lacunas nesse contexto. Diante dessas considerações, o presente estudo, realizado como uma revisão de literatura narrativa, também empregou análise documental de alguns elementos e mecanismos jurídicos, especialmente leis relacionadas a agrotóxicos. Seu foco central é o polimorfismo químico manifestado pelo glifosato e pela atrazina, explorando como a ausência de regulamentação dessa característica pode impactar o meio ambiente.

## **2 USO DE AGROTÓXICOS POLIMÓRFICOS NO BRASIL**

Com o intuito de concretizar o objetivo da pesquisa e demonstrar efetivamente a interseção entre a legislação ambiental, o polimorfismo de agrotóxicos e a proteção do meio ambiente, este trabalho busca compreender o impacto das regulamentações legais na produção, comercialização e utilização de agrotóxicos, especialmente naqueles que apresentam diferentes formas cristalinas. Além disso, pretende-se avaliar como tais regulamentações influenciam a preservação e qualidade do meio ambiente, ao mesmo tempo em que se busca identificar áreas passíveis de aprimoramento nas políticas e regulamentos existentes e a promoção de uma agricultura mais sustentável e com proteção ambiental. A fim de alinhar esses objetivos, será feito nos próximos parágrafos o estabelecimento do arsenal conceitual necessário e a descrição da conjuntura jurídica brasileira atual sobre o tema.

Neste capítulo, serão apresentadas reflexões sobre o polimorfismo em agrotóxicos amplamente utilizados no Brasil, concentrando-se especificamente no glifosato e na atrazina, escolhidos como objetos de análise devido ao seu papel como insumos agrícolas para expansão da produção. Além disso, serão abordadas teorizações sobre o polimorfismo resultante do uso desses agrotóxicos em larga escala, frequentemente sem controle ou fiscalização adequada.

A incorporação do glifosato e da atrazina em grandes produções agrícolas, visando aumentar a eficiência produtiva e sua popularização, ocorreu devido à comprovada eficácia desses produtos como dessecantes e herbicidas. Contudo, a evidência de alterações em organismos vegetais, resultando em resistência ao próprio agrotóxico, tem gerado debates acalorados sobre os problemas e danos potenciais causados pelo glifosato e pela atrazina.

### **2.1 A necessidade de uso de agrotóxicos em contraponto ao potencial de impacto negativo de sua utilização**

Essa problemática levanta questões cruciais sobre a necessidade de uso de agrotóxicos, confrontando-as com o potencial de impacto negativo de sua utilização. Desde os primórdios do processo civilizatório, as comunidades e grupos humanos estabeleceram uma intrínseca conexão com a produção de alimentos de origem vegetal, um fator crucial para a evolução das formas de organização social. Conforme

Corazza e Martinelli Júnior (2002) destacam, historicamente, a prática da agricultura remonta a cerca de 12 mil anos atrás, surgindo durante o Período Neolítico como um dos principais marcos nas vivências das primeiras civilizações registradas pela historiografia. Nesse contexto, as atividades agrícolas foram se desenvolvendo gradualmente, apresentando variações regionais. As evidências mais antigas indicam que cereais e tubérculos foram as primeiras culturas registradas. Apesar dos avanços tecnológicos e científicos que sempre acompanharam a história da agricultura, é ressaltado pelos autores que nem sempre esses avanços foram coerentes com uma visão ecológica e sustentável da produção agrícola.

É imperativo considerar que o desenvolvimento acelerado da agricultura, particularmente na segunda metade do século XX, enfatizou a necessidade de recursos tecnológicos para enfrentar os desafios característicos dessa área. O controle de ervas daninhas e pragas botânicas tornou-se um desafio real. A partir da década de 1990, os herbicidas que continham fórmulas à base de compostos de glifosato ganharam destaque, suscitando preocupações relacionadas às grandes áreas cultivadas com espécies geneticamente modificadas. Assim, torna-se evidente que a principal motivação por trás do uso de agrotóxicos é a maximização dos resultados agrícolas e a subsequente evolução econômica decorrente dessa produção em larga escala.

A avaliação ambiental de pesticidas é fundamental para compreender o impacto desses produtos nos ecossistemas. Esses testes abrangem a análise da composição química, degradação e estabilidade do pesticida no ambiente, a avaliação de sua toxicidade para organismos não alvo, incluindo seres humanos, plantas e animais, e o estudo de persistência, que prevê quanto tempo o pesticida permanecerá no ambiente, bem como seu potencial para bioacumulação, isto é, a possibilidade de que uma substância se concentre em tecidos ou órgãos dos organismos. Além disso, examinam como o pesticida afeta os ecossistemas, incluindo seu impacto nas cadeias alimentares e na biodiversidade. Consideram alternativas de controle de pragas menos prejudiciais ao meio ambiente, avaliam métodos de aplicação de pesticidas e como isso pode levar a exposições não intencionais, e garantem que o pesticida esteja em conformidade com regulamentações ambientais e padrões de segurança (Lopes; Albuquerque, 2018).

É nesse último aspecto que reside o problema detectado por esta pesquisa, pois a legislação e regulamentação ambiental existentes não têm o potencial de

garantir padrões de segurança para certos tipos de agrotóxicos, chamados polimórficos, conforme detalhado a seguir. As avaliações ambientais auxiliam as autoridades regulatórias a tomar decisões informadas sobre a aprovação, restrição ou proibição de pesticidas, minimizando seu impacto negativo no meio ambiente. Evitar o uso indiscriminado de agrotóxicos é crucial, pois pode acarretar diversas consequências negativas, incluindo distúrbios neurológicos, intoxicação aguda e crônica, câncer, problemas no sistema endócrino e respiratório, poluição do ar durante a aplicação, contaminação da água e do solo, impactos na fauna e flora de biomas, resistência de pragas e ervas daninhas, perda de produtividade a longo prazo e impacto na segurança alimentar. Por essas razões, regulamentações rigorosas e práticas agrícolas sustentáveis são essenciais para conter os impactos negativos do uso de agrotóxicos e proteger a saúde humana e o meio ambiente (Priour *et. al*, 2015).

## **2.2 O problema do polimorfismo**

Tais questões levantam discussões cruciais sobre o polimorfismo químico. Embora não seja uma descoberta recente, nas últimas duas décadas, o polimorfismo químico ganhou notoriedade devido às implicações que acarreta para a Indústria Farmacêutica, assim como nos Espaços industriais voltados a implementos e insumos agrícolas. No mesmo sentido, o conceito de polimorfismo é amplamente debatido nas discussões sobre registro de patentes nas indústrias e segmentos farmacêuticos e químicos de modo geral (Teodoro; Custodio; Napolitano, 2018). Antes de prosseguir, é crucial esclarecer que não se trata do mesmo fenômeno relativo ao polimorfismo genético, que também alcançou notória visibilidade nos estudos das Ciências Ambientais, especialmente devido às transformações nos organismos resultantes das intervenções humanas (Yerena *et al.*, 2005).

No âmbito da química, o polimorfismo é reconhecido como a capacidade ou propriedade de materiais sólidos apresentarem mais de uma forma cristalina. Polímeros e determinados metais também são passíveis de exibir esse fenômeno. No caso de substâncias químicas elementares, o polimorfismo é geralmente designado pela nomenclatura popularizada como alotropia, permitindo a formação de uma ou mais substâncias simples diferentes a partir de um mesmo elemento químico. Importante salientar que esse fenômeno é distinto e oposto do isomorfismo, que é a propriedade de dois ou mais corpos de igual constituição química terem formas

cristalinas análogas. Nesse contexto, a capacidade de uma molécula cristalizar em duas ou mais formas é definida como polimorfismo. Como indicado por Aguiar, Gemal e Gil (1999, p. 53),

[a] capacidade de uma molécula cristalizar em duas ou mais formas é definida como polimorfismo; quando moléculas de solvente estão presentes na estrutura cristalina, o fenômeno é denominado pseudopolimorfismo. Polimorfos diferentes de um mesmo composto geralmente apresentam diferenças significativas de solubilidade, processabilidade e estabilidade física e química. Estas diferenças físico-químicas irão modificar o comportamento da molécula quando em um meio biológico, inclusive podendo alterar sua biodisponibilidade.

O fenômeno do polimorfismo, de maneira resumida, refere-se à capacidade de materiais sólidos cristalizarem-se em mais de uma estrutura cristalina. Isso implica que esses materiais podem ser constituídos a partir de uma mesma molécula, resultando em estruturas tridimensionais de empacotamento cristalino distintas e diferentes (Lariucci; Napolitano; Cunha, 2008).

No contexto do polimorfismo de agrotóxicos, essa capacidade se manifesta quando uma molécula de agrotóxico cristaliza em duas ou mais formas diferentes. Tal fenômeno apresenta desafios consideráveis, destacando-se: a) eficiência variável, uma vez que diferentes formas cristalinas do mesmo agrotóxico podem possuir propriedades físicas e químicas distintas, impactando sua eficácia no controle de pragas e ervas daninhas; b) solubilidade e biodisponibilidade, pois as diversas formas cristalinas afetam a capacidade do agrotóxico de se dispersar no ambiente e sua disponibilidade para plantas e organismos-alvo, com implicações ambientais se uma forma for menos solúvel; c) resistência de pragas e ervas daninhas, pois o polimorfismo pode influenciar a resposta desses organismos ao agrotóxico, levando ao desenvolvimento de resistência; d) impacto na saúde e meio ambiente, uma vez que diferentes formas cristalinas podem apresentar toxicidades distintas para organismos não alvo, incluindo seres humanos, afetando a segurança do agrotóxico para trabalhadores agrícolas, consumidores e o meio ambiente (Silva; Iha, 2010).

Em síntese, o polimorfismo de agrotóxicos pode gerar incertezas quanto à eficácia, segurança e impacto ambiental desses produtos. Assim, torna-se crucial compreender e avaliar as diversas formas cristalinas de agrotóxicos e os efeitos que podem desencadear na agricultura e no meio ambiente. Isso ressalta a necessidade

de uma regulamentação e monitoramento rigorosos desses produtos, visando mitigar riscos e impactos negativos. A escolha de focar o estudo do polimorfismo nos agrotóxicos glifosato e atrazina no Brasil, especialmente em Goiás, foi motivada pelo potencial de polimorfismo dessas substâncias, aliado ao seu amplo uso na agricultura. Tanto o glifosato quanto a atrazina são extensivamente utilizados em culturas não apenas em Goiás, mas em todo o país, exercendo um impacto significativo na paisagem agrícola estadual e nas questões ambientais associadas. Entre essas preocupações, destaca-se que o uso intensivo de agrotóxicos pode acarretar consequências significativas na agricultura, no meio ambiente e na saúde pública.

Além disso, Goiás desempenha um papel crucial na agricultura brasileira, sendo essencial para a economia regional. Portanto, compreender os agrotóxicos empregados nessa região e como podem ser afetados pelo polimorfismo é vital para a tomada de decisões relacionadas à agricultura sustentável e à proteção ambiental. Essas decisões, testadas em uma região com intensa atividade agrícola, podem servir como base para políticas em nível nacional. Do ponto de vista jurídico, o estudo do polimorfismo desses agrotóxicos pode influenciar a regulamentação e legislação relacionadas ao seu uso, não apenas em Goiás, mas em todo o Brasil. Essa abordagem pode contribuir para o desenvolvimento de regulamentos mais eficazes, levando em consideração as diferentes formas cristalinas e seus impactos.

Dessa maneira, a escolha do glifosato e da atrazina como objetos de estudo do polimorfismo de agrotóxicos em Goiás é justificada pela importância dessas substâncias na região e pelos potenciais impactos que seu polimorfismo pode acarretar na agricultura, meio ambiente e saúde pública. Essa pesquisa proporciona informações valiosas para embasar decisões informadas e promover práticas agrícolas mais sustentáveis.

### **2.3 Glifosato**

O glifosato destaca-se como um dos herbicidas mais amplamente utilizados no Brasil, sendo empregado principalmente no controle de ervas daninhas em culturas como soja, milho e algodão. Este agrotóxico de amplo espectro, comercializado sob a marca "Roundup" pela empresa Monsanto (atualmente parte da Bayer desde 2018), é reconhecido por sua eficácia em interferir no crescimento de diversas plantas daninhas.

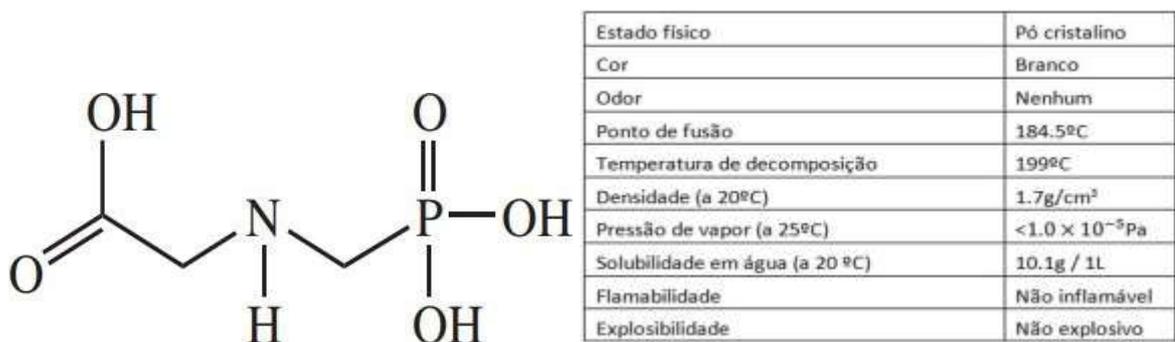
Em sua essência, o glifosato (N-(fosfonometil)glicina) configura-se como um agrotóxico com ação herbicida direta, apresentando características sistêmicas de amplo espectro. Notavelmente utilizado como dessecante de culturas, especialmente em países onde a regulamentação para sua aplicabilidade ainda não incorpora restrições ou orientações rigorosas, este composto é classificado como uma substância organofosforada, mais precisamente um fosfonato. A aplicação massiva nos meios agrícolas visa a eliminação de ervas daninhas, notadamente ervas folhosas perenes e gramíneas, que competem pelos nutrientes do solo preparado para o cultivo. As propriedades herbicidas dessa substância foram reconhecidas a partir dos estudos conduzidos pelo químico John E. Franz, da Monsanto, na década de 1970 (Becher, 2009; Vásquez, 2015). Nesse contexto, Moraes e Rossi (2010, p. 22-23) afirmam que

[a] ampla utilização do glifosato em várias culturas tem-se mostrado vantajosa em relação a vários métodos de controle de plantas daninhas. Aspectos relacionados à toxicologia, ecotoxicologia, facilidade de manuseio, eficácia de controle, ganhos de produtividade, entre outros, tornaram esse herbicida, líder mundial de vendas. O glifosato é a molécula herbicida de maior participação no mercado mundial, com mais de 150 marcas comerciais sendo comercializado em mais de 119 países, com registro para mais de uma centena de culturas. No entanto, todas elas apresentam o mesmo mecanismo de ação, inibindo a enzima enol-piruvilshiquimato-fosfato-sintase (EPSPs), independente dos sais utilizados na formulação do produto. No Brasil, esse herbicida é formulado com diferentes sais, como o sal potássico, sal de isopropilamina e o sal de amônio.

De acordo com Menezes *et al.* (2004), o glifosato ganhou notoriedade com a popularização de grandes redes e seguimentos agrícolas voltados à elevação da produtividade e da rentabilidade. Sendo que pragas botânicas como as ervas daninhas representam um dos maiores embates para a produção agrícola, o uso do composto se demonstra assinaladamente eficaz. Sobre sua atuação sistêmica enquanto herbicida, é válido apontar que o glifosato tem sua absorção efetivada através das folhas e, em menor grau, por meio de raízes. Deste modo, é capaz de ser transportado para pontos variados de crescimento das gramíneas e ervas daninhas que surgem em dados momentos das culturas. Desse modo, sua ação dessecante na maior parte das pragas age de forma consideravelmente rápida em comparação como outros produtos da mesma natureza e finalidade.

Como composto químico, o glifosato é parte constitutiva do grupo dos aminoácidos fosfonados, os quais são amplamente utilizados nos meios industriais. Da mesma maneira que seu precursor, ou seja, a glicina, demonstra comportar-se de forma zwitteriônica, com separação de duas cargas em pH neutro. Tais cargas são distintas, sendo uma positiva no grupo amina e uma negativa no grupo fosfonato. A Figura 1 traz a fórmula estrutural do glifosato.

**Figura 1** – Caracterização das propriedades físico-químicas do glifosato.



Fonte: Coutinho; Mazo (2005).

A ação dessecante do glifosato deriva de sua capacidade de inibir uma enzima vegetal essencial na síntese de três aminoácidos aromáticos: fenilalanina, triptofano e tirosina, sendo este último reconhecido por seu papel como precursor de neurotransmissores como adrenalina, noradrenalina e dopamina no organismo humano. Vale ressaltar que o glifosato é eficaz no combate apenas a espécies daninhas que se beneficiam do solo em estado de crescimento ativo, não demonstrando eficácia como herbicida pré-emergencial.

A ação química do glifosato, que o destaca por suas propriedades herbicidas, interfere em processos bioquímicos cruciais para a organicidade de organismos botânicos, como a biossíntese de aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos presentes em ervas daninhas. Absorvido pelo tecido vegetal, o glifosato é translocado, via floema, para raízes e rizomas, bloqueando enzimas específicas, como a enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintase (EPSP), interrompendo a síntese de aminoácidos aromáticos. As ervas daninhas tratadas com glifosato podem fenecer de maneira lenta, levando à morte total em poucos dias ou até duas semanas, dependendo da planta. Sua eficácia abrangente, afetando todo o sistema vegetal, destaca-se como evidência de sua efetividade como herbicida (Coutinho; Mazo, 2005).

Estudos utilizando técnicas como espectroscopia de ressonância magnética nuclear (NMR), fluorescência e calorimetria de varredura diferencial, conduzidos por Coutinho e Mazo (2005), revelaram que o glifosato forma preferencialmente um complexo ternário estável com a enzima EPSP sintase e S3P (EPSPS3P-glifosato). Essas características tornam-no amplamente utilizado na agricultura convencional e em culturas geneticamente modificadas, como as plantas transgênicas "Roundup Ready", que são resistentes ao herbicida, permitindo seu uso sem afetar a cultura principal com seus efeitos dessecantes (Castro *et al.*, 2006).

No entanto, o uso indiscriminado do glifosato tem suscitado preocupações ambientais e de saúde, especialmente devido à sua persistência no solo e possíveis efeitos negativos em organismos não alvo. Diante dessas crescentes preocupações, o glifosato tem sido objeto de debates e regulamentações mais rigorosas em diversos países e regiões. Portanto, é crucial empregar o glifosato de forma responsável e em conformidade com as regulamentações locais para minimizar seus impactos negativos, sendo que, como será discutido a seguir, as regulamentações locais se mostram, por vezes, insuficientes nesse aspecto.

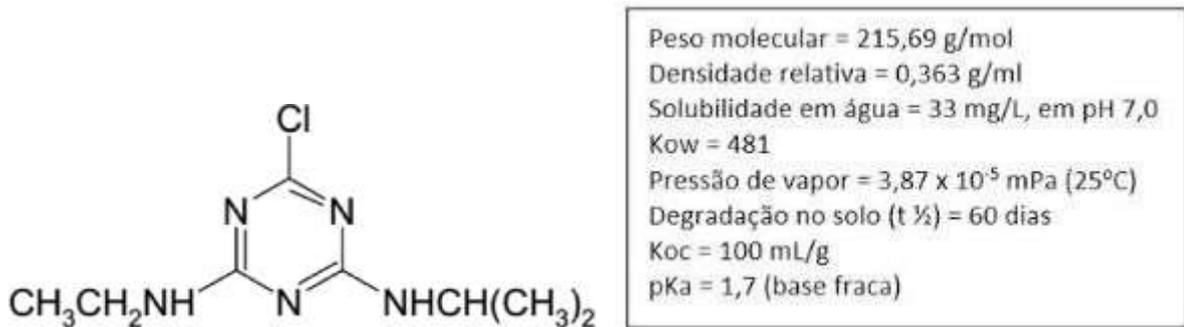
## **2.4 Atrazina**

A atrazina, um herbicida amplamente empregado na agricultura para controlar ervas daninhas, atua inibindo o processo fotossintético nas plantas, impedindo seu crescimento. Introduzida no mercado na década de 1950, a atrazina é principalmente utilizada em culturas como milho e sorgo. O crescente interesse em estudos sobre agrotóxicos e seus impactos tem levado a questionamentos sobre pesticidas que são utilizados há décadas, e a atrazina, devido à sua popularidade, tem se destacado nesse contexto.

De maneira resumida, a atrazina ([2-cloro-4-(etilamino)-6-(isopropilamino)-1,3,5-triazina]) é reconhecida como um herbicida amplamente aplicado nas culturas de cana-de-açúcar e milho (Silva *et al.*, 2013). Para contextualizar sua relevância, é importante observar que essas culturas representam o segundo e o terceiro lugares, respectivamente, na produção anual agrícola brasileira em toda sua extensão (Rocha; Marca; Abud, 2022). Isso implica que cerca de 18 mil hectares do território brasileiro são destinados a esses cultivos, sendo responsáveis por 36,5% do consumo anual nacional de herbicidas e outros insumos nesse setor agropecuário.

A cultura de sorgo, em particular, destaca-se como uma consumidora significativa desse herbicida. Além disso, o cultivo de abacaxi no Brasil também emprega a atrazina em larga escala, especialmente em regiões cobertas pelo bioma cerrado (Pimentel *et al.*, 2022). A Figura 2 apresenta características físico-químicas distintivas da atrazina. Esses dados revelam a relevância e a extensão do uso desse herbicida em diferentes culturas agrícolas no Brasil.

**Figura 2** – Caracterização das propriedades físico-químicas da atrazina.



Fonte: Rizzardi, 2018.

A popularização da atrazina, em paralelo ao glifosato, teve um aumento significativo a partir da segunda metade da década de 1960. Desde a sua descoberta, a atrazina é reconhecida como um pesticida eficaz no combate a ervas daninhas, com um custo relativamente baixo que a coloca entre os agrotóxicos mais amplamente utilizados como herbicida (González-Márquez *et al.*, 2013). Em países em desenvolvimento, como o Brasil e outros da América Latina, reconhecidos por suas atividades agrícolas, a atrazina ainda não enfrenta muitas restrições legais para seu uso generalizado (Melo *et al.*, 2017; Dias *et al.*, 2018).

O uso da atrazina na agricultura, embora não seja uma prática recente, ganhou destaque após ser banida em todos os países da União Europeia (UE) (Ávila *et al.*, 2013; Carmo *et al.*, 2013). Assim como outros pesticidas, como paraquat e acefato, proibidos nesses países, a atrazina é um dos principais agrotóxicos utilizados em culturas relevantes para exportação. Desde 2017, estima-se que os setores agrícolas usem pelo menos cerca de 60 toneladas desses agrotóxicos anualmente. A atrazina também tem levantado preocupações devido ao seu potencial impacto no meio ambiente e na saúde humana, especialmente em relação a problemas oncológicos confirmados (Pimentel *et al.*, 2022).

Em muitos países, a atrazina é regulamentada e monitorada para garantir que seu uso esteja dentro dos limites de segurança estabelecidos. Além disso, algumas jurisdições proibiram ou restringiram o uso da atrazina devido a preocupações ambientais. As regulamentações sobre o uso de glifosato e atrazina variam de país para país e estão sujeitas a alterações ao longo do tempo. Alguns países proíbem ou regulamentam rigorosamente esses herbicidas, enquanto outros permitem seu uso dentro de certos limites. A Tabela 1 traz exemplos de países que proíbem ou regulamentam rigorosamente o uso de glifosato e atrazina.

**Tabela 1** – Amostra de países com proibição ou regulamentação do uso de glifosato e atrazina.

<b>GLIFOSATO</b>	ÁUSTRIA: Proibiu o uso de glifosato para uso não profissional em 2019 e desde 2023 o proíbe na totalidade.
	FRANÇA: Anunciou planos para proibir o uso de glifosato a partir de 2022, mas com algumas exceções.
	ALEMANHA: Planejava reduzir o uso de glifosato significativamente e eliminá-lo completamente em 2023.
	BÉLGICA: Tinha restrições ao uso de glifosato e planejava proibi-lo em jardins privados a partir de 2021.
<b>ATRAZINA</b>	UNIÃO EUROPEIA: Já foi proibida na União Europeia devido a preocupações com a qualidade da água potável. No entanto, a atrazina ainda é usada em alguns países do continente fora do espaço econômico.
	CANADÁ: A atrazina foi proibida para uso em culturas alimentares em 1985, mas ainda é usada em campos de golfe e áreas não agrícolas.
	SUIÇA: Proibiu o uso de atrazina em 2016.

Fontes: Unisinos, 2019; Estadão, 2019; Exame, 2023; Deutsche Welle; G1, 2019; Brito, 2018.

Do ponto de vista ecológico e ambiental, estudos iniciados por volta de 2010 revelaram mudanças de sexo em anfíbios devido ao uso generalizado da atrazina em várias partes do mundo. Espécies de sapos apresentam uma parcela significativa da população de machos feminizada devido à ação disruptiva da atrazina em seus sistemas endócrinos, especialmente por sua capacidade de contaminar corpos d'água. Outros estudos, em sua maioria, concentram-se nos impactos para a saúde humana, fauna, flora e outros elementos ambientais (González-Márquez *et al.*, 2013).

Em seres humanos expostos a águas contaminadas com atrazina, foram registrados impactos graves na saúde pública, principalmente em mulheres grávidas. A substância demonstrou estar relacionada a condições clínicas que podem resultar em diminuição do peso e tamanho do feto, além de causar doenças cardíacas e do trato urinário em gestantes (Dias *et al.*, 2018).

## 2.5 Histórico e legislação regulamentadora do uso de agrotóxicos

O Brasil figura no cenário socioeconômico como um país em desenvolvimento, onde os produtos agrícolas, largamente vinculados à exportação, assumem uma relevância significativa. Nesse contexto, destaca-se a importância econômica do agronegócio para o país. No âmbito do setor agrícola brasileiro, cerca de 48% da produção está voltada para grãos, especialmente soja e milho. Portanto, a agricultura sempre desempenhou um papel de inestimável importância tanto para a funcionalidade econômica quanto social (Christ *et al.*, 2022; Christoffoli; Almeida, 2023).

Em conjunto com a pecuária, a agricultura emerge como um campo de debates em um país onde a estrutura agrária é proeminente. Diante das questões e perspectivas relacionadas aos impactos ambientais provenientes das atividades agrícolas e pecuárias, emerge a necessidade de discutir a temática jurídica do uso, controle e gestão ambiental de agrotóxicos, dada sua potencialidade contaminante, entre outros aspectos que se entrelaçam à saúde pública (Friedrich *et al.*, 2018).

Ao longo da história da formação territorial brasileira, a agricultura, de maneira semelhante a outras nações da América do Sul, influenciada pelos mercados externos voltados para exportações, passou por transformações devido às novas tecnologias e inovações nos insumos. Isso inclui o uso de sementes geneticamente modificadas e produtos agrotóxicos, visando garantir maior produtividade. Essas mudanças levantam consistentemente preocupações sobre a capacidade dos espaços rurais como ambiente para lidar com as intervenções e transformações resultantes das práticas produtivas no setor (Cantos *et al.*, 2011; Franco; Pelaez, 2016; Almeida *et al.*, 2017).

Insumos e implementos, como os agrotóxicos, são reconhecidos pelas vantagens em termos de rentabilidade associadas às produções e culturas agrícolas, especialmente em cultivos em larga escala destinados aos cenários de exportação (Spadotto, 2008; Vasconcelos, 2018). A existência de leis, diretrizes e normas regulamentares é crucial para um controle efetivo de seu uso e aplicabilidade, coibindo possíveis crimes ambientais decorrentes da falta de observância de fatores técnicos (Souza, 2017).

A legislação existente, apresentada brevemente na Tabela 2, desempenha um papel de destaque como caminho para um controle efetivo de possíveis danos, especialmente devido às questões relacionadas à interação dos agrotóxicos com o meio ambiente, sua potencialidade contaminante e seus efeitos na biodiversidade. Portanto, o aparato legal é muitas vezes considerado como o único meio de regulamentar o uso controlado para coibir danos advindos desse campo (Vaz, 2005). Quando se trata do uso de produtos com características agrotóxicas, a legislação assume uma importância fundamental, uma vez que, em uma ordenação jurídica em uma sociedade democrática, a proteção do meio ambiente é uma das questões mais urgentes na contemporaneidade (Paschoal, 2019; Vollmer; Tondato, 2021).

**Tabela 2** – Principais regulamentações sobre agrotóxicos em nível federal no Brasil.

Lei nº 7.802/1989: estabelece normas para pesquisa, experimentação, produção, embalagem, rotulagem, transporte, armazenamento, comercialização, propaganda comercial, utilização, importação, exportação, destino final dos resíduos e embalagens, registro, classificação, controle, inspeção e fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins.
Lei nº 9.974/2000: trata da pesquisa, experimentação, produção, embalagem e rotulagem de agrotóxicos destinados exclusivamente a exportação.
Decreto nº 4.074/2002: regulamenta a Lei nº 7.802/1989, estabelecendo normas para a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil.
Instrução Normativa nº 1/2014 (Agência de Vigilância Sanitária [Anvisa]): estabelece critérios e procedimentos para a avaliação de resíduos de agrotóxicos em alimentos no Brasil.
Portaria nº 3/2021 (Anvisa): regulamenta a aquisição, posse, uso e destinação de produtos controlados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária, incluindo agrotóxicos.
Normas da Anvisa: A agência também emite regulamentações específicas relacionadas à avaliação de agrotóxicos, limites máximos de resíduos em alimentos, classificação toxicológica e outros aspectos relacionados à segurança e ao uso desses produtos.

Fonte: Elaborado pela Autora.

Considerando o dinamismo do Direito e sua necessidade de atender aos fatos sociais, o âmbito legal acompanhou as demandas sociais nessas questões, positivando o que se acreditava ser a regulamentação adequada dos defensivos agrícolas, como os agrotóxicos. Vale destacar que a legislação brasileira pertinente a campos jurídicos específicos, como o Direito Ambiental e o Direito Agrário, empregou originalmente a terminologia "agrotóxico" para se referir aos defensivos utilizados na produção agrícola. Quanto ao surgimento do termo, é válido lembrar que foi cunhado

pelo pesquisador brasileiro Adilson Paschoal nos últimos anos da década de 1970. A partir de 1989, com a promulgação da Lei 7802/1989 (Lei dos Agrotóxicos), a terminologia em questão ganhou mais visibilidade e notoriedade em diversos âmbitos, indo além do jurídico (Serra *et al.*, 2016; Carvalho; Nodari; Nodari, 2017; Gurgel, 2017). Embora não se possa negar a tradição agrícola brasileira que, desde a década de 1950, se vale do uso de agrotóxicos, a regulamentação efetiva por meios jurídicos só surge após cerca de quarenta anos.

A Lei 7.802, de 11 de julho de 1989, estabelece normas abrangentes para a pesquisa, experimentação, produção, embalagem, rotulagem, transporte, armazenamento, comercialização, propaganda comercial, utilização, importação, exportação, destino final dos resíduos e embalagens, registro, classificação, controle, inspeção e fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins no Brasil. Essa legislação é de importância crucial para regulamentar a produção, comercialização e uso de agrotóxicos no país, visando à proteção da saúde humana e do meio ambiente. Estabelece diretrizes e critérios para o controle e fiscalização desses produtos, garantindo a segurança dos trabalhadores rurais, dos consumidores e do ecossistema. Além disso, atribui à Agência de Vigilância Sanitária (Anvisa) a competência para regulamentar as diretrizes de aplicação, armazenagem e manejo (Veiga, 2007; Pelaez *et al.*, 2015; Piassetta, 2021).

Nesse contexto, destaca-se que a Anvisa é uma autarquia federal/estatal responsável pela regulação sanitária, produção, administração de alimentos, medicamentos e outros insumos e serviços de saúde em todo o território da União Federal. Criada no âmbito científico, a Anvisa resultou dos esforços de muitos pesquisadores da área de Saúde Pública, proporcionando uma nova abordagem para a questão dos agrotóxicos (Ribas; Matsumura, 2009).

Foi com a competência estabelecida para a Anvisa que se obteve informações sobre os impactos na saúde humana, animal e as implicações ambientais e ecológicas. Em 1992, a Anvisa publicou a Portaria nº. 3, visando estabelecer diretrizes e procedimentos para a reavaliação toxicológica de agrotóxicos, com o intuito de garantir a proteção da saúde humana e do meio ambiente. Essa portaria foi pioneira ao determinar que os registros de agrotóxicos só poderiam ser alterados – com a indicação de redução de riscos, por exemplo – após reavaliação toxicológica, estabelecendo as etapas desse processo, incluindo a revisão da literatura científica, a solicitação de informações adicionais aos detentores de registro e a avaliação de

riscos à saúde, entre outras. Vale ressaltar que nessa portaria foram descritos critérios objetivos de reavaliação e a previsão de criação de uma Comissão Técnica de Reavaliação para avaliar os dados e emitir pareceres técnicos sobre a segurança dos agrotóxicos em questão. Essas reavaliações e pareceres da Comissão Técnica de Reavaliação passaram a embasar as medidas regulatórias da Anvisa, como a revisão dos limites máximos de resíduos, a proibição de uso e a reclassificação toxicológica, entre outras regulações descritas de forma panorâmica na Tabela 3. A relevância dessa portaria permanece atual, assegurando que os agrotóxicos disponíveis no mercado brasileiro estejam alinhados com as mais recentes evidências científicas sobre sua segurança, contribuindo para a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Esse marco estabeleceu um precedente que foi posteriormente seguido por regulamentações de outros órgãos executivos federais, como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Chehab; Tarrega; 2019).

**Tabela 3** – Principais normas de regulamentação de agrotóxicos da Anvisa.

RDC nº 43/2000: essa Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) estabelece procedimentos e critérios para o registro de agrotóxicos, seus componentes e afins. Ela define os requisitos que os fabricantes e importadores devem cumprir para obter a autorização de comercialização desses produtos.
RDC nº 94/2004: estabelece critérios e procedimentos para o registro e a reavaliação de agrotóxicos, com foco na segurança para a saúde humana e o meio ambiente. Além disso, define os procedimentos para a elaboração de monografias desses produtos.
RDC nº 40/2009: regulamenta a obrigatoriedade da informação de identificação de agrotóxicos em alimentos, estabelecendo limites máximos de resíduos permitidos em alimentos e procedimentos para análise desses resíduos.
Instrução Normativa nº 1/2014: estabelece critérios e procedimentos para a avaliação de resíduos de agrotóxicos em alimentos no Brasil. Ela determina os limites máximos de resíduos e os procedimentos para a amostragem e análise de alimentos quanto à presença de agrotóxicos.
RDC nº 208/2018: atualiza os requisitos para a rotulagem de produtos contendo substâncias classificadas como restritas ao uso agrícola. Ela estabelece os símbolos, frases de perigo e demais informações obrigatórias nos rótulos desses produtos.

Fonte: Elaborado pela Autora.

O Decreto Federal n. 4.074, de 4 de janeiro de 2002, representa um marco legislativo importante relacionado aos agrotóxicos, estabelecendo normas para a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil. Dentre suas

disposições, destacam-se a definição de termos cruciais como "resíduos sólidos", "responsabilidade compartilhada" e "logística reversa". Além disso, o decreto instituiu a responsabilidade compartilhada entre fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes na gestão dos resíduos sólidos pós-consumo, regulamenta a logística reversa, obriga a criação de Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos por municípios, estados e o Distrito Federal, estabelece o Fundo Nacional de Resíduos Sólidos, promove a cooperação técnica e financeira entre entidades, incentiva a educação ambiental, prevê a elaboração de Planos de Gestão de Resíduos Sólidos para setores específicos, como o de agrotóxicos, e estabelece regras para a operação de aterros sanitários, incluindo diretrizes para a inclusão social e econômica dos catadores de materiais recicláveis. Esse decreto desempenha um papel essencial na implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil, visando à gestão sustentável dos resíduos e à redução de impactos ambientais (Peres *et al.*, 2003).

Os sistemas de registro estabelecidos por imposição desse decreto foram fundamentais para que grandes produtores rurais e órgãos reguladores estabelecessem critérios efetivos para o uso de agrotóxicos. Pela primeira vez, os agrotóxicos foram legalmente considerados nocivos e potencialmente prejudiciais quimicamente para o meio ambiente e a saúde humana. Entretanto, tanto a Lei 7.802/1989 quanto o Decreto nº. 4.074/2002 atribuíram à Anvisa a responsabilidade de estabelecer limites de uso e detecção de agrotóxicos, especialmente pela importância de a segurança biológica dos alimentos ser uma das principais responsabilidades da autarquia (Anvisa, 2014).

Diante da realidade brasileira, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, enquanto autarquia federal, dispõe de diretrizes, normativas e mecanismos legais relacionados à produção, comercialização, armazenagem e aplicabilidade de agrotóxicos em todo o território nacional. Um exemplo notável é o Programa Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes em Produtos de Origem Vegetal (PNCRC Vegetal) (Ribeiro *et al.*, 2020).

Essas iniciativas situaram o Brasil de maneira mais decisiva nos debates sobre agricultura e responsabilidade ambiental, conectando-se a questões de saúde pública, vigilância e segurança sanitária. Motivado pelos movimentos acadêmicos e entidades de defesa do meio ambiente, o Brasil buscou afirmar sua posição por meio de ações de fiscalização embasadas na cientificidade (Bandini; Spisso, 2017). O PNCRC Vegetal foi instituído pela Portaria Interministerial nº. 1.845, de 26 de dezembro de

2008. Este programa tinha como objetivo estabelecer diretrizes e ações para o controle e monitoramento de resíduos e contaminantes em produtos de origem vegetal no Brasil, e foi criado com a finalidade de assegurar a qualidade e a segurança alimentar dos produtos vegetais destinados ao consumo humano, monitorando a presença de resíduos de agrotóxicos, contaminantes químicos, metais pesados, microtoxinas e outras substâncias que possam representar riscos à saúde dos consumidores. O programa estabeleceu critérios, métodos de análise e procedimentos para a coleta e monitoramento de amostras de produtos de origem vegetal, como frutas, hortaliças, grãos, entre outros. Além disso, definiu limites máximos de resíduos para diferentes substâncias e regulamenta a atuação de órgãos de controle, como a Anvisa, na fiscalização e regulamentação desses produtos (Brasil, 2023a).

O Programa Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes em Produtos de Origem Vegetal (PNCRC Vegetal) destaca-se como uma iniciativa crucial para salvaguardar a segurança alimentar no Brasil, garantindo que os produtos vegetais disponíveis no mercado atendam aos padrões de qualidade e segurança estabelecidos pelas autoridades regulatórias. Essa empreitada visa proteger a saúde dos consumidores e fomentar a produção de alimentos seguros no país, sendo reconhecida como uma peça central para a consolidação de uma base de dados abrangente sobre os principais aspectos relacionados ao uso de agrotóxicos e outros insumos com potencial contaminante. Importa ressaltar que, além de ser uma base informativa, a fiscalização, juntamente com metodologias e recursos de controle e monitoramento, figura como uma das direções mais significativas tomadas pelo programa, justificando sua manutenção contínua (Ribeiro *et al.*, 2021).

Sob a égide desse programa, recai a responsabilidade de monitorar produtos destinados tanto aos mercados internos quanto externos, abarcando a fiscalização da produção exportada para outros países e contando com recursos e bases normativas específicos (Brasil, 2022; 2023a). O PNCRC Vegetal, em sua caracterização regulatória e regimental, tem sido reconhecido por sua utilidade do ponto de vista bioético, além de contribuir para discussões ecológicas sobre a produção de vegetais. Sua funcionalidade e executabilidade são abrigadas no âmbito da Secretaria de Defesa de Agropecuária, órgão integrante do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

A Secretaria de Defesa de Agropecuária, em sua estrutura funcional, abriga o Departamento de Inspeções de Produtos de Origem Vegetal, que, entre outras responsabilidades, coordena ações e atividades relacionadas à segurança e qualidade dos produtos vegetais. Isso é realizado por meio de procedimentos que envolvem mapeamento e análises laboratoriais, com amostragens coletadas em todo o território nacional. O programa tem suscitado debates e proporcionado a abertura para novos posicionamentos sobre os rumos que o uso de agrotóxicos tem tomado (Ribeiro *et al.*, 2020).

É relevante ressaltar que o Departamento de Inspeções de Produtos de Origem Vegetal, para cumprir de forma efetiva e alinhada com seus objetivos, conta com a colaboração de outros setores da Secretaria de Defesa de Agropecuária, que contribuem tanto no que diz respeito à fiscalização quanto na articulação de outros programas e finalidades pertinentes ao uso de agrotóxicos. Exemplificam-se o Departamento de Sanidade Vegetal e Insumos Agrícolas e o Departamento de Serviços Técnicos, cujas atuações são intermediadas pela Coordenação-Geral Laboratórios Agropecuários e pela Coordenação-Geral do Sistema de Vigilância Agropecuária Internacional. Como evidente, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento dispõe de órgãos e setores específicos dedicados à fiscalização e ao monitoramento das ações relacionadas aos agrotóxicos e insumos agrícolas (Barros; Freitas; Pimentel, 2020).

A partir de 9 de maio de 2022, o programa passou por alterações devido à validação da Portaria da Secretaria de Defesa de Agropecuária nº. 574. Ao examinar as disposições contidas na resolução emitida em 2008, torna-se claro que, passados quase 14 anos desde sua criação, o PNCRV Vegetal estava desatualizado diante das inovações e novas tecnologias surgidas no âmbito da fiscalização e das análises laboratoriais propostas nas fases iniciais do projeto (Miguel *et al.*, 2022). Destaca-se também a necessidade de adaptações relacionadas aos conceitos utilizados na formulação da funcionalidade do antigo plano, que, desde sua inauguração, não refletia ou estava congruente com a realidade do setor de inspeção de produtos de origem vegetal.

Nesse contexto, o PNCRV Vegetal passou a conferir maior ênfase às questões relacionadas ao monitoramento direcionado para o gerenciamento de riscos. Embora reconhecido por sua inestimável relevância nos cenários ecológicos e de saúde pública, pesquisadores como Miguel *et al.* (2022) destacam a necessidade de

aprimoramentos, mesmo antes de proporcionar contribuições positivas para o âmbito regulatório e de fiscalização de maneira geral. Conforme o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2022, p. 4),

[o] Programa Nacional de Controle de Resíduos e Contaminantes em Produtos de Origem Vegetal (PNCRC Vegetal) é constituído pelo conjunto das ações relacionadas ao controle oficial de resíduos e contaminantes em produtos de origem vegetal destinados ao mercado nacional, importados e exportados.

Dessa maneira, o PNCRC Vegetal (Brasil, 2022) reafirmou a sua identidade, ancorando-se em quatro finalidades principais: fiscalização, exploração, investigação e avaliação. Essas finalidades objetivas estão diretamente relacionadas à necessidade de manter um controle oficial, ou seja, sob a responsabilidade do Estado, em relação aos resíduos e substâncias contaminantes possivelmente presentes nos produtos de origem vegetal. Como já mencionado, todas as ações visam observar produtos produzidos tanto interna quanto externamente, destinados ao mercado nacional ou à exportação. Em resumo, sobre cada finalidade, é possível destacar:

- Finalidade fiscalizatória: aborda a contextura processual conferida e estabelecida em legislações específicas, contendo elementos relacionados a autuação, indiciamento e aplicação de penalidades em situações que comprovem o descumprimento ou a falta de conformidade com os mecanismos jurídicos/legais existentes.
- Finalidade exploratória: constitui-se como um conjunto de ações ou até mesmo uma ação isolada realizada em situações extraordinárias ou excepcionais. É importante salientar que os resultados obtidos em ações exploratórias não serão necessariamente empregados para fundamentar ações de caráter fiscalizatório. No entanto, ações dessa natureza tornam-se muito importantes para fornecer respostas em casos de acontecimentos inéditos ou em situações em que as leis ou os programas existentes não são suficientes para emitir uma resolução direta e afirmativa.
- Finalidade ou objetivo de investigação: ocorre por meio da constatação ou teste de situações que não estão em conformidade com os níveis nacionais e internacionais. Portanto, refere-se à comprovação de incongruências com

normas e diretrizes tanto de órgãos nacionais quanto de entidades internacionais relacionadas aos processos de produção de produtos de origem vegetal.

- Finalidade avaliativa: refere-se aos processos de teste e comprovação laboratorial, sendo também pertinente ao tratamento e divulgação de resultados e dados obtidos.

Existem críticas, inclusive de cunho jurídico, sobre as ações do programa, sua efetividade e poder de alcance. No entanto, há também apontamentos positivos sobre suas diretrizes, sendo visto como um acentuado avanço diante de algumas lacunas jurídicas por pesquisadores (França, 2022). Questões como o estabelecimento do quantitativo de amostras, discriminação de produtos a serem coletados e a identificação de elementos e substâncias ativas, além de elementos contaminantes analisados, são alguns pontos críticos neste contexto, considerados a partir de análises de riscos observadas por modelos estatísticos pré-definidos.

Por outro lado, não se pode deixar de considerar que os resultados obtidos pelo programa têm oferecido, dentre várias possibilidades, a construção de quadros conceituais que podem sustentar um arcabouço jurídico para a implementação de novas leis que norteiem todas as questões referentes aos agrotóxicos e insumos agrícolas de modo geral no Brasil. O rigor técnico e científico tem sido uma das características encabeçadas pelo PNCRC Vegetal (Brasil, 2022).

De acordo com França (2022), pesquisas realizadas de forma independente por pesquisadores e instituições de ensino no cerne do programa têm demonstrado que as amostras são oficialmente coletadas por auditores fiscais federais agropecuários, além de servidores públicos dos órgãos competentes que recebem treinamento e formação inicial e continuada para realizar tais funções e atribuições.

Enquanto autarquia federal ligada à regulamentação, fiscalização e promoção da saúde pública no Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) dispõe de mecanismos com força legal que dizem respeito aos pesticidas produzidos e utilizados no Brasil. Essas diretrizes abrangem regulamentação, autorização, registro, fiscalização, monitoramento, vigilância, educação, pesquisa, assessoria técnica, emissão de registros e licenças, e controle de importações e exportações de agrotóxicos. Dentre elas, destaca-se a Instrução Normativa nº. 1, de 16 de julho de 2014, que estabelece as diretrizes e os procedimentos para a avaliação de resíduos

de agrotóxicos em alimentos no Brasil, com o objetivo de garantir a segurança alimentar e a saúde pública.

Essa normativa, em termos gerais, definiu conceitos relevantes relacionados a agrotóxicos, como a própria terminologia "agrotóxico" para representar essa categoria de produtos; fixou requisitos da avaliação de risco de resíduos de agrotóxicos, como exposição humana e efeitos tóxicos; estabeleceu limites máximos de resíduos de diferentes agrotóxicos em alimentos; definiu critérios e procedimentos para a amostragem de alimentos para a análise de resíduos de agrotóxicos; determinou que as análises laboratoriais devem ser realizadas em laboratórios credenciados pela Anvisa e em conformidade com as normas técnicas específicas; e estabeleceu que o monitoramento dos resíduos de agrotóxicos em alimentos deve ser realizado regularmente, com os resultados utilizados na tomada de decisões sobre segurança alimentar. Além disso, a normativa definiu que os resultados das análises devem ser comunicados aos órgãos competentes e ao público conforme a legislação; e estabeleceu que produtos importados devem cumprir os mesmos requisitos de avaliação de resíduos de agrotóxicos que os produtos nacionais, fixando proibições e restrições ao uso de agrotóxicos que podem resultar em resíduos não conformes em alimentos (Anvisa, 2014).

Em agosto de 2021, a Anvisa estabeleceu limites para a detecção dos níveis de glifosato em alimentos de origem agrícola. Essa medida decorreu da observação da potencialidade patogênica da substância, amplamente utilizada como herbicida, que se popularizou massivamente a partir da década de 1980 no Brasil e em outros países, impulsionando a produtividade em um contexto histórico que marcava o fim da Guerra Fria. Estudos recentes de instituições de pesquisa e entidades estatais ressaltaram a importância da descrição dos níveis da substância nos alimentos, especialmente devido à propensão em propiciar o desenvolvimento de quadros cancerígenos em seres humanos. Apesar de estabelecer a obrigatoriedade de determinar as taxas e os percentuais de glifosato nos alimentos, a Anvisa, por meio de suas competências legais, não apresentou limites para o uso em lavouras.

Existem críticas reconhecidas quanto à dimensão jurídica e regulamentar dos agrotóxicos utilizados no Brasil. Liderando a lista dos maiores produtores de alimentos de origem vegetal no mundo, o país também se destaca por ter as maiores taxas de uso de agrotóxicos. No mesmo sentido, o Brasil recebe críticas acentuadas pela permissão do uso de agrotóxicos proibidos deliberadamente em outras partes do

mundo. As lacunas legais abrem margens para que as leis existentes sejam flexibilizadas ou até mesmo não observadas em sua totalidade (Gomes; Mallet; Martins, 2020).

A legislação brasileira sobre defensivos agrícolas encontra-se atualmente em situação de não conformidade com órgãos e entidades internacionais. Uma das causas mais observáveis decorre do crescimento do mercado internacional e nacional de commodities agrícolas. Mesmo com o recente Decreto nº. 10.833, de 7 de outubro de 2021, que incluiu a definição do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos, não há limitação para a dosagem no uso de agrotóxicos nas lavouras brasileiras.

Em decorrência desse contexto, grandes empresas ligadas à indústria química monopolizaram o mercado, registrando suas patentes e inovações tecnológicas, gerando um sistema de abastecimento exclusivo para esses produtos e criando um esquema de consumo arbitrário (Pelaez *et al.*, 2010). O glifosato (um herbicida não seletivo), por exemplo, sozinho, representou 60% das vendas do mercado global no início dos anos 2000 e, como mencionado acima, domina o mercado brasileiro de agrotóxicos. Com isso, no estudo de Gomes, Mallet e Martins (2020), é atestado que a legislação não apresenta mecanismos rígidos para lidar com questões mais emergentes, respaldadas por pesquisas e pareceres técnicos e científicos.

Esse decreto seguiu em nível de legislação, aquilo já estava estabelecido por órgãos de fiscalização, já que a inexistência de regulamentação específica sobre o uso do glifosato na produção, ou limites máximos que impeçam a contaminação da água ou do solo já se notava com a aprovação da Resolução da Diretoria Colegiada nº. 441, de 2 de dezembro de 2020, que estabeleceu diretrizes de registro para comercialização de glifosato, mas não sobre seu uso (Brasil, 2020). De acordo com Gusmão, Ribeiro e Custódio (2018), por um prisma jurídico é possível pontuar que ao se lançar um olhar mais apurado para toda a contextura legal do Brasil, a não regulamentação específica está em desencontro com o princípio estrutural da precaução.

Segundo Amarante Júnior *et al.* (2002), embora a toxicidade do glifosato seja baixa, é necessário considerar que este pode causar defeitos congênitos crônicos de longa duração em animais quando a dosagem ultrapassa os níveis determinados como seguros, fixados em 700 µg/L em água potável nos Estados Unidos. No Brasil, a Anvisa regula esse limite de segurança para ingestão humana, estabelecendo

limites por alimentos. Na maioria das frutas, por exemplo, o limite é de 200 µg/L; nos cereais, a faixa varia de 50 µg/L a 1000 µg/L. No caso da soja, o limite de resíduos de glifosato permitido no Brasil é de 10 mg/Kg, duzentas vezes superior ao limite da União Europeia, que é de 0,05 mg/Kg. Não é possível estabelecer a mesma comparação quanto à atrazina, que, desde 2003, devido a preocupações com a contaminação da água subterrânea, não possui relevância nos Limites Máximos de Resíduos na União Europeia, já que o produto não está autorizado para uso em cultivos agrícolas.

Tanto o glifosato quanto a atrazina apresentam uma estrutura molecular com polimorfismo, e não há regulação das estruturas polimórficas quando utilizadas na aplicação de agrotóxicos no Brasil. Assim, o critério nacional de patentes falhou nesse caso, pois não acompanha a cadeia produtiva, nem monitora a presença ou ausência de polimorfismo nas estruturas patenteadas. Igualmente não existe nada a respeito nos marcos legislativos do estado de Goiás, conforme pode ser visto na Tabela 4. Mesmo os documentos normativos sobre o uso de agrotóxicos emitidos pela Agência Goiana de Defesa Agropecuária (Agrodefesa), tal qual podem ser observados na Tabela 5, ignoram esse ponto nevrálgico. O controle de estruturas polimórficas é crucial para a gestão de resultados no uso de agrotóxicos, uma vez que afeta componentes bioquímicos, e "a falta de controle de formas polimórficas" (Nodari; Hess, 2020).

**Tabela 4** – Marcos legislativos estaduais de regulamentação de agrotóxicos em Goiás.

Lei Estadual nº 20.824/2020: Esta lei dispõe sobre o controle e a fiscalização do uso e da comercialização de agrotóxicos no Estado de Goiás. Ela estabelece normas para o registro, uso, armazenamento, transporte, embalagem, comercialização, controle, inspeção e fiscalização de agrotóxicos no estado.
Decreto Estadual nº 8.833/2016: Este decreto regulamenta a Lei Estadual nº 20.824/2020 e estabelece diretrizes específicas para o controle e a fiscalização dos agrotóxicos em Goiás.
Resolução/SEDAM nº 73/2019: Esta resolução da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental de Goiás estabelece procedimentos e critérios para a fiscalização e o controle ambiental relacionados ao uso de agrotóxicos e afins.
Normas da Agrodefesa: A Agência Goiana de Defesa Agropecuária (Agrodefesa) emite regulamentações específicas relacionadas ao registro, uso e controle de agrotóxicos em Goiás.

Fonte: Elaborado pela Autora.

No Brasil, atualmente, não existe legislação específica que regule o polimorfismo em agrotóxicos. As regulamentações voltadas para agrotóxicos

concentram-se principalmente em aspectos relacionados ao registro, controle, segurança e impacto ambiental. O polimorfismo, por sua vez, é um conceito mais vinculado à química e à estrutura cristalina de substâncias químicas. Nesse contexto, surge a perspectiva legislativa como um desafio significativo, uma vez que a agricultura sustentável e a preservação de ecossistemas dependem da aplicação dos agrotóxicos nas dosagens e formas estabelecidas pelas autoridades governamentais.

O problema legislativo em questão é a falta de regulamentação específica nesse aspecto. Mesmo que haja regulamentação de dosagem, depara-se com uma lacuna legal relacionada ao controle do polimorfismo, que altera as propriedades físico-químicas dos componentes. Essa ausência normativa torna virtualmente impossível alcançar a agricultura sustentável no país, destacando a necessidade de uma abordagem regulatória abrangente que considere não apenas os aspectos quantitativos, mas também as características estruturais e suas implicações no uso de agrotóxicos.

**Tabela 5** – Principais normas de regulamentação de agrotóxicos da Agrodefesa.

Norma Técnica nº 02/2006 (Agrodefesa): Esta norma estabelece critérios e procedimentos para a fiscalização e controle da produção, comercialização e utilização de agrotóxicos em Goiás. Ela descreve as responsabilidades dos fabricantes, importadores, comerciantes e usuários de agrotóxicos no estado.
Portaria nº 151/2020 (Agrodefesa): Essa portaria estabelece os procedimentos para o registro e a emissão de receituário agrônomo para a venda e aplicação de agrotóxicos no estado de Goiás.
Instrução Normativa nº 001/2007 (Agrodefesa): Essa instrução normativa estabelece procedimentos para o cadastramento de empresas produtoras, formuladoras, distribuidoras e importadoras de agrotóxicos em Goiás.
Instrução Normativa nº 002/2006 (Agrodefesa): Estabelece procedimentos para a fiscalização e o controle de agrotóxicos nas propriedades rurais em Goiás, com foco na aplicação segura desses produtos.
Portaria nº 003/2018 (Agrodefesa): Regulamenta a certificação e o registro de produtos fitossanitários e afins no estado de Goiás, incluindo agrotóxicos.

Fonte: Elaborado pela Autora.

### 2.5.1 Glifosato como agente elegível da aposentadoria especial

A aposentadoria especial representa um benefício previdenciário no Brasil destinado aos trabalhadores que desempenham atividades consideradas insalubres ou perigosas, sujeitas a condições capazes de prejudicar a saúde ou a integridade física. Essa prerrogativa visa reconhecer os desgastes e riscos inerentes a tais atividades, permitindo que os trabalhadores se aposentem antecipadamente em relação às regras gerais da previdência social.

Para fazer jus à aposentadoria especial, é imperativo que o trabalhador comprove a realização de atividades enquadradas nas categorias de insalubridade ou periculosidade, conforme estabelecido pela legislação previdenciária, denominadas atividades elegíveis. Contudo, essa comprovação é apenas um dos requisitos para a concessão do benefício, somando-se ao tempo mínimo de contribuição previdenciária, variável conforme o grau de exposição aos riscos.

No contexto brasileiro, a aposentadoria especial é destinada aos trabalhadores que desempenham atividades consideradas insalubres, perigosas ou penosas, abrangendo aquelas que envolvem riscos à saúde ou à integridade física devido à exposição a agentes prejudiciais. Destaca-se que a exposição a agentes químicos, como agrotóxicos, solventes e produtos químicos industriais, é uma das atividades elegíveis para a concessão desse benefício.

A jurisprudência sobre a aposentadoria relacionada à exposição a agrotóxicos, como o glifosato, pode variar dependendo do caso específico e das decisões dos tribunais. Geralmente, para obter a aposentadoria especial com base na exposição a agrotóxicos, o trabalhador precisa comprovar que suas atividades de trabalho envolviam riscos à saúde devido a esses produtos químicos de forma sólida e documentada, o que pode incluir registros de emprego, laudos médicos, históricos de saúde e outros documentos. É importante ressaltar que a concessão da aposentadoria especial relacionada à exposição a agrotóxicos pode ser um processo complexo. No entanto, os tribunais brasileiros vêm se posicionando favoravelmente<sup>1</sup> aos pedidos de

---

<sup>1</sup> TRF – 3ª Região – Processo n. 5177531-07.2021.4.03.9999 – Publicado em: 18/10/2023  
**EMENTA** PREVIDENCIÁRIO. PROCESSO CIVIL. APOSENTADORIA POR TEMPO DE

---

CONTRIBUIÇÃO. REMESSA OFICIAL. TRABALHADOR RURAL. FULIGEM. HIDROCARBONETO. AGROTÓXICO. CALOR. ATIVIDADE ESPECIAL. REQUERIMENTO ADMINISTRATIVO. EFEITOS FINANCEIROS. IMPLANTAÇÃO IMEDIATA. I - No que tange à atividade especial, a jurisprudência pacificou-se no sentido de que a legislação aplicável para sua caracterização é a vigente no período em que a atividade a ser avaliada foi efetivamente exercida. II - Em regra, o trabalho rural não é considerado especial, vez que a exposição a poeiras, sol e intempéries não justifica a contagem especial para fins previdenciários, contudo, tratando-se de atividade em agropecuária, cuja contagem especial está prevista no código 2.2.1 do Decreto 53.831/64, presunção de prejudicialidade que vige até 10.12.1997, advento da Lei 9.528/97. III - Somados os períodos de atividade especial aos demais (dados do CNIS) a parte autora faz jus ao benefício de aposentadoria por tempo de contribuição (CF/88, art. 201, § 7º, inc. I, com redação dada pela EC 20/98). O cálculo do benefício deve ser feito de acordo com a Lei 9.876/99, com a incidência do fator previdenciário, uma vez que a pontuação totalizada (79.28 pontos) é inferior a 85 pontos (Lei 8.213/91, art. 29-C, inc. II, incluído pela Lei 13.183/2015). IV - É firme a jurisprudência desta Corte no sentido de que, havendo requerimento administrativo, o termo inicial da concessão do benefício deve ser mantido a contar da data de tal requerimento. V - Em relação ao termo inicial dos efeitos financeiros, ante à afetação do tema em comento, cumpre consignar que sua solução dar-se-á por ocasião da liquidação do julgado, observando-se o que for decidido no aludido paradigma. VI - Determinada a imediata implantação do benefício, nos termos do caput do artigo 497 do CPC. VII - Apelação do INSS e remessa oficial parcialmente providas.

TRF – 3ª Região – Processo n. 5136342-49.2021.4.03.9999 – Publicado em: 17/07/2023

**EMENTA** PREVIDENCIÁRIO. APOSENTADORIA POR TEMPO DE SERVIÇO/CONTRIBUIÇÃO. ATIVIDADE RURAL SEM REGISTRO. INÍCIO DE PROVA MATERIAL CORROBORADA POR PROVA TESTEMUNHAL. ATIVIDADE ESPECIAL. RUÍDO. AGENTES QUÍMICOS. 1. O tempo de atividade campestre reconhecido nos autos é de ser computado, exceto para fins de carência, e apenas para fins de aposentação no Regime Geral da Previdência Social - RGPS, nos termos do § 2º, do Art. 55, da Lei 8.213/91 e inciso X, do Art. 60, do Decreto nº 3.048/99. 2. Tempo de serviço rural sem registro comprovado mediante início de prova material corroborada por idônea prova testemunhal. 3. Não havendo nos autos documentos hábeis para comprovação da alegada atividade rural em regime de economia familiar, é de ser extinto o feito sem resolução do mérito, face a ausência de pressuposto de constituição e desenvolvimento válido do processo. 4. Até 29/04/95 a comprovação do tempo de serviço laborado em condições especiais era feita mediante o enquadramento da atividade no rol dos Decretos 53.831/64 e 83.080/79. A partir daquela data até a publicação da Lei 9.528/97, em 10/12/1997, por meio da apresentação de formulário que demonstre a efetiva exposição de forma permanente, não ocasional nem intermitente, a agentes prejudiciais a saúde ou a integridade física. Após 10/12/1997, tal formulário deve estar fundamentado em laudo técnico das condições ambientais do trabalho, assinado por médico do trabalho ou engenheiro do trabalho. Quanto aos agentes ruído e calor, o laudo pericial sempre foi exigido. 5. Admite-se como especial a atividade exposta a ruídos superiores a 80 decibéis até 05/03/1997, a 90 decibéis no período entre 06/03/1997 e 18/11/2003 e, a partir de então, até os dias atuais, em nível acima de 85 decibéis. (REsp 1398260/PR, Relator Ministro Herman Benjamin, Primeira Seção, j. 14/05/2014, DJe05/12/2014). 6. Admite-se como especial a atividade exposta ao agente nocivo agrotóxicos, utilizados em pulverização, previstos no Decreto 83.080/79, itens 1.2.6 e 1.2.10 e no Decreto 2.172/97, itens 1.0.12 e 1.0.19. 7. O uso do equipamento de proteção individual - EPI pode ser insuficiente para neutralizar completamente a nocividade a que o trabalhador esteja submetido. (STF, ARE 664335/SC, Tribunal Pleno, Relator Ministro Luiz Fux, j. 04/12/2014, DJe-029 DIVULG 11/02/2015 Public 12/02/2015). 8. Somados os trabalhos reconhecidos como de atividade rural e especial, com o acréscimo da conversão em tempo comum, com os períodos comuns, até a data do requerimento administrativo, perfazem tempo suficiente para a percepção do benefício de aposentadoria integral por tempo de serviço/contribuição. 9. Aplica-se o disposto no Manual de Orientação de Procedimentos para os Cálculos na Justiça Federal no que tange aos índices de correção monetária e taxa de juros de mora. 10. Os honorários advocatícios devem observar as disposições contidas no inciso II, do § 4º, do Art. 85, do CPC, e a Súmula 111, do e. STJ. 11. A autarquia previdenciária está isenta das custas e emolumentos, nos termos do Art. 4º, I, da Lei 9.289/96, do Art. 24-A da Lei 9.028/95, com a redação dada pelo Art. 3º da MP 2.180-35/01, e do Art. 8º, §1º, da Lei

concessão de aposentadoria especial por exposição ao glifosato, o que só reitera o potencial de impacto negativo sobre a saúde humana e reforça a necessidade de sua plena regulamentação.

### 3 RESULTADOS OBTIDOS

A partir da década de 1970, com o surgimento de movimentos voltados para uma agenda global sobre questões ambientais, a utilização de agrotóxicos – que teve início na Primeira Guerra Mundial e consolidou-se na Segunda Guerra Mundial – expandiu-se consideravelmente. Esse crescimento não apenas trouxe à tona novas perspectivas para questões já existentes, mas também abordou questões emergentes, sempre enfocando as perspectivas ambientais e de saúde pública como fio condutor. Foi nesse contexto que os agrotóxicos passaram a ser percebidos como ameaças devido à sua interferência no meio ambiente.

Conforme mencionado anteriormente no presente trabalho, agrotóxicos são produtos químicos fabricados industrialmente para uso na agricultura, visando principalmente a proteção das plantações contra pragas e patologias que poderiam danificar a produtividade. Esses produtos, denominados genericamente de agrotóxicos, podem ser conhecidos popularmente como agroquímicos, pesticidas ou mesmo defensivos agrícolas. Dependendo de sua finalidade específica, podem atuar como inseticidas (contra organismos entomólogos, ou insetos), fungicidas (contra fungos), herbicidas (contra ervas daninhas), acaricidas (contra ácaros) e nematocidas (contra nematoides, isto é, vermes com corpo em formato cilíndrico, geralmente alongado e com as extremidades afiladas que afetam as plantações).

Devido aos investimentos significativos do setor privado em pesquisa e desenvolvimento de novos pesticidas, a necessidade de controles mais efetivos por parte do ordenamento jurídico dos países onde o uso é elevado tornou-se cada vez mais evidente. É imperativo considerar que, em meio às discussões sobre sustentabilidade, a estrutura legal desempenha papéis múltiplos na questão interposta. Nesse contexto, merece destaque um herbicida de longa duração como o glifosato, como foi mostrado no presente estudo.

O Brasil, como país periférico em termos de desenvolvimento econômico e social, tem feito uso de agrotóxicos há mais de 50 anos. Sua utilização mais massiva tornou-se mais assinalada a partir da década de 1960, devido à necessidade de se dar respostas mais eficientes para a necessidade de maior produção, evitando-se uma série de pragas que acometem os espaços destinados ao plantio. Com isso, até hoje o Brasil tem se mantido em posições de destaque no ranking internacional entre os grandes consumidores de agrotóxicos.

Existem acirradas e frequentes críticas sobre as lacunas e falhas na legislação brasileira relacionada ao uso de agrotóxicos frequentes. No caso brasileiro, o uso e as demais ações que envolvem o manejo de agrotóxicos possuem assentamento jurídico na Lei 7.802/1989, promulgada um ano após a Constituição Federal de 1988. Esses questionamentos não se limitam ao contexto nacional, porém, pois vêm de diversos órgãos e institutos de pesquisa em todos os continentes. Nesta direção fica nítido o importante papel da ciência e da construção de conhecimentos ao fato de que muitas posturas industriais e mesmo mecanismos jurídicos ainda destoam da realidade ecológica vivenciada pelo mundo devido a ações pouco reflexivas e coesas com a necessidade de preservação.

Embora a falibilidade das leis seja inegável, a observância dos mecanismos legais tem se mostrado de importância vital para diversas questões, tais como a contaminação humana, ecológica e ambiental. A legislação brasileira, por sua vez, contempla considerações sobre o uso, visando a necessidade de combater pragas prejudiciais para toda a cadeia produtiva. Essa abordagem preconiza níveis de responsabilidade que abrangem desde a aquisição dos produtos até o descarte e manejo das embalagens e utensílios utilizados na aplicação. Contudo, como já ressaltado, persistem várias lacunas e uma falta de adesão aos próprios mecanismos jurídicos existentes.

A questão do polimorfismo químico de substâncias utilizadas como agrotóxicos, como o glifosato, recebe pouca atenção e consideração. Não se pode negar a assertiva de que as práticas de fiscalização da utilização de agrotóxicos, entre várias possibilidades positivas para uma concepção ecoambiental, visam assegurar a conformidade com a legislação existente. Isso pode estimular a construção de uma agricultura alinhada às perspectivas que regem a sustentabilidade. Ao buscar coibir a utilização indiscriminada de agrotóxicos, com alta potencialidade contaminante e ausência de controle efetivo devido ao polimorfismo, entre outros fatores, é imperativo considerar que isso se configura como uma irrevogável responsabilidade do Estado.

# Environmental assessment of pesticide use in the cerrado region of Brazil

44

Marina Teodoro<sup>1</sup>

Vitor S. Duarte<sup>ii</sup>

Mariana R. M. Costa<sup>iii</sup>

Ryan Nehring<sup>iv</sup>

Sandro D. Silva<sup>v</sup>

Giovanni A. Boggione<sup>vi</sup>

Hamilton B. Napolitano<sup>vii</sup>

**Abstract:** The Cerrado in Central Brazil is composed of unique vegetation types with a large source of bioactive compounds. The 1970s and 1980s were marked by the intensive incorporation of these forested areas into pastures and cropland, which increased the consumption of pesticides like glyphosate and atrazine. Today there continues to be a constant loss of native vegetation in this biome, and the pressure from land use is causing significant losses of native vegetation, driven mainly by agricultural expansion. This article offers a mapping of the estimated average consumption of pesticide per crop as well as an understanding of the risks associated with glyphosate and atrazine contamination in the state of Goiás. Both of these areas serve as a basis for understanding the challenges and opportunities for sustainability associated with agriculture in the Brazilian Cerrado.

**Keywords:** Brazilian Cerrado; environmental history; pesticide; agricultural frontier; polymorphism.

<sup>1</sup> Universidade Evangélica de Goiás, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, Brazil.

<sup>ii</sup> Universidade Estadual de Goiás, UEG, Anápolis, GO, Brazil.

<sup>iii</sup> Universidade Evangélica de Goiás, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, Brazil.

<sup>iv</sup> International Food Policy Research Institute, Washington, DC, USA.

<sup>v</sup> Universidade Evangélica de Goiás, UniEVANGÉLICA, and Universidade Estadual de Goiás, UEG, Anápolis, GO, Brazil.

<sup>vi</sup> Universidade Evangélica de Goiás, UniEVANGÉLICA, and Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, IFG, Anápolis, GO, Brazil.

<sup>vii</sup> Universidade Evangélica de Goiás, UniEVANGÉLICA, and Universidade Estadual de Goiás, UEG, Anápolis, GO, Brazil.

São Paulo. Vol. 26, 2023

Original Article

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc2022030r2vu2023L40A>

## 1. Introduction

The Brazilian Cerrado is the second largest biogeographic territory in Brazil, composed of unique phytophysiognomies, similar to the global neotropical savannas (DUTRA E SILVA, 2020; EITEN, 1972, p. 201-341). It is characterized by abundant biodiversity, of which the floristic composition encompasses a large source of bioactive substances (PEIXOTO *et al.*, 2019). Recently, however, the expansion of the agricultural frontier in the Cerrado, particularly that directed to the global grain and commodity market, has significantly impacted the destruction of the natural vegetation of this biome. (STRASSBURG *et al.*, 2017; DUTRA E SILVA, 2020; RAJÃO *et al.*, 2020). The pressure of land use is causing heavy losses of unique vegetation types (LE POLAIN DE WAROUX *et al.*, 2017; SONG *et al.*, 2021, ZALLES *et al.*, 2021, RAJÃO *et al.*, 2020).

From the 1970s onwards, the advance of large-scale agriculture into the Cerrado was accelerated by sustained public financing in agronomic research institutes such as the Goiás Agricultural Research Company (EMGOPA), and the Brazilian Agricultural Research Company (EMBRAPA) (NEHRING, 2016; SILVA, 2019; BOAVENTURA *et al.*, forthcoming). The 1970s and 1980s were marked by the intensive incorporation of these areas into the productive process of pastures and crops, which increased the consumption of pesticides (EGGER *et al.*, 2021; SPADOTTO, 2004). In the state of Goiás, (the core area of the Cerrado), the productive process brought marked changes to the landscape, which is dominated by pasture and monoculture (soy, corn, and sugarcane) (PIGNATI *et al.*, 2017, DA SILVA BARBALHO, 2015; SILVA, 2011). Monoculture is one of the most worrying agricultural activities in terms of soil and water contamination (surface and underground) (OLIVEIRA, 2008; DA SILVA BARBALHO, 2010), and in terms of the risks to public health from the increased amounts of pesticides found in various inhabited environments (SILVÉRIO, 2012). According to Brazilian law 7.802/1989, the term pesticide is considered a product with physical, chemical or biological processes that are destined for use in the production and storage stages in the agricultural sector.

Recent studies on potential pesticide contamination were carried out by the Health Ministry's System for Monitoring the Quality of Water for Human Consumption with data from 2014 to 2017 (SISAGUA, 2018; SPADOTTO, 2010). Their studies revealed that the concentrations of pesticides in water in the country were above the margin of safety, following criteria from the European Union. In Brazil, the pesticide industry has experienced steady growth based on increase in both agricultural supply and demand. Pesticides ensure effectiveness in agricultural processes, as they control pests that could endanger yield and post-harvest losses. Worldwide, the supply and demand of pesticides are parts of a complex chain of production, distribution, and waste disposal (EMBRAPA, 2018; DAL SOGLIO; KUBO, 2009). Agriculture is a massive economic sector that supports a thriving agrochemicals industry (GURGEL, 2017). Therefore, it is necessary to consider

a range of economic and political interests when looking at agricultural supply chains. Some of these political interests are executive-related, while others concern the legislation and regulation of such matters.

There are examples of laws in countries around the world that try to impose some regulatory schemes on the processes involving agribusiness as whole, and pesticides specifically (DAL SOGLIO *et al.*, 2009). Brazil is one of the world's largest consumers of pesticides, due in large part to the export-oriented model of Brazilian agriculture, which emerged after the 1960s – it was one of the six biggest national markets for agrochemicals for many years (PELAEZ *et al.*, 2010) and is now the third largest user of pesticides in the world (FAO, 2021). Legislation favorable to the use of pesticides (mainly federal law 7.802/1989 and Decree 4.074/2002) was viewed by the government as a part of a strategy to achieve agricultural modernization in the second half of the 20<sup>th</sup> century (CARVALHO; NODARI; NODARI, 2017). The norms established under national legislation regulated the components of *research, experimentation, production, packaging, labeling, transportation, storage, commercialization, usage, importation, and exportation*, but do not establish limits for usage including toxicity.

Molecular structures of pesticides generally present high reactivity, particularly the glyphosate *N-(phosphonomethyl)-glycine* and the atrazine *1-Chloro-3-ethylamino-5-isopropylamino-2,4,6-triazine*. The herbicidal activity of both is related to their chemical structure, and any variation in structure or conformation can cause different properties (KATRITZKY, 1995; 2000; 2010). Polymorphism is the phenomenon in which solids (crystalline matter) can coexist with identical structures but different conformations, *i.e* the same molecule aggregates in different ways to form the solid- state compound (crystalline packaging) (BERNSTEIN, 2002). Brazilian legislation does not ensure a tracking process for agrochemicals; therefore, there is no control of polymorphic forms and their different physicochemical and biological properties, including greater or lesser toxicity. This work aims to investigate the risks associated with glyphosate and atrazine contamination resulting from agricultural practices as a basis to understand the challenges and opportunities for agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado.

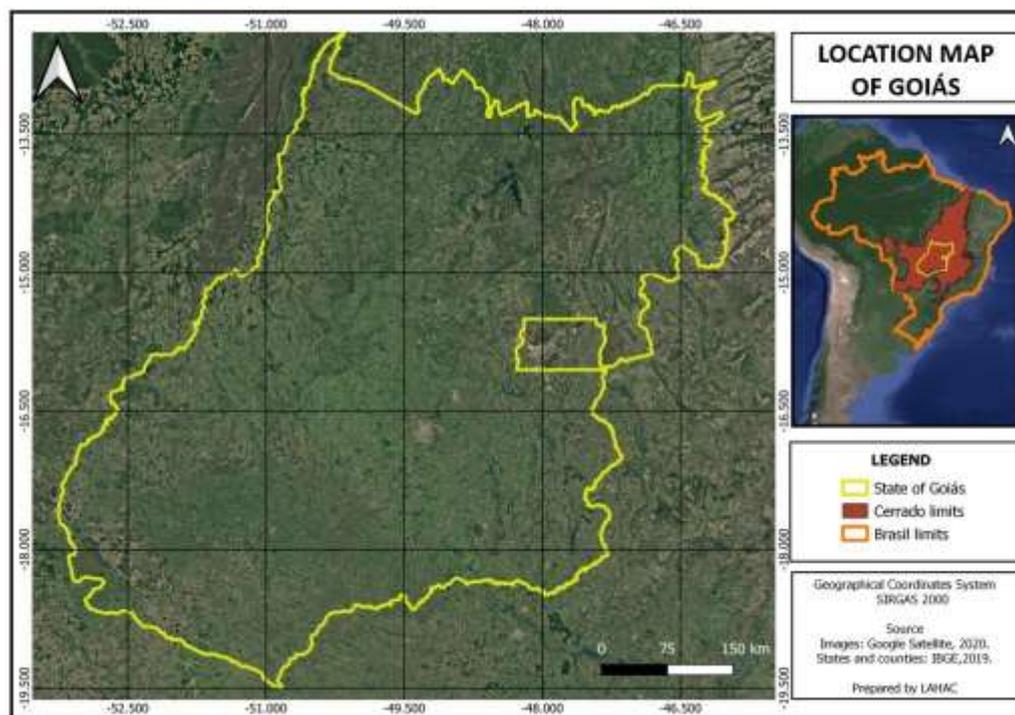
## 2. Geoprocessing and methods

### 2.1 Thematic mapping

The state of Goiás is located in the Brazilian midwestern region with an area of 340,125.715 sq/km (Figure 1). The territory mostly presents a gentle rolling relief, characterized by extensive rocky regions where the sources of the Paranã, São Francisco and Tocantins-Araguaia rivers are located. Associated with this type of relief are soils in the Latosol class, which are deep, porous and well drained, and are in general very susceptible to processes of leaching (DA SILVA BARBALHO, 2010). The climate is tropical sub-humid, with two well-defined seasons: a dry season (May through September) and a

rainy season (October through April). Summer provides most of the annual rainfall (DE CAMPOS *et al.*, 2001, p. 251-255). The estimated combined urban and rural population total 6,003,788 inhabitants, with a population density of 17.45 inhabitants per sq/km.

**Figure 1. Location Map of the State of Goiás**



Source: XXXXXXXX

Agriculture is the primary economic activity in Goiás, the most common being cattle ranching and farming soy, corn and sugarcane. The urban economy is based on commercial activities and services (ARGENTI, 2015; PIGNATI *et al.*, 2014, p. 4669-4678). To evaluate the risk of environmental contamination by pesticides in Goiás, it was used Pignati's methodology, which established indicators for the average consumption of pesticides per planted area. The variables used in this work include the total area planted with crops, temporary crop areas (both in hectares) and water quality for consumption. All of the values for our variables were based on data from SISAGUA between 2014 and 2017 (SISAGUA, 2018). The results obtained were inserted into a database which then allowed to draw maps showing the usage of pesticides in agricultural fundamental crops such as soy (17.7 liters/hectares), corn (7.4 liters/hectares) and sugarcane (4.8 liters/hectares).

## 2.2 Molecular models

To detail and understand the use of pesticides, it was analyzed the chemical structure of glyphosate and atrazine. Different chemical conformations (polymorphs) of pesticides characterize different properties, for example, a polymorph of a pesticide could present greater toxicity than another polymorph. The data (glyphosate: codes 1232531; 1232532 and 1232535; atrazine: codes 1031278, 1031279, 1031251 and 1031252) were obtained from the Cambridge Crystallographic Data Center (CCDC) (GROOM, 2016, p. 171-179), which is a database of small molecule crystalline structures (BRUNO, 2002, p. 389-397). To perform the representations, visualizations and geometric comparisons of these structures, it was used Mercury software (MACRAE, 2008, p. 466-470). It was also carried out Molecular Electrostatic Potential (MEP) calculations. The MEP map contributes to the analysis of regions of the molecule with higher and lower electron densities and thus indicates reactive regions. MEP calculations show the energy distribution of electrons on the molecular surface (SPACKMAN, 2009, p. 19-32). The MEP map glyphosate and atrazine forms were carried out using CrystalExplorer17 software (WOLFF, 2012).

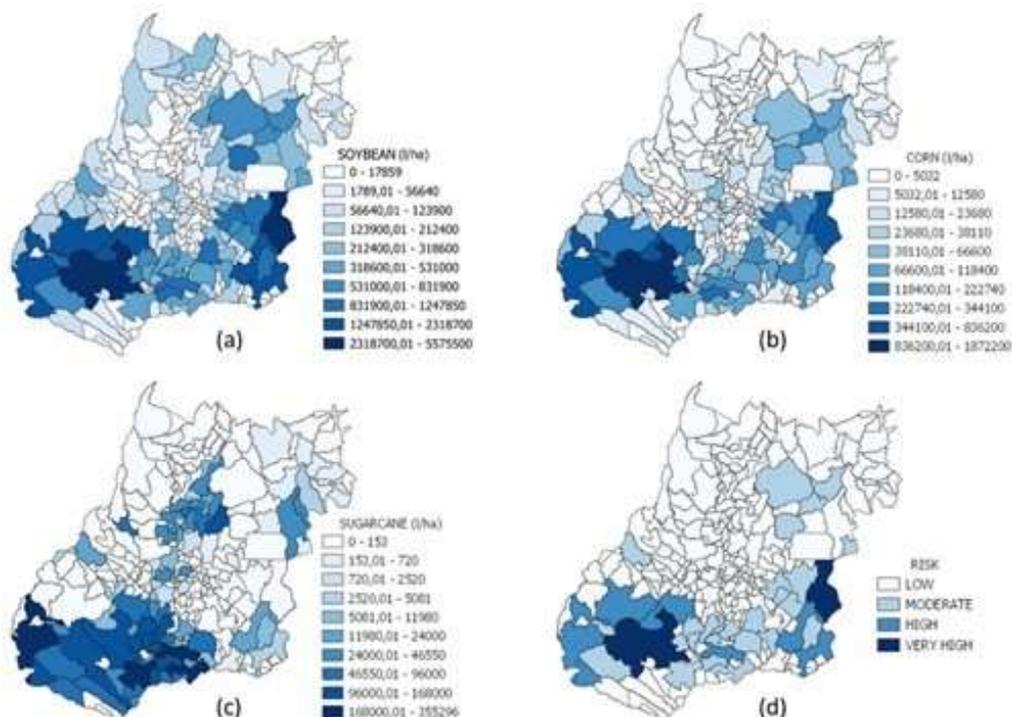
## 2.3 Pesticide regulation

Several countries have pesticide regulations which include restrictions, registrations and control procedures for pesticide residues on food (HANDFORD, *et al.*, 2015). Therefore, understanding the legislation for each location is essential to investigate environmental challenges and sustainability transformations of societal systems. The Brazilian regulation on pesticide use was analyzed highlighting the effect on Cerrado societal system. Additionally, the lack of control procedures on polymorphic impurities, commercialization, distribution conditions and final destination are associated to environmental challenges of Brazilian regulation.

## 3. Results and discussions

The planted area destined for the collection of the main crops (soy, corn, and sugarcane) was 5,899,992 ha, and the estimated consumption of pesticides was 75,579,060.00 liters (~80 tons), in 2017 (PIGNATI, *et al.*, 2014, p. 4669-4678). In Figure 2, the spatial data in the estimation of pesticide use in soy, corn, and sugarcane is shown by county in the state of Goiás in 2017. Also, Figure 2(a) and Figure 2(b), respectively, reveal that the cultivation of soy and corn is distributed across practically the entire territory of Goiás, predominantly in the southeastern, southwestern, southern and northern regions. The municipalities of Rio Verde and Jataí (southwestern region) and Cristalina (western region) presented the largest planted area in 2017. Sugarcane (Figure 2(c)) predominates in the southern regions (Quirinópolis, Goiatuba, Itumbiara), in the southwestern (Mineiros, Jataí, Rio Verde) and the northern region of the state of Goiás (Goianésia, Nova Glória and Vila Propício). In Figure 2(d), the most critical areas in the use of pesticides (liters/ha) are shown for the state of Goiás in 2017.

**Figure 2. (a) Estimated pesticide (l/ha) use in soybean crops by county; (b) Estimated pesticide (l/ha) use in corn crops by county; (c) Estimated pesticide (l/ha) use in sugarcane crops by county; (d) Risk class in the use of pesticides (l/ha) by county**



Source: XXXX

In 2017, a study indicated that, among the 246 municipalities in Goiás, pesticides were detected in 125 of them. Pesticides were not detected in 61 municipalities, and another 60 were not tested at all. The predominant crops in Goiás are soy (3,332,208.00 ha), corn (1,643,698.00 ha) and sugarcane (924,086.00 ha). The average use of pesticides in these crops is alarmingly high: 58,980,082 liters for soybean, 12,163,365 liters for corn and 4,435,612.80 liters for sugarcane.

Figure 2 reveals that the most critical areas for pesticide use are located in the southwest and western regions of the state of Goiás. In these regions, the municipalities of Jataí, Mineiros and Cristalina are classified with a very high risk of contamination. The monitoring of water in these areas is important to determine if concentrations of pesticides in the environment can affect the flora, fauna and human health. The Ministry of Health carried out research on the detection and concentration of pesticides from 2014 to 2017 with data from the System for Monitoring Water for Human Consumption (SISAGUA, 2018). The data is available from the Public Agency, Reporter BrasilPublic Eye (2018). Research by the Ministry of Health revealed that water for human consumption is con-

taminated by a cocktail of pesticides in practically all Brazilian municipalities. In the state of Goiás pesticides were found in the public water supply of over 50% of municipalities and some municipalities showed the presence of more than 10 types of pesticide.

A different finding, which deserves to be highlighted, involves the active principals of atrazine and glyphosate, which were detected in 118 municipalities out of the 124 that were reported to have contamination. To understand how intense the use of pesticide is in Brazil, it was have provided a demonstration of its main uses, considering the 2014 study from the Ministry of Agriculture, Livestock, and Food Supply (MAPA) as base data (2018). The selling of pesticides almost always runs into a legal disagreement, because many businesses are not regulated in line with the quantity of defensive pesticides used in production. Thus, on the one hand, there is sales monitoring but, on the other, there is not enough orientation regarding the quantities used by each group of farmers. The National Report on Health Vigilance in Populations Exposed to Pesticide (2018) (BRAZIL, 2018), demonstrates a clear connection between the market and the effects of the usage of these products in agriculture.

Amongst the most commercialized chemical pesticides in Brazil, glyphosate is the most common. It is so popular that the total amount of 2,4-D' (52889456.02 l/kg), which is the second most common, is over nine times less than the total amount of glyphosate sales (488388696,10 l/kg). Mineral Oil (alifáticos hidrocarbonets), acephate (organophosphate), methomyl (oxine methylcarbamate), chlorpyrifos (organophosphate), atrazine (triazine), paraquat dichloride (bipyridylum), carbendazim (benzimidazol) and mancozeb (dithiocarbamate), respectively, rank among the top 10 most commercialized chemical pesticides after the aforementioned ones.

Brazil set up a registry to monitor the commercialization and use of pesticides within the country. Created in 2006, decree number 5981 aimed to guarantee the registration by equivalence of pesticide (PELAEZ *et al.*, 2010). The pesticide registry in Brazil depends on the control regulations currently in place and on the time lag between legislations, which is around 13 years. Yet, federal regulations often collide with the demand to expand trade relationships and the products that businesses directly support in boosting agricultural practices for the export market.

According to Pelaez *et al.*, 2010, large businesses linked to the chemical industry are connected with the issuing of patents for technological innovations; therefore, the system which promotes patents generates a scheme of exclusive sales of the products as "these businesses take advantage of exclusiveness in the supply of products to adopt strategies of consumer fidelity to the commercial brand". In 2015, the Brazilian Government, with the objective of amplifying and modifying decree 4.074/2002 and previous laws dealing with pesticides in Brazil (BRAZIL, 2015) launched the draft law 3200/2015. The 2015 proposal focused on altering the list of types of authorized pesticides by listing multiple products as prohibited in Brazil for research and use in agriculture (ALMEIDA, 2017).

### Structural molecular description

The chemical structure of glyphosate is composed of 3 carbon atoms, 8 hydrogen atoms, 5 oxygen atoms, one nitrogen and one phosphorus atom, with three hydroxyl groups. For atrazine there is carbon, hydrogen, nitrogen and chlorine atom, with 3 methyl groups and a ring with 3 nitrogen molecules. For glyphosate there are 3 distinct chemical structures (polymorphs) deposited in the CCDC database, and we will call them Form **I**, Form **II** and Form **III**. Table 1 shows the parameters referring to glyphosate Forms **I**, **II** and **III**, and the parameters to atrazine Forms **I**, **II**, **III** and **IV**. Atrazine has four distinct chemical structures (polymorphs) deposited in the CCDC database, Forms **I**, **II**, **III** and **IV**. In the molecular packing, the number of glyphosate molecules in the unit cell is the same for Forms **I** and **II**, 4 molecules per unit cell; however, Form **III** has 2 molecules per unit cell. Atrazine form **II** and form **IV** have 4 molecules per unit cell, while Forms **I** and **III** have 16 and 8 molecules, respectively. glyphosate and atrazine structures pack in different ways; that is, the way they aggregate to form the solid is different.

**Table 1. Crystallography data for glyphosate Forms I, II, and III and for atrazine Forms I, II, III and IV**

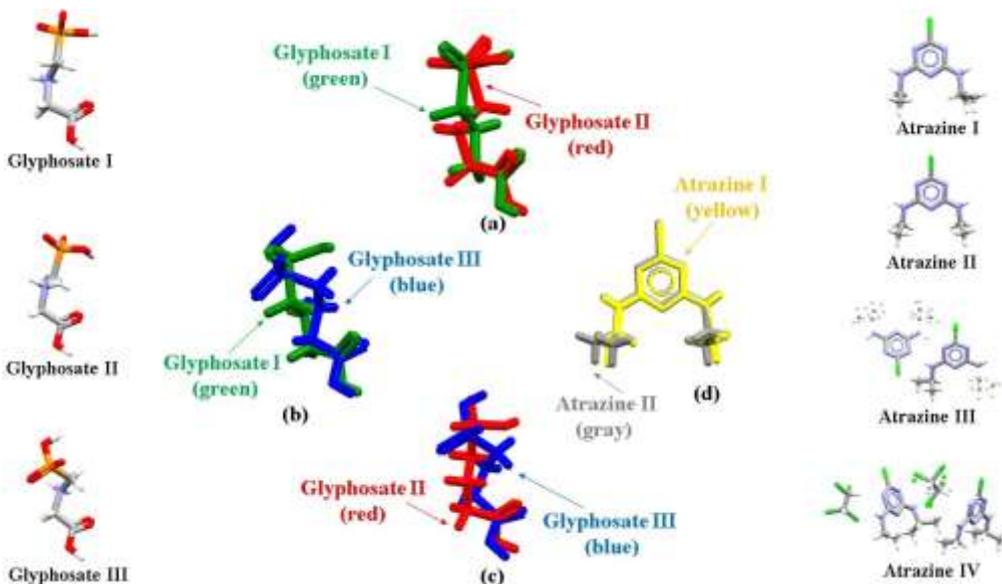
GLYPHOSATE				
PARAMETERS		FORM I	FORM II	FORM III
Chemical formula		$C_3H_8N_1O_5P_1$	$C_3H_8N_1O_5P_1$	$C_3H_8N_1O_5P_1$
Crystal system		Monoclinic	Monoclinic	Monoclinic
Space group		$P2_{1/c}$	$P2_{1/c}$	$P2_1$
Unit cell dimensions		a = 8.682(5) Å b = 7.973(8) Å c = 9.875(5) Å $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta = 105.74(4)^\circ$	a = 8.673(2) Å b = 7.977(3) Å c = 9.889(3) Å $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta = 105.67(3)^\circ$	a = 7.1190(5) Å b = 5.4276(10) Å c = 9.1225(5) Å $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta = 105.043(6)^\circ$
Volume		657.931 Å <sup>3</sup>	658.738 Å <sup>3</sup>	340.406 Å <sup>3</sup>
Unit cell molecules		4	4	2
ATRAZINE				
	FORM I	FORM II	FORM III	FORM IV
Chemical formula	$C_8H_{14}N_5Cl_1$	$C_7H_{12}N_5Cl_1$	$2(C_8H_{14}N_5Cl)$	$2(C_8H_{14}N_5Cl)$ $2(C_2H_2Cl_4)$
Crystal system	Orthorhombic	Monoclinic	Orthorhombic	Monoclinic
Space group	Fdd2	$P2_{1/c}$	Pbca	$P2_{1/c}$

Unit cell dimensions	a = 34.2012(19) Å b = 10.3247(6) Å c = 12.1234(6) Å $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	a = 4.4390(9) Å b = 11.980(2) Å c = 17.852(4) Å $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta = 94.04(3)^\circ$	a = 19.847(4) Å b = 9.6160(19) Å c = 23.793(5) Å $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	a = 11.908(3) Å b = 19.374(7) Å c = 15.441(5) Å $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta = 105.86(2)^\circ$
Volume	4281.0 (4) Å <sup>3</sup>	947.0(3) Å <sup>3</sup>	4540.9(16) Å <sup>3</sup>	3426.7(18)
Unit cell molecules	16	4	8	4

Source: xxxxxxxxx

The overlap makes it possible to compare the structures and show their conformational differences. From the coordinates and geometric data obtained experimentally by X-ray diffraction, it was possible to perform the overlap between the structures. It was performed the overlap between the three forms of glyphosate available in the database and also for two of the four available forms of atrazine. The two forms of atrazine that have not been overlapped have two molecules in the asymmetric unit, so it is not effective to perform an overlap (Figure 3). Glyphosate Form **I** was overlapped with glyphosate Form **II** (Figure 3a) and with Form **III** (Figure 3b), while Forms **II** and **III** were also overlapped (Figure 3c); for all these overlaps, the conformational structural divergences can be noted between them, because none completely overlaps. Atrazine Form **I** was overlapped with Form **II** (Figure 3d): note that these two forms are very similar, being overlapped almost completely. However, at the two extremities that have the methyl groups (CH<sub>3</sub>), we note the divergence in the overlap. These overlaps for the forms of glyphosate and atrazine corroborate the polymorphic characteristic and indicate that, due to the conformational differences, each structure may have differences in its physical-chemical properties.

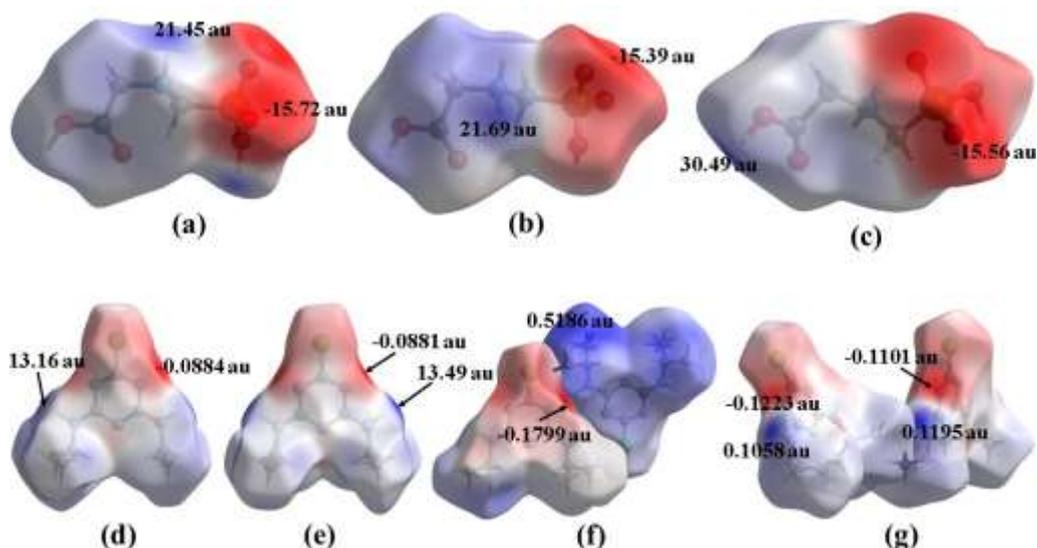
**Figure 3. Overlap for glyphosate and atrazine forms. Overlap between glyphosate Forms I and II (a), I and III (b), II and III (c). Overlap between atrazine Forms I and II (d)**



Source: xxxxxxxx

The differences between properties of molecules and some electronic features can be analyzed with the MEP, for example, electronegativity, polarity, dipole moments and chemical reactivity (SJOBERG; POLITZER, 1990, p. 3959-3961; POLITZER *et al.*, 1985, p. 191-202). The region with the greatest electrostatic potential indicates the presence of a strong positive charge and the absence of electrons, which leaves it susceptible to electrophilic attacks. The region with the lowest electrostatic potential characterizes a region with a higher concentration of electrons, which leaves it susceptible to carrying out nucleophilic reactions. In the MEP map, the red colors represent regions with negative charge density, while the blue colors indicate regions with positive charge density. Note that for glyphosate, the negative electrostatic potentials are over electronegative atoms such as oxygen, while positive potential regions are over hydrogen atoms. However, it is possible to realize that in the 3 forms of glyphosate there are different reactivity regions with different values (Figure 4a-c). For atrazine, there are more significant differences, and Forms I and II have similar values for the positive and negative regions, but the positive region appears in opposite positions (Figure 4d and 4e). Forms III and IV have 2 molecules in the unit cell, but the negative and positive regions and values are different when compared (Figure 4f and 4g). Note that the MEP map shows that for different forms of the same molecule (polymorphs) there are different regions and reactivity values.

**Figure 4.** Molecular Electrostatic Potential Map for glyphosate I (a), glyphosate II (b), glyphosate III (c), atrazine I (d), atrazine II (e), atrazine III (f) and atrazine IV (g)



Source: xxxxxxxxxxxx

All of these structural analyzes carried out on the molecular structure of pesticides (glyphosate and atrazine) confirm that structural and conformational variations contribute to differences in its physical-chemical properties. The gap in the legislation for this polymorphism control can directly imply the environmental risks and impacts in the use of these products.

#### 4. Brazilian pesticide legislation

Legislation has a direct effect on pesticide use, on the commercialization, the conditions of distribution and the final destination for pesticides. When it comes to the Cerrado's frontier, there are three major legislative issues: 1) the environment in Cerrado is protected by hierarchically lower laws, both federal (law 6938/1981) and local (laws 12280/1994, 19423/2016 and decree 4580/1995), but not by the Constitution (BRASIL, 1988); 2) there are no regulations on the amount of pesticides that can be used for different crops in Brazil, even though there is limit on the acceptable amount of residues present in post-harvest products such as grains and fruits; and 3) there are no regulations on pesticides that have polymorphic forms. The use of pesticides was, at first, established as a form to promote the "modernization" of agriculture after World War II, which resulted in the competitiveness of Brazilian agriculture on a global scale. The modernization of Brazilian agriculture entrenched rural inequality and relied heavily on chemical inputs. Powerful lobbies are staunch defenders of this agricultural model. There

are studies that have shown that the quantitative and qualitative data had been manipulated to show agriculture is not harmful to the biome Cerrado (MATOS; PESSOA, 2011). Incomplete or incorrect data have also influenced the lack of pesticide regulations in the country.

In 1975, the National Program for Agricultural Pesticides (PNDA) was implemented. One of its main pillars was state support for pesticide usage in order to support the competitiveness of Brazilian agribusiness (ALMEIDA, 2017). It was only in 1989 that Law 7.802 (PELAEZ *et al.*, 2010) provided some sort of regulation on pesticide usage. Law 7.802 somewhat described the technical process involving the production, distribution, and research of pesticides, relaying the competence to regulate usage to the Sanitary Vigilance Agency (ANVISA). ANVISA is the agency responsible for sanitary regulation and administration of foods and drugs in Brazil. In 1992, ANVISA published by-law number 3 that defined terms for pesticide usage and deliberated about risks to human health caused by pesticides, their impacts on rural production, and the security of food chains. ANVISA's by-law set a precedent that was later followed by regulations from other executive federal agencies such as Brazilian Institute of the Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA) and MAPA.

In 2002, Federal Decree 4.074 made new denominations and uses for pesticides under health and safety considerations that, among other things, considered studies, guidelines, and projects for pesticide disposal regarding the human and ecological impact of pesticides (PERES *et al.*, 2003, p. 21-41). These newly created "registration systems" were fundamental for large rural producers and regulating agencies to establish clear criteria for pesticide use. For the first time, pesticides were legally considered harmful and potentially chemically damaging for environmental and human health. However, both Law 7.802/1989 and Decree 4.074/2002 relayed the responsibility of establishing limits on pesticide usage and detection to ANVISA. In August 2021, ANVISA established limits for glyphosate detection in foods, but it does not create limits for usage in crops (ANVISA, 2021).

Brazilian legislation on pesticides is currently obsolete due to the growth of the international and national market for agricultural commodities. Even the recent Federal Decree 10.833 (October, 2021), which included the definition of the Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals (GHS), does not limit the dosage for pesticide usage in crops. Large companies connected to the chemical industry monopolized the market by registering their patents and technological innovations, which generated a supply system exclusively for these products and created an arbitrary consumption scheme (PELAEZ *et al.*, 2010). Glyphosate (non-selective herbicide) alone represented 60% of the global market sales in the early 2000s, and, as mentioned above, it dominates the Brazilian pesticide market. Nevertheless, there are no specific regulations on the use of glyphosate in production, whether it could lead to water or soil contamination. Such open policy was ensured with the passing of resolution RDC No. 441 on December 2<sup>nd</sup>

2020, that established registration guidelines for glyphosate sales but not on its use (BRASIL, 2020). According to Amarante Junior *et al.*, (2002), glyphosate's toxicity is low, but it causes long-term chronic birth defects in animals when the dosage is beyond what are determined safe levels, which is set in 700 µg/L in potable water in the United States. In Brazil, ANVISA regulates this safety limit for human ingestion by setting each limit (in most fruits is 200 µg/L; in cereals, the range goes from 50 µg/L to 1000 µg/L). In soy, the residue limit of glyphosate is 10 mg/Kg, which is two hundred times more than the limit in European Union of 0,05 mg/Kg.

Glyphosate is a molecule that presents polymorphism and there is no regulation of polymorphic structures when used in the application of pesticides in Brazil. The national criteria for patents have failed in this instance, since it does not follow the production chain, nor does it monitor the presence or absence of polymorphism in the structures patented. The control of polymorphic structures is key to controlling results in pesticide use, considering it affects biochemical components and “the lack of control of polymorphic forms [...] opens up the possibility to indiscriminate dosage [of pesticides] that can amplify environmental impacts” (TEIXEIRA *et al.*, 2019). In 2006, Decree 5.981 (BRAZIL, 2006) ensured the registry of pesticide equivalence, not with the purpose of patent validation or controlling polymorphic structures, but for medical purposes connected to the toxicology and ecotoxicology of these products (PELAEZ *et al.*, 2010). It is hard to pinpoint which locations in Goiás deal with pesticides aligned with national legislation, and which ones do not. It is certainly important to point out that this could very well be the result of economic and political pressure from certain groups, such as agribusiness lobbies and those associated with the agricultural sector (PIGNATI *et al.*, 2017).

De Lima Tejerina (2018, p. 229-249) highlights the lack of data on pesticides in Brazil, underlining the creation of the National Health Service (SUS) and its role in the process, as well as data from the agro commerce census as evaluators of the situation. What exists are recommendations from health authorities (PIGNATI *et al.*, 2017) that outline pesticide use and its consequences. The 1988 Federal Constitution (BRAZIL, 1988) establishes general guidelines that are further regulated by both federal and state laws. If federal legislation orders that a pesticide must be used with caution, a state legislation (such as Goiás) would establish in its own regulation on pesticides widely used in within its territory. However, what could be a solution turns out to be two challenges: 1) *Brazilian states do not single out peculiarities or address issues found in the region because state level legislation is a direct copy of federal legislation*; and 2) *if states do single out location-based issues then there is no control or surveillance whatsoever to ensure that is the legislation is being followed*.

When it comes to Goiás, the state government is responsible for drafting legislation molded for its own needs. The state laws 12.280/1994 (GOIÁS, 1994), 19.423/2016 (GOIÁS, 2016) and Decree 4.580/1995 (GOIÁS, 1995) have been regulating the matter locally. They offer guidelines on the control of production and use of agrochemicals, closely aligned with Federal Legislation. This legisla-

tion would be forced to change if the Federal Constitution changes its guidelines. The current pro-pesticide trend in legislation facilitated a record production of 237,600,000 tons of pesticides that were applied to a planted area of 61,000,000 ha. Increased pesticide production contributed to the growth of Brazil's GDP via growth in agricultural exports and greater investments in grain planting, harvesting and storage. A rise in grain production follows increased pesticide use, as a direct result of the improvement in production and transformation of the sector. In other words, the growth and modernization of agriculture is reliant on agricultural inputs that improve productivity.

In order to use certain pesticides, such as glyphosate and atrazine, proper legislation would establish strict criteria in accordance with their risk. Finally, the polymorphic impurities on the pesticide (atrazine and glyphosate) that direct to different properties (such as reactivity) open up theoretical and empirical lines of control procedures on compliance with existing Brazilian legislation. The lack of control procedures highlights the environmental challenges of polymorphic impurities and sustainability transformations of Cerrado societal systems

## 5. Final remarks

The geoprocessing studies indicate a trend of increased pesticide use, and especially glyphosate, in the Cerrado, within which Goiás stands out. There is a tendency to think about the state legislation applicability in this scenario, relying on the non-compliance to the legal measures and an over-allowed use of pesticides. The chemical studies indicate that structural and conformational variations of pesticides contribute to differences in their physical-chemical properties and serve as a basis for understanding the challenges for sustainability associated with agriculture. Soy is the predominant crop grown in Goiás, occupying 78.04% of the planted area in the state, followed by corn and sugarcane. A total of 75,579,060 liters of pesticide were used on these crops in 2017. The mapping of the estimated average consumption of pesticide per crop indicates the occupation of these lands, serving as a basis to improve sustainable agricultural practices. Finally, the lack of polymorphic forms control opens the door to indiscriminate dosage use with environmental impacts (molecular structures of these pesticides show high reactivity with changes in fundamental components of biodiversity).

The transdisciplinary approach of integrating environmental history and environmental chemistry is a novel way to assess pesticide use in the Cerrado region. In particular, this approach works to bring together a range of methodologies, such as *thematic mapping*, chemical models, and legislation, to extensively comprehend the complexity of environmental consequences regarding the historical use of different kinds of pesticides in the Cerrado. This research also serves to open a broader debate on the use of other pesticides in Brazil. For example, there is currently a debate in the country on removing the ban on the pesticide called Paraquat. Paraquat is a pesticide developed in 1956 by Imperial Chemical Industries in England that

plays a key role in the use of no-till farming. Although sometimes referred to as a more sustainable agricultural practice, no-till farming relies on pesticides, such as Paraquat, to control weeds. This is especially true in the tropics where there is now winter kill (Ofstehage & Nehring, 2021). In Brazil, the use of Paraquat was banned by the ANVISA (in 2017) due to its association with incidences of cancer and Parkinson's disease. Over the past year, however, the Brazilian Association of Soy Producers (Aprosoja, Brazil) has been pressing the MAPA for the immediate release of the product for use in Brazilian agriculture.

While no decision has been made yet on the potential future legality of Paraquat in Brazil, environmental studies on the legislation, use and consequences of pesticides are essential to analyze this dynamic sector. Agriculture continues to be Brazil's most important economic sector, contributing just over a quarter of the Gross National Product (CEPEA, 2021). As it was demonstrated, pesticides are the lifeblood of agricultural industrialization in the country. That is why trans-disciplinary studies on complex environmental issues, such as this one, remain crucial to assessing the ecological health and opportunities for more sustainable agriculture in the future.

## Acknowledgments

This study was financed in part by CNPq and FAPEG and developed with the support of UEG and UniEvangélica. This research was funded in part by the Wellcome Trust [Grant number 217968/Z/19/Z].

## References

- ALMEIDA, M. D.; CAVENDISH, T. A.; BUENO, P. C.; ERVILHA, I. C.; GREGÓRIO, L. S.; KANASHIRO, N. B. O.; ROHLFS, D. B.; CARMO, T. F. M. A flexibilização da legislação brasileira de agrotóxicos e os riscos à saúde humana: análise do Projeto de Lei nº 3.200/2015. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 33, 2017.
- AMARANTE JUNIOR, O. P.; SANTOS, T. C.; BRITO, N. M. RIBEIRO, M. L.; Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. *Química Nova*, v. 25, p. 589-593, 2002.
- ARGENTI, P. A. *Corporate responsibility*. Sage Publications, 2015.
- BOAVENTURA, K. J.; SILVA, C. M.; DUTRA E SILVA, S. Building Soil Fertility: Embrapa and the Agronomic Development for the "Conquest" of the Brazilian Cerrado (1975-1995). *Historia Agrária*, forthcoming.
- BERNSTEIN J. *Polymorphism in molecular crystals*. Clarendon Press; 410 p. 2002.
- BRAZIL. ANVISA - Agência Nacional De Vigilância Sanitária. GO1 - Glifosato. Disponível

em: < <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/monografias/monografias-autorizadas/g-h-i/4378json-file-1/view> >. Acesso em 26 de janeiro de 2022.

BRAZIL. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRAZIL. Decreto n. 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.

BRAZIL. Decreto n. 5.981 de 6 de Dezembro de 2006. Dá nova redação e inclui dispositivos ao Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, que 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. Brasília; 2006.

BRAZIL. Decreto n. 10.833, de 7 de outubro de 2021. Altera o Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, que 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. Diário Oficial da União, Brasília, 08 out. 2021. Edição n. 192, seção 1, p. 5.

BRAZIL. EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Ministério Da Agricultura. P e A. Visão 2030 - O futuro da agricultura brasileira. Embrapa. 2018.

BRAZIL. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Municipal Agricultural Production - PAM. 2017.

BRAZIL. Lei n. 7.802, de 11 de julho de 1989. 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; 1989.

BRAZIL. Lei n. 10.603, de 17 de dezembro de 2002. Dispõe sobre a proteção de informação não divulgada submetida para aprovação da comercialização de produtos e dá outras providências. Brasília; 2002.

BRAZIL. Ministério da saúde. Relatório Nacional de Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Agrotóxicos. Brasília, DF, 2018.

BRAZIL. Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária/Diretoria Colegiada.

Resolução – RDC N. 441, de 2 de dezembro de 2020. Dispõe sobre a manutenção do ingrediente ativo Glifosato em produtos agrotóxicos no País, determina medidas de mitigação de riscos à saúde e alterações no registro decorrentes da sua reavaliação toxicológica. Diário Oficial da União, Brasília, 09 dez. 2020. Edição n. 235, seção 1, p. 372.

BRAZIL. PL 1687/2015. Altera a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, para instituir a Política Nacional de Apoio aos Agrotóxicos e Afins de Baixa Periculosidade. Câmara dos deputados. Brasília; 2015.

BRAZIL. PL 3200/2015. Dispõe sobre a Política Nacional de Defensivos Fitossanitários e de Produtos de Controle Ambiental, seus Componentes e Afins, bem como 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 defensivos fitossanitários e de produtos de controle ambiental, seus componentes e afins, e dá outras providências. Câmara dos deputados. 2015.

BRAZIL. SISAGUA - Sistema de Informações de Vigilância da Qualidade da Água. Detecção e concentração de agrotóxicos de 2014 a 2017. 2018.

BRUNO, I. J.; COLE, J. C.; EDGINGTON, P. R.; KESSLER, M.; MACRAE, C. F.; MCCABE, P.; PEARSON, J.; TAYLOR, R. New software for searching the Cambridge Structural Database and visualizing crystal structures. *Acta Crystallographica Section B: Structural Science*, v. 58, n. 3, p. 389-397, 2002.

CARVALHO, M. M. X.; NODARI, E. S.; NODARI, R. O. “Defensivos” ou “agrotóxicos”? História do uso e da percepção dos agrotóxicos no estado de Santa Catarina, Brasil, 1950-2002. *História, Ciências, Saúde-Manguinhos*, v. 24, p. 75-91, 2017.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. “PIB do Agronegócio Brasileiro,” Cepea, ESALQ-UPS, 2021. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 16 mar. 2022.

BARBALHO, M. G.; DUTRA E SILVA, S. GIUSTINA, C. C. D. Avaliação temporal do perfil da vegetação da microrregião de Ceres através do uso de métricas de paisagem. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 35, n. 3, p. 472-487, 2015.

DA SILVA BARBALHO, M. G.; DE CAMPOS, A. B. Vulnerabilidade natural dos solos e águas do estado de Goiás à contaminação por vinhaça utilizada na fertirrigação da cultura de cana-de-açúcar. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 30, n. 1, p. 155-170, 2010.

EGGER, A. S.; RIGOTTO, R. M.; SOUZA E LIMA, F. A. N.; COSTA, A. M.; AGUIAR, A. C. P. Ecocídio nos Cerrados: agronegócio, espoliação das águas e contaminação por agrotóxicos. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 57, 2021.

DAL SOGLIO, F.; KUBO, R. R. Agricultura e sustentabilidade. Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnóloga – Planejamento e gestão para o desenvolvimento rural da SEAD/EFRGS. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 152 p.

DE CAMPOS, A. B.; BARBALHO, M. G.; DE ALMEIDA JÁCOMO, S. Identificação de Níveis de Terraços em Imagem LANDSAT7-TM através do Emprego de Técnicas de Processamento Digital. In: Anais X SBSR, 21-26 abril 2001, Foz do Iguaçu, INPE, p. 251-255.

DE LIMA TEJERINA, G. R.; Intoxicações e óbitos por agrotóxicos no Estado de Goiás, Brasil e inovações legislativas. *Cadernos Ibero-Americanos de Direito Sanitário*, v. 7, n. 1, p. 229-249, 2018.

DUTRA E SILVA, S. Challenging the environmental history of the Cerrado: science, biodiversity and politics on the Brazilian agricultural frontier. *Historia Ambiental Latinoamericana Y Caribeña (HALAC) Revista De La Solcha*, v. 10, n. 1, p. 82-116, 2020.

DUTRA E SILVA, S.; BARBOSA, A. S. Paisagens e fronteiras do Cerrado: ciência, biodiversidade e expansão agrícola nos chapadões centrais do Brasil. *Estudos Ibero-Americanos*, v. 46, n. 1, p. e34028-e34028, 2020.

EGGER, D. S.; RIGOTTO, R. M.; LIMA, LIMA, F. A. N. DE S.; COSTA, A. M.; AGUIAR, A. C. P. Ecocide in the Cerrados (Brazilian Savanna): agribusiness, water spoliation and pesticide contamination. *Desenvolv. Meio Ambiente*, Vol. 57, Special issue - Agribusiness in times of planetary collapse: critical approaches, p. 16-54, jun. 2021

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical Review*, v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.

FAO. 2021. "Pesticides Use: Global, Regional and Country Trends, 1990-2018," FAOSTAT Analytical Brief 16, Rome: FAO.

GOIÁS. Decreto no 4.580, de 20 de Outubro de 1995. Regulamenta a Lei nº 12.280, de 24 de janeiro de 1994, que dispõe sobre o controle de agrotóxicos, seus competentes e afins, a nível estadual e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de Goiás, 1995*.

GOIÁS. Lei no 12.280, de 24 de Janeiro de 1994. Dispõe sobre o controle de agrotóxicos, seu componente e afim, a nível estadual e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de Goiás, 1994*.

GOIÁS. Lei no 19.423, de 26 DE Julho de 2016. Dispõe sobre a produção, o armazenamento, o comércio, o transporte interno, a utilização, o destino final de resíduos e embalagens, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, no Estado de Goiás, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de Goiás, 2016*.

GROOM, C. R. The Cambridge structural database. *Acta Crystallographica Section B: Structural Science, Crystal Engineering and Materials*, v. 72, n. 2, p. 171-179, 2016.

GURGEL, A. M.; GUEDES, C. A.; GURGEL, I. G. D. AUGUSTO, L. G. S. Reflexos da perda do controle estatal sobre os agrotóxicos no Brasil e sua regulação pelo mercado. *Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde*, v. 11, n. 3, 2017.

HANDFORD, C. E.; ELLIOTT, C. T.; CAMPBELL, K. A review of the global pesticide legislation and the scale of challenge in reaching the global harmonization of food safety standards. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 11, n. 4, p. 525-536, 2015.

KATRITZKY, I. R.; KUANAR, M.; SLAVOV, S.; HALL, D. C.; KARELSON, M.; KAHN, I.; DOB-CHEV, D. A. Quantitative correlation of physical and chemical properties with chemical structure: utility for prediction. *Chemical reviews*, v. 110, n. 10, p. 5714-5789, 2010.

KATRITZKY, A. R.; MARAN, U.; LOBANOV, V. S.; KARELSON, M. KATRITZKY. Structurally diverse quantitative structure– property relationship correlations of technologically relevant physical properties. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, v. 40, n. 1, p. 1-18, 2000.

KATRITZKY, A. R.; LOBANOV, V. S.; KARELSON, M. QSPR: the correlation and quantitative prediction of chemical and physical properties from structure. *Chemical Society Reviews*, v. 24, n. 4, p. 279-287, 1995.

WAROUX, L.P.; GARRETTB, R. D.; GRAESSER, J.; NOLTE, C.; WHITE, W.; LAMBINAD, E. F. The restructuring of South American soy and beef production and trade under changing environmental regulations. 2017.

C. F. Macrae, C. F.; Bruno, I. J.; Chisholm, J. A.; Edgington, P. R.; McCabe, P.; Pidcock, E.; Rodriguez-Monge, L.; Taylor, R.; Streek, J. V.; Wood, P. A. Mercury CSD 2.0–new features for the visualization and investigation of crystal structures. *Journal of Applied Crystallography*, v. 41, n. 2, p. 466-470, 2008.

MATOS, P. F.; PESSOA, V. L. S. A modernização da agricultura no Brasil e os novos usos do território. *Geo Uerj*, v. 2, n. 22, p. 290-322, 2011.

NEHRING, R. Yield of dreams: Marching west and the politics of scientific knowledge in the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa). *Geoforum*, v. 77, p. 206-217, 2016.

OFSTEHAGE, ANDREW & NEHRING, Ryan (2021): No-till agriculture and the deception of sustainability in Brazil. *International Journal of Agricultural Sustainability*, p. 1-14. DOI: 10.1080/14735903.2021.1910419

OLIVEIRA, D. A.; PIETRAFESA, J. P.; DA SILVA BARBALHO, M. G. Manutenção da biodiversidade e o hotspot cerrado. *Caminhos de Geografia*, v. 9, n. 26, 2008.

PEIXOTO, J. C. Flavonoids from Brazilian Cerrado: Biosynthesis, Chemical and Biological Profile. *Molecules*, v. 24, n. 16, p. 2891, 2019.

PELAEZ, V.; TERRA, F. H. B.; DA SILVA, L. R. A regulamentação dos agrotóxicos no Brasil: entre o poder de mercado e a defesa da saúde e do meio ambiente. *Revista de Economia*, v. 36, n. 1, 2010.

PERES, F.; MOREIRA, J. C.; DUBOIS, G. S. Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema. *É veneno ou é remédio*, p. 21-41, 2003.

PIGNATI, W. A. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 22, p. 3281-3293, 2017.

PIGNATI, W.; OLIVEIRA, N. P.; SILVA, A. M. C. Vigilância aos agrotóxicos: quantificação do uso e previsão de impactos na saúde-trabalho-ambiente para os municípios brasileiros. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 19, p. 4669-4678, 2014.

PIGNATI, W. A. Spatial distribution of pesticide use in Brazil: a strategy for Health Surveillance. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 22, p. 3281-3293, 2017.

POLITZER, P.; LAURENCE, Patricia R.; JAYASURIYA, Keerthi. Molecular electrostatic potentials: an effective tool for the elucidation of biochemical phenomena. *Environmental health perspectives*, v. 61, p. 191-202, 1985.

RAJÃO, Raoni et al. The rotten apples of Brazil's agribusiness. *Science*, v. 369, n. 6501, p. 246-248, 2020.

SILVA, Adriana Aparecida; MIZIARA, Fausto. Avanço do setor sucroalcooleiro e expansão da fronteira agrícola em Goiás. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41, p. 399-407, 2011.

SILVA, Marianna C. et al. A Comprehensive Topological Analysis of a Novel Flavonoid Extracted from Brazilian Cerrado Plants. *Chemistry Select*, v. 4, n. 47, p. 14012-14020, 2019.

SILVÉRIO, Flaviano Oliveira et al. Análise de agrotóxicos em água usando extração líquido-líquido com partição em baixa temperatura por cromatografia líquida de alta eficiência. *Química Nova*, v. 35, p. 2052-2056, 2012.

SJOBERG, P.; POLITZER, P. Use of the electrostatic potential at the molecular surface to interpret and predict nucleophilic processes. *Journal of Physical Chemistry*, v. 94, n. 10, p. 3959-3961, 1990.

SONG, X. Massive soybean expansion in South America since 2000 and implications for conservation. *Nature Sustainability*, p. 1-9, 2021.

SPACKMAN, M. A. Fingerprinting intermolecular interactions in molecular crystals. *CrystEngComm*, v. 4, n. 66, p. 378-392, 2002.

SPACKMAN, M. A.; JAYATILAKA, D. Hirshfeld surface analysis. *CrystEngComm*, v. 11, n. 1, p. 19-32, 2009.

SPADOTTO, C. A. Fundamentos e aplicações da modelagem ambiental de agrotóxicos. *Embrapa Territorial-Documents (INFOTECA-E)*, 2010.

SPADOTTO, C. A. Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos: princípios e recomendações. *Embrapa Meio Ambiente-Documents (INFOTECA-E)*, 2004.

STRASSBURG, B. B. N.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IIRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A. E.; OLIVEIRA FILHO, F. J. B.; SCARAMUZZA, C. A. M. SCARANO, F. R. SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*, v. 1, n. 4, p. 1-3, 2017.

TEIXEIRA, D. E. A Expansão da Fronteira Agrícola e a Utilização do Dicloro-Difenil-Tricloroeta-

no (DDT) em Goiás (1940-1980). *Revista Inclusiones*, p. 280-300, 2019.

THOMAS, S. P.; SPACKMAN, M. A. The polymorphs of ROY: a computational study of lattice energies and conformational energy differences. *Australian Journal of Chemistry*, v. 71, n. 4, p. 279-284, 2018.

WOLFF, S.K. *Crystal Explorer*. University of Western Australia, 2012.

ZALLES, V. Rapid expansion of human impact on natural land in South America since 1985. *Science Advances*, v. 7, n. 14, p. eabg1620, 2021.

**Marina Teodoro** marinastj@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4001-2900>

Submitted on: 21/03/2022

Accepted on: 07/05/2023

2023;26:e0030

**Vitor S. Duarte** vitorvsd132@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6145-6210>**Mariana R. M. Costa** marianarmaranhao@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3960-8556>**Ryan Nehring** rln53@cornell.eduORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0867-7820>**Sandro D. Silva** sandroutr@hotmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0001-5726>**Giovanni A. Boggione** giovanni.boggione@ifg.edu.brORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1675-6529>**Hamilton B. Napolitano** hbnapolitano@gmail.comORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6047-9995>

# Avaliação ambiental do uso de agrotóxicos na região do cerrado do Brasil

Marina Teodoro  
Vitor S. Duarte  
Mariana R. M. Costa  
Ryan Nehring

Sandro D. Silva  
Giovanni A. Boggione  
Hamilton B. Napolitano

**Resumo:** O Cerrado no Brasil Central é composto por tipos de vegetação únicos com uma grande fonte de compostos bioativos. As décadas de 1970 e 1980 foram marcadas pela intensa incorporação dessas áreas com vegetação nativa a pastagens e lavouras, o que aumentou o consumo de agrotóxicos como glifosato e atrazina. Hoje continua a haver uma perda constante de vegetação natural neste bioma, e a pressão do uso da terra está causando perdas significativas de vegetação nativa, impulsionadas principalmente pela expansão agrícola. Este artigo oferece um mapeamento do consumo médio estimado de agrotóxicos por safra, bem como uma compreensão dos riscos associados à contaminação por glifosato e atrazina no estado de Goiás. Ambas as áreas servem de base para entender os desafios e oportunidades de sustentabilidade associados à agricultura no Cerrado brasileiro.

São Paulo. Vol. 26, 2023

*Artigo Original*

**Palavras-chave:** Cerrado brasileiro; história ambiental; pesticida; fronteira agrícola; polimorfismo.

# Evaluación ambiental del uso de plaguicidas en la región del cerrado de Brasil

Marina Teodoro  
Vitor S. Duarte  
Mariana R. M. Costa  
Ryan Nehring

Sandro D. Silva  
Giovanni A. Boggione  
Hamilton B. Napolitano

**Resumen:** El Cerrado en el centro de Brasil está compuesto por tipos de vegetación únicos con una gran fuente de compuestos bioactivos. Las décadas de 1970 y 1980 estuvieron marcadas por la intensa incorporación de estas áreas nativas a pastos y cultivos, lo que incrementó el consumo de plaguicidas como el glifosato y la atrazina. Hoy en día, continúa habiendo una pérdida constante de vegetación natural en este bioma, y la presión del uso de la tierra está causando pérdidas significativas de vegetación nativa, impulsadas principalmente por la expansión agrícola. Este artículo proporciona un mapeo del consumo promedio estimado de pesticidas por cultivo, así como una comprensión de los riesgos asociados con la contaminación por glifosato y atrazina en el estado de Goiás. Ambas áreas sirven como base para comprender los desafíos y oportunidades de sostenibilidad asociados con agricultura en el estado de Goiás Cerrado brasileño.

São Paulo. Vol. 26, 2023

*Artículo Original*

**Palabras-clave:** Cerrado brasileño; historia ambiental; pesticida; frontera agrícola; polimorfismo.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como parte do direito ambiental e de outras legislações competentes em nosso país, as normas, leis e diretrizes que regem o uso de agrotóxicos no Brasil apresentam lacunas significativas. Apesar disso, porém, elas são meio importantíssimo para se evitar embates maiores que aqueles que já se tem vivenciado nessa direção. Não se pode deixar de levar em conta que as bases legais que orientam o manejo e outros aspectos pertinentes aos agrotóxicos sempre estão em questionamento. Por isso, é preciso prestar-se muita atenção às questões e perspectivas que solicitam alguma forma de flexibilização desses regulamentos. As normas e leis já existentes deveriam ser não amainadas em sua revisão, antes deveriam ser recrudescidas devido a sua tímida eficácia.

O presente artigo, elaborado por meio de levantamento bibliográfico e análise de alguns documentos legais, teve por objetivo trazer à baila considerações a respeito do uso de glifosato na agricultura, evidenciando o questionamento sobre o polimorfismo químico desse importante e popularizado agrotóxico usado majoritariamente em monoculturas como cana, milho e soja. É importante ter em vista que já existem muitos questionamentos na indústria farmacêutica sobre o tema. No setor de implementos e insumos agrícolas, tais discussões têm sido iniciadas por pesquisadores, entidades (públicas e privadas) e órgãos competentes.

A partir dos anos iniciais do século XXI, o setor agrícola brasileiro destacou-se como uma entidade que torna o país um dos maiores produtores de *commodities* de grande visibilidade nacional e internacional. Tais produtos, como milho e soja, além de café e açúcar, são destinados a um cenário internacional cada vez mais competitivo e passível de mudanças céleres e transformações bruscas.

É indiscutível o fato, entretanto, de que o modelo de produção agropecuária assumido pelo país – devido à influência de indústria e organismos internacionais – faz com que toda a produtividade esteja associada ou dependente cada vez mais da usabilidade de insumos químicos. Isso, por sua vez, tornou o Brasil uma das nações que mais consomem agrotóxico entre os países desenvolvidos ou em estágio de desenvolvimento. Inseticidas e herbicidas à base de substâncias organofosforadas são, de maneira geral, os mais utilizados.

A elevação do consumo de agrotóxicos e fertilizantes químicos na agricultura intensiva do Brasil tem acompanhado a elevação dos sistemas produtivos baseados

nas monoculturas cada vez mais dependentes de produtos organofosforados, como é o caso do glifosato. É preciso reconhecer também que, nos espaços rurais, muitas vezes os agrotóxicos são empregados sem se levar em consideração medidas pertinentes à biossegurança. Nesse caso, a legislação vigente demonstra falibilidade ou pouca efetividade em diversos aspectos, especialmente quanto à ausência de consideração ao polimorfismo do glifosato. Tal falha conta como uma das mais graves referentes ao comércio do agrotóxico tanto na legislação específica quanto no ordenamento jurídico pertinente.

Como foi anteriormente estabelecido, a associação entre a falta de regulamentação jurídica de polimorfos em agrotóxicos, os impactos do polimorfismo nesses produtos químicos e a contribuição de um trabalho acadêmico sobre esse tema para o estado da arte do Direito pode ser sintetizada em duas grandes frentes. Primeiramente, destaca-se a **carência de regulamentação jurídica para polimorfos em agrotóxicos**. A ausência de regulamentação específica para polimorfos em agrotóxicos é uma lacuna que se evidencia no âmbito jurídico. Os polimorfos representam diferentes formas cristalinas de uma substância química, e sua presença nos agrotóxicos pode influenciar a eficácia, toxicidade e persistência desses produtos químicos no meio ambiente. A falta de regulamentações claras sobre como lidar legalmente com os polimorfos resulta em brechas no sistema regulatório, que podem comprometer a segurança e a proteção ambiental.

A segunda frente aborda os **impactos do polimorfismo em agrotóxicos**. Os polimorfos em agrotóxicos podem exercer efeitos significativos, tanto na agricultura quanto no meio ambiente. Essas variações podem impactar a eficácia dos pesticidas, sua estabilidade, solubilidade e toxicidade. Além disso, o polimorfismo pode influenciar a persistência do agrotóxico no solo e na água, assim como seu potencial de bioacumulação na cadeia alimentar. Assim, compreender os impactos do polimorfismo é crucial para garantir a segurança e a sustentabilidade na agricultura.

Por isso, ao abordar tais temas, esta pesquisa colabora com futuros cientistas ao a) identificar e analisar as lacunas existentes nas regulamentações de agrotóxicos em relação ao polimorfismo, b) propor recomendações para a regulamentação adequada de agrotóxicos que considerem o polimorfismo, levando em conta a segurança e a proteção ambiental, c) explorar questões éticas e legais relacionadas ao uso de agrotóxicos em diferentes contextos agrícolas, e d) oferecer *insights* para a construção de políticas públicas que promovam a segurança dos trabalhadores rurais,

a saúde pública e a proteção do meio ambiente. Assim, contribui-se para o estado da arte do Direito, fornecendo perspectivas que podem influenciar futuras regulamentações e práticas jurídicas relacionadas à agricultura e à proteção ambiental.

## 5 REFERÊNCIAS

AGUIAR, Mônica Regina Marques Palermo de; GEMAL, André Luís; GIL, Rosane Aguiar da Silva. Caracterização de polimorfismo em fármacos por ressonância magnética nuclear no estado sólido. **Química Nova**, v. 22, p. 553-564, 1999.

ALMEIDA, Mirella Dias *et al.* A flexibilização da legislação brasileira de agrotóxicos e os riscos à saúde humana: análise do Projeto de Lei nº 3.200/2015. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 33, 2017.

AMARANTE JÚNIOR, O. P.; SANTOS, T. C. R.; BRITO, N. M.; RIBEIRO, M. L. Métodos de extração e determinação do herbicida glyphosate: breve revisão. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n.3, p. 420-428, 2002.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Instrução Normativa Conjunta Nº 1, de 16 de junho de 2014**. 2014. Disponível em: <[https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/legislacao/INC01\\_16\\_01\\_2014\\_atualizada\\_ato\\_69\\_01\\_10\\_19.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/legislacao/INC01_16_01_2014_atualizada_ato_69_01_10_19.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2023.

ÁVILA, Leticia Gomes de *et al.* Formulações de atrazina em xerogéis: síntese e caracterização. **Química Nova**, v. 32, p. 1727-1733, 2009.

BANDINI, Thiago Bousquet; SPISSO, Bernardete Ferraz. Risco sanitário do mel no Brasil em relação a novas ameaças: resíduos e contaminantes químicos emergentes. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, v.5, n. 1, p. 116-126, 2017.

BARJA, B. C.; AFONSO, M. S. Aminomethylphosphonic acid and glyphosate adsorption onto goethite: a comparative study. **Environmental Science & Technology**, Iowa, v. 39, n. 2, p. 585-592, 2005.

BARROS, Danielle; FREITAS, Andrea; PIMENTEL, Thereza. Mapeamento dos laboratórios e métodos de análise utilizados na determinação de resíduos de agrotóxicos em alimentos no Brasil. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 23-45, 2020.

BECHER, Stela. **Caracterização de polimorfismos e atividade de enzimas relacionadas ao estresse oxidativo em linhagens bacterianas tolerantes ao herbicida mesotrione**. 2009. 92 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Evolutiva) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.

BELTRAN, Maria Helena Roxo; KLAUTAU, Fabina Dias. CTSA na História: Discutindo Agrotóxicos à luz da História da Ciência. **Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química**, v. 1, n. 1, p. e012003-e012003, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **PNCRC Vegetal**. Brasília: MAPA, 2022.

\_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa Nacional**

**de Controle de Resíduos e Contaminantes em Produtos de Origem Vegetal - PNCRC/Vegetal.** Atualizado em 20/04/2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/pncrcvegetal>>. Acesso em: 15 jun. 2023. 2023a.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Instituto Nacional do Câncer (INCA). **Agrotóxico.** Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) são registradas 20 mil mortes por ano devido o consumo de agrotóxicos. Disponível em: <<https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e-prevencao-do-cancer/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/agrotoxico>>. Acesso em: 2 nov. 2023b.

BRITO, José. Repórter Brasil. **Agrotóxicos proibidos na Europa são campeões de vendas no Brasil.** Publicado em 10/12/2018. Disponível em: <<https://reporterbrasil.org.br/2018/12/agrotoxicos-proibidos-europa-sao-campeoes-de-vendas-no-brasil>>. Acesso em: 15 jun. 2023.

CAMPOS, Adryelle Lemes de *et al.* O avanço do agrotóxico no Brasil e seus impactos na saúde e no ambiente. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 1, p. 1-15, 2021.

CANDIOTTO, Luciano Zanetti Pessôa. Organic products policy in Brazil. **Land Use Policy**, v. 71, p. 422-430, 2018.

CANTOS, Clotilde *et al.* Contribuições para a gestão das embalagens vazias de agrotóxicos. **InterfacEHS – Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 3, n. 2, p. 12-25, 2011.

CARMO, Diego Almeida do *et al.* Comportamento ambiental e toxicidade dos herbicidas atrazina e simazina. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, p. 133-143, 2013.

CARSON, Rachel. Silent spring. In: **Thinking about the environment: Readings on Politics, Property, and the Physical World.** London: Routledge, 2015, p. 150-155.

CARVALHO, Miguel Mundstock Xavier de; NODARI, Eunice Sueli; NODARI, Rubens Onofre. “Defensivos” ou “agrotóxicos”? História do uso e da percepção dos agrotóxicos no estado de Santa Catarina, Brasil, 1950-2002. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v. 24, n.3, p. 75-91, 2017.

CARVALHO, Wanessa Fernandes. **Avaliação de danos genéticos e correlação com polimorfismos nos genes *gstm1* e *gstt1* em trabalhadores ocupacionalmente expostos a agrotóxicos em municípios goianos com intensa atividade agrícola.** 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado em Genética) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2014.

CASTRO, Biancca Scarpeline de *et al.* **O processo de institucionalização da soja transgênica no Brasil nos anos de 2003 e 2005:** a partir da perspectiva das redes sociais. 2006. 181 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, 2006.

CHEHAB, Isabelle Maria Campos Vasconcelos; TARREGA, Maria Cristina Vidotte Blanco. Sobre a massificação dos agrotóxicos no Brasil e os limites jurídicos para a

sua responsabilização internacional pelos prejuízos ocasionados ao direito à saúde de crianças. **Revista Direito e Justiça: Reflexões Sociojurídicas**, v. 19, n. 35, p. 177-195, 2019.

CHRIST, Gabriela Daiana *et al.* A Base de Exportação do Oeste Paranaense 2000/2010/2020. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**, v. 21, n. 40, p. 27-52, 2022.

CIRCUNVIS, B. C. *et al.* Caracterização genética de amostras de *Conyza sp.* do Estado do Paraná. **Planta Daninha**, v. 32, p. 173-179, 2014.

COUTINHO, Cláudia FB; MAZO, Luiz Henrique. Complexos metálicos com o herbicida glifosato: revisão. **Química Nova**, v. 28, p. 1038-1045, 2005.

DELGADO, Celia *et al.* Análisis del polimorfismo genético en líneas de soya [*Glycine max* (L.) Merr.] resistentes a glifosato. **Biotecnología Aplicada**, v. 36, n. 3, p. 3301-3306, 2019.

DEUTSCHE WELLE; G1. **Alemanha quer banir o agrotóxico glifosato até 2023.** Publicado em 04/09/2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2019/09/04/alemanha-quer-banir-o-agrotoxico-glifosato-ate-2023.ghtml>>. Acesso em: 15 jun. 2023.

DIAS, Agata Cristina Lima *et al.* Ocorrência de Atrazina em águas no Brasil e remoção no tratamento da água: revisão sistemática. **Revista Internacional de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 234-253, 2018.

DURKHEIM, Émile. O que é fato social. **As regras do método sociológico**, v. 6, 1978.

ESTADÃO. Canal Rural. **França proíbe comercialização de herbicida à base de glifosato.** Publicado em 15/11/2019. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/agricultura/franca-proibe-glifosato>>. Acesso em: 15 jun. 2023.

EXAME. **Glifosato: Países da UE não alcançam maioria para estender autorização ao uso.** Publicado em 13/10/2023. Disponível em: <<https://exame.com/agro/glifosato-paises-da-ue-nao-alcancam-maioria-para-estender-autorizacao-ao-uso>>. Acesso em: 15 jun. 2023.

FLORENCE, Alexander Taylor. **Princípios Físico-Químicos em Farmácia Vol. 4.** São Paulo: Edusp, 2003.

FRANÇA, Aurimar Barcelos. Desafios para a indústria brasileira de alimentos: Legislação sobre segurança de alimentos. **Revista Conecta**, v. 5, n. 1, p. 112-137, 2022.

FRANCO, Caroline da Rocha; PELAEZ, Victor. A (des) construção da agenda política de controle dos agrotóxicos no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 2, p. 213-230, 2016.

FRIEDRICH, Karen *et al.* Agrotóxicos: mais venenos em tempos de retrocessos de

direitos. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 12, n. 2, p. 326-47, 2018.

GOMES, Nidisley; MALLET, Aline Cristina Teixeira; MARTINS, Adriana Lau da Silva. Glifosato no alimento. **Episteme Transversalis**, v. 11, n. 3, p. 82-99, 2020.

GONZÁLEZ-MÁRQUEZ, Luis Carlos *et al.* Atrazina: un herbicida polémico. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, v. 29, p. 65-84, 2013.

GURGEL, Aline do Monte. **Os efeitos neurotóxicos dos agrotóxicos organofosforados e o sistema de regulação estatal: da dúvida científica à ocultação de perigo para a saúde humana**. 2017. 228 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Instituto Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2017.

LARIUCCI, Carlito; NAPOLITANO, Hamilton B.; CUNHA, Silvio. Inovação Tecnológica e Polimorfismo de Fármacos. **Revista Processos Químicos**, v. 2, n. 3, p. 59-65, 2008.

LEFF, Enrique. Environmental knowledge and Education. **Dimensions of Sustainability**. Conference in the Congress Challenges of Sustainable Development, at Amsterdam, Netherlands, August 1996. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/295009798\\_Environmental\\_Knowledge\\_and\\_Education](https://www.researchgate.net/publication/295009798_Environmental_Knowledge_and_Education)>. Acesso em: 15 jun. 2023.

LIMA, Fernanda Oliveira. Exposição a agrotóxicos e radiação UV como fatores de risco ao trabalhador rural. **Revista Contexto & Saúde**, v. 13, n. 24-25, p. 37-45, 2013.

LOPES, Carla Vanessa Alves; ALBUQUERQUE, Guilherme Souza Cavalcanti de. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em debate**, v. 42, p. 518-534, 2018.

MAIA, Juliana C., & DE ANDRADE FRANCO, J. L. (2021). De naturalista a militante: a trajetória de Rachel Carson. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 56, p. 1-21, jan./jun. 2021.

MANY, L.; BARRIUSO, E. Glyphosate adsorption in soil compared to herbicides replaced with the introduction of glyphosate resistant crops. **Chemosphere**, Oxford, v. 61, n. 6, p. 844-855, 2005.

MELO, Marcel Sereguin Cabral *et al.* Alternativas de controle químico do capim-amargoso resistente ao glyphosate, com herbicidas registrados para as culturas de milho e algodão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 3, p. 206-215, 2017.

MENEZES, Sabrina Mecca de *et al.* Detecção de soja geneticamente modificada tolerante ao glifosato por métodos baseados na atividade de enzimas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, p. 150-155, 2004.

MIGUEL, Elizangela da Silva *et al.* Histórico do monitoramento e resultados de pesquisas derivadas do Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA): uma Revisão Integrativa. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, p. e441111033096-e441111033096, 2022.

- MORAES, Pedro Valério Dutra de; ROSSI, Patrícia. Comportamento ambiental do glifosato. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 9, n. 3, 2010.
- NODARI, Rubens Onofre; HESS, Sonia Corina. Campeão de vendas, cientificamente o Glifosato é um agrotóxico perigoso. **Extensio**: Revista Eletrônica de Extensão, v. 17, n. 35, p. 2-18, 2020.
- NOGUERA, Aldo *et al.* Desarrollo del evento transgénico de caña de azúcar TUC 87-3RG resistente a glifosato. **Revista industrial y agrícola de Tucumán**, v. 95, n. 2, p.1-13, 2018.
- PACÍFICO, Daniela A. **História da modernização da agricultura: um conto de muitas facetas**. Porto Alegre: UFRGS, p. 33-45, 2009.
- PASCHOAL, Adilson D. **Pragas, agrotóxicos e a crise ambiente: problemas e soluções**. São Paulo: Expressão Popular, 2019.
- PELAEZ, Victor Manoel *et al.* A (des) coordenação de políticas para a indústria de agrotóxicos no Brasil. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 14, p. 153-178, 2015.
- PIASSETTA, Roberto de Resende Lisboa *et al.* Legislação restritiva referente ao uso de agrotóxicos em municípios do Estado do Paraná. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 6, n. 1, p. 75-83, 2021.
- PIMENTEL, Guilherme Vieira *et al.* Seletividade de herbicidas na cultura do sorgo forrageiro. **Revista Inova Ciência & Tecnologia/Innovative Science & Technology Journal**, p. e0221218-e0221218, 2022.
- POL, Jeferson Jeldoci; HUPFFER, Haide Maria; FIGUEIREDO, João Alcione Sganderla. Os riscos do agrotóxico glifosato: controvérsia científica ou negação do dano à saúde humana. **Revista Opinião Jurídica (Fortaleza)**, v. 19, n. 32, p. 267-295, 2021.
- PRIEUR, Michel *et al.* **Constitucionalismo ambiental e sustentabilidade** [recurso eletrônico]. Itajaí: UNIVALI, 2015. Disponível em: <<http://www.univali.br/ppcj/ebook>>. Acesso em: 15 jul. 2023.
- RELYEA, R. A. The lethal impact of Roundup on aquatic and terrestrial amphibians. **Ecological Applications**, Ithaca, v. 15, n. 4, p. 1118-1124, 2005.
- RIBAS, Priscila Pauly; MATSUMURA, Aida Terezinha Santos. A química dos agrotóxicos: impacto sobre a saúde e meio ambiente. **Revista Liberato**, v. 10, n. 14, p. 149-158, 2009.
- RIBEIRO, Milton Cosme *et al.* Avaliação e monitoramento dos níveis de contaminação por resíduos de agrotóxicos em alimentos de origem vegetal comercializados no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e44610212802-e44610212802, 2021.
- RIBEIRO, Milton Cosme *et al.* Tecnologias de rastreabilidade, segurança e controle de resíduos de agrotóxicos na cadeia produtiva de alimentos de origem vegetal: um estudo de revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p.

e5291210780-e5291210780, 2020.

RIZZARDI, Marco Antônio. **Manejo Químico: atrazina**. 2018. Disponível em: <<https://upherb.com.br/int/atrazina>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

ROCHA, Kássia Rodrigues; MARCA, Vinicius; ABUD, Lidianne Lemes Silva. Utilização de Atrazina e Imazetapir no controle de infestação do Capim Capeta (*Sporobolus indicus*) em Ruziziensis (*Brachiaria ruziziensis*). **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 7, 2022.

SERRA, Letícia Silva *et al.* Revolução Verde: reflexões acerca da questão dos agrotóxicos. **Revista Científica do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB**, v. 1, n. 4, p. 2-25, 2016.

SILVA, Gilson da; IHA, Koshun. Polimorfismo: caracterização e estudo das propriedades de uma fase cristalina. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 2, p. 331-338, 2010.

SILVA, ILCA P. DE FE *et al.* Herbicidas inibidores do fotossistema II – parte I. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 7, n. 1, p. 1-11, 2013.

SOLANO, Marize de Lourdes Marzo. Pollution of Water and Food by Hormonally Active Pesticides and Drugs (Human and Veterinary): Focus on Emerging Countries: Emerging Contaminants with Endocrine Disruption Potential in Brazil. **Challenges in Endocrine Disruptor Toxicology and Risk Assessment**, 2020, p. 304-329.

SOUZA, Larissa Camapum de. Análise da legislação sobre agrotóxicos no Brasil: regulação ou desregulação do controle do uso? **Revista Jurídica da Escola Superior do Ministério Público de São Paulo**, v. 11, n. 1, 2017.

SPADOTTO, Claudio Aparecido. Abordagem interdisciplinar na avaliação ambiental de agrotóxicos. **Revista Núcleo de Pesquisa Interdisciplinar**, v. 3, n.7, 2008.

TEIXEIRA, Denise E.; PAULA, Renata Layse G.; NAPOLITANO, Hamilton B. Legislação e Normatização para o Glifosato no Brasil. **Revista Processos Químicos**, v. 13, n. 25, p. 105-116, 2019.

TEODORO, Marina; CUSTODIO, Jean MF; NAPOLITANO, Hamilton B. Polimorfismo Químico: Panorama Legislativo e Aplicação Farmacêutica. **Revista Processos Químicos**, v. 12, n. 23, p. 175-179, 2018.

UNISINOS. Instituto Humanitas. **Tchau Glifosato. Áustria é o primeiro país da União Europeia a proibi-lo**. Publicado em 18/07/2019. Disponível em: <<https://www.ihu.unisinos.br/590719>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

VASCONCELLOS, Paula Renata Olegini *et al.* Exposição a agrotóxicos na agricultura e doença de Parkinson em usuários de um serviço público de saúde do Paraná, Brasil. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 28, p. 567-578, 2020.

VASCONCELOS, Yuri. Agrotóxicos na berlinda. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, ano 2, v. 19, 2018.

VAZ, Paulo Afonso Brum. Crimes de agrotóxicos. **Revista de Doutrina da 4ª Região**, v. 8, n.5, p. 45-54, 2005.

VEIGA, Marcelo Motta. Agrotóxicos: eficiência econômica e injustiça socioambiental. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 145-152, 2007.

VICENTE, Eliane C.; GUEDES, Neiva MR. Organophosphate poisoning of Hyacinth Macaws in the Southern Pantanal, Brazil. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 5602, 2021.

VOLLMER, Lara Cristina; TONDATO, Marcia Perencin. Veneno ou defensivo? Uma análise do discurso acerca do Projeto de Lei que visa à mudança na regulamentação do uso de agrotóxicos no Brasil. **Comunicação & Inovação**, v. 21, n. 45, 2020.

WRIGHT, Angus Lindsay. **The death of Ramón González**: the modern agricultural dilemma. [E-book]. Rev. ed. ISBN 978-0-292-74744-9. 2005.

YERENA, Clara Elena *et al.* Influencia del polimorfismo del CYP2E1 sobre el riesgo de intoxicación aguda por exposición a plaguicidas. **Bioquímica**, v. 30, n. 3, p. 68-75, 2005.