

Ministério da Saúde

FIOCRUZ

Fundação Oswaldo Cruz



ESCOLA POLITÉCNICA DE SAÚDE
JOAQUIM VENÂNCIO

Emily de Almeida da Vitoria

GLIFOSATO: MECANISMO DE AÇÃO E EFEITOS NA SAÚDE HUMANA –
UMA ABORDAGEM VISUAL

Rio de Janeiro

2024

Emily de Almeida da Vitoria

GLIFOSATO: MECANISMO DE AÇÃO E EFEITOS NA SAÚDE HUMANA –
UMA ABORDAGEM VISUAL

Monografia apresentada à Escola Politécnica de
Saúde Joaquim Venâncio – Fundação Oswaldo Cruz
(EPSJV-Fiocruz) como requisito parcial para
aprovação no Curso Técnico em Biotecnologia.

Orientador(a): Tiago Savignon Cardoso Machado

Co-orientador(a): Simone Sacramento Valverde

Rio de Janeiro

2024

Emily de Almeida da Vitoria

GLIFOSATO: MECANISMO DE AÇÃO E EFEITOS NA SAÚDE HUMANA –
UMA ABORDAGEM VISUAL

Monografia apresentada à Escola Politécnica de
Saúde Joaquim Venâncio – Fundação Oswaldo Cruz
(EPSJV-Fiocruz) como requisito parcial para
aprovação no Curso Técnico em Biotecnologia.

Apresentado em ___/___/____.

BANCA EXAMINADORA

Tiago Savignon Cardoso Machado
EPSJV/FIOCRUZ

Daniel Santos Souza
EPSJV/FIOCRUZ

Flavio Henrique Marcolino da Paixão
EPSJV/FIOCRUZ

Jeide Galeano
UniTolima/Colômbia

Rio de Janeiro

2024

Dedico esse trabalho a Deus

AGRADECIMENTOS

Como expressar gratidão ao Criador de todos os meus demais agradecimentos? Ao Autor e Consumador da minha fé, não somente dedico este trabalho, mas também todos os demais agradecimentos, pois sem Ele nada seria possível. Graças Vos dou, Senhor!

Por uma mãe maravilhosa, que está ao meu lado em qualquer situação, me apoiando e repreendendo quando necessário, uma verdadeira mulher de Deus. Por um pai amoroso, que se esforça para me dar suporte e me incentiva a seguir os meus sonhos. Por uma irmã companheira, que, mesmo sendo tão diferente de mim, é minha primeira e melhor amiga. Por uma avó de oração, que, com seu amor, "chazinho" e xarope caseiro, me ajuda quando estou cansada. Por tios incríveis que estão sempre presentes e me ajudam de todas as formas possíveis: Tia Michele, Tia Tatiana, Tio Adriano e, que descanse em paz, Tio Jacob. Por obreiros amigos, que estão ao meu lado, oferecendo apoio espiritual e boas "figurinhas".

Pela oportunidade de ingressar na Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio – Fundação Oswaldo Cruz (EPSJV-Fiocruz), que não apenas me deu apoio institucional, mas também proporcionou vivências incríveis e ajudou no meu desenvolvimento como pessoa. Por um orientador inspirador, que sempre ofereceu apoio, tornando a caminhada desse projeto mais leve e especial. Por uma orientadora admirável, que, em pouco tempo, teve uma grande influência na minha vida.

Por amigos que foram fundamentais nesses meus anos na Escola Politécnica: meu grupinho "hexa", formado por Sara Santeago, Lyene Albuquerque, Isis Brígida, Maria E. Mendes e Isabelly Regina, que estiveram comigo desde o início da minha jornada, mostrando que amizade de verdade é consideração, união e confiança; Laiza Motta e Guilherme Barbosa, que estiveram comigo neste trajeto final, ensinando o significado de confidencialidade, apoio e boas risadas em meio às dificuldades; Chico Lucas por todo o apoio com a produção da animação, aguentando todas as "perturbações" e minhas "viagens".

E por fim, agradeço ao Senhor, por todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram não apenas para a realização deste trabalho, mas também para o meu desenvolvimento como pessoa. Afinal, o fim é mais enriquecedor que o início, pois reúne a satisfação das experiências vividas e abre caminho para diversas possibilidades que o futuro reserva.

*“Melhor é o fim das coisas do
que o princípio delas.”*

Eclesiastes 7:8

RESUMO

O glifosato é o herbicida mais utilizado no mundo, amplamente empregado na agricultura por sua eficácia no controle de plantas daninhas. Apesar de ser classificado por empresas e órgãos reguladores como de baixa toxicidade, estudos relatam efeitos tóxicos agudos e crônicos, além de casos recorrentes de contaminação entre trabalhadores e comunidades próximas às lavouras. Esta monografia teve como objetivo revisar a literatura científica sobre o glifosato, abordando seu mecanismo de ação, seus impactos na saúde humana, tanto na dimensão biológica quanto na social, e sua relação com o uso de organismos geneticamente modificados. A pesquisa também se propôs a desenvolver materiais audiovisuais de divulgação científica, em formato de animação, com a finalidade de tornar o conhecimento acessível à população. A metodologia envolveu revisão bibliográfica e uso do software ChemMapper®, que indicou alta similaridade molecular entre o Glifosato e o glutamato, sugerindo possíveis efeitos neurotóxicos. Identificou-se ainda uma expressiva desigualdade na produção científica em português, frente ao volume de publicações em inglês. Os vídeos educativos serão disponibilizados no canal oficial do Youtube da EPSJV, contribuindo para promover a alfabetização científica e fomentar o debate público sobre os impactos dos agrotóxicos.

Palavras-chave: Glifosato, agrotóxico e divulgação científica

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fórmula molecular do glifosatofosato	16
Figura 2: Mecanismo de ação do glifosato	18
Figura 3: Estruturas moleculares.....	19
Figura 4: Compostos aromáticos - estruturas.....	20
Figura 5: Ilustração do processo de transgênico.....	23
Figura 6: Expansão da cultura de soja no Brasil – por microrregiões brasileiras	24
Figura 7: Categorias de estudos utilizando o glifosato no Brasil (%).	25
Figura 8: Amazônia Legal brasileira – agrotóxicos e desmatamento	26
Figura 9: Amazônia Jurídica brasileira – desmatamentos municípios 	26
Figura 11: Limite máximo de resíduos da União Europeia e do Brasil - LMR/Glifosato (mg/kg)	29
Figura 10: A União Europeia e o Brasil limite máximo de resíduos – LMR/água potável (mg/kg).....	29
Figura 12: O mapa do Brasil - pessoas envenenadas por agrotóxicos por estados 2010 - 2019	31
Figura 13: O mapa do Brasil - pessoas mortas por envenenamento por agrotóxico por estados 2010-2019	31
Figura 14: O mapa do Brasil - envenenamento da população indígena por agrotóxicos por estados 2010 - 2019	33
.....	33
Figura 15: Mapeamento molecular do glifosato	40
Figura 16: Mapeamento Molecular do Glifosato: Filtragem para Espécie Humana e Glutamato	41
Figura 17: Vinheta das animações	46
Figura 18, 19, 20 e 21: Imagens do vídeo 1	49
Figura 22, 23, 24 25, 26 e 27: Imagens do vídeo 2.....	52
Figura 28, 29, 30, 31 e 32: Imagens do vídeo 3	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Levantamento de artigos com o termo “Glyphosate”	42
Tabela 2: Levantamento de artigos com o termo “Glifosato”	43
Tabela 3: 1 cap. “O mecanismo de ação do Glifosato”	47
Tabela 4: 2 cap “As plantas transgênicas”	50
Tabela 5: 3 cap. “Impactos do herbicida Glifosato”	53

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

ABRASCO - Associação Brasileira de Saúde Coletiva

AMPA - ácido aminometilfosfônico

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

EPI – Equipamento de Proteção Individual

EPSPs – Enolpurvilchiquimato-3-fosfato sintase

EU – União Europeia

EUA – Estados Unidos

GBH – Herbicida a Base de Glifosato

IARC - Agência Internacional de Pesquisa em Câncer

IDA - Ingestão Diária Aceitável

LMR - Limite Máximo de Resíduos

LS50 - Dose Letal Mediana

MDD – Material Didático Digital

MERCOSUL - Mercado Comum do Sul

OGM – Organismo Geneticamente Modificado

OMS - Organização Mundial de Saúde

PEP – Fosfoenolpiruvato

POETA - Haloamina Polietoxilada

S3P – Chiquimato-3-fosfato

SINAN - Sistema de Informações de Agravos de Notificação

SUS – Sistema Única Saúde

® - Marca registrada

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1.	OBJETIVOS.....	14
1.1.1.	Objetivo Geral	14
1.1.2.	Objetivos Específicos.....	14
2	METODOLOGIA.....	15
3	CARACTERÍSTICAS, MECANISMO DE AÇÃO E IMPACTOS DO HERBICIDA GLIFOSATO	16
3.1.	PLANTAS TRANSGÊNICAS.....	21
4.	EFEITOS TÓXICOS DO GLIFOSATO À POPULAÇÃO HUMANA	25
4.1.	EFEITOS TÓXICOS DO GLIFOSATO À POPULAÇÃO EM GERAL	27
4.2.	EFEITOS TÓXICOS DO GLIFOSATO EM TRABALHADORES – TOXICIDADE OCUPACIONAL.....	32
5.	A DISSEMINAÇÃO CIENTÍFICA	36
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
	REFERÊNCIAS.....	59
	ANEXO.....	63

1. INTRODUÇÃO

O glifosato (N-fosfonometilglifosato) é uma molécula introduzida como herbicida em 1974, sob o nome comercial Roundup®, pela multinacional Monsanto Company, nos EUA, atualmente pertencente à Bayer. Com um amplo espectro de ação, é um herbicida não seletivo, altamente eficaz para eliminar plantas que possam interferir no desenvolvimento da vegetação desejada. Seu mecanismo de ação baseia-se na inibição da enzima 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), essencial para uma etapa crítica na formação de compostos aromáticos, como os aminoácidos triptofano, tirosina e fenilalanina, fundamentais para a formação de proteínas e o desenvolvimento das plantas. Ao se ligar a essa enzima, o Glifosato inibe sua função, levando à morte da planta (Rawat *et al.*, 2023).

Iniciada na década de 1960, a revolução verde trouxe um novo modelo de tecnologia de produção agrícola, que resultou no desenvolvimento de novas iniciativas de produção de insumos voltados à agricultura, prometendo aumentar fornecimento de alimento, que possibilitaria a erradicação da fome. A Revolução Verde caracterizou a agricultura moderna, trazendo mudanças na produção agropecuária com fertilizantes, irrigação, mecanização e defensivos agrícolas. Na década de 1970 houve uma intensificação da ocupação territorial e a utilização de pesticidas (Albergoni, Pelaez, 2007; Campagnolla, Macêdo, 2022).

Contudo, a produtividade desse método mostrou limitação a partir da década de 1980, pois além da queda no desenvolvimento de novas tecnologias e o crescimento simultâneo dos gastos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), houve a constatação dos impactos ambientais provenientes do uso intensivo desses insumos, principalmente os agrotóxicos (Albergoni; Pelaez, 2007).

Com o crescimento dos danos ambientais, o engenheiro agrônomo Adilson Paschoal, em 1977, criou o termo "agrotóxico", afirmando que chamar algo que pode prejudicar a situação da agricultura de defensivos, é incorreto, principalmente quando consideramos a natureza e o equilíbrio da biosfera (Carvalho, Nodari; Nodari, 2017). Assim, os agrotóxicos são definidos como quaisquer substâncias ou suas respectivas misturas, utilizadas para prevenir, inibir ou expulsar, de forma direta ou indireta, agentes patogênicos, de vida animal ou vegetal, que prejudicam as plantas. Esse termo evidencia sua respectiva toxicidade para o meio ambiente e à saúde humana (Wachekowski *et al.*, 2021).

Portanto, neste trabalho nos referiremos a esses produtos químicos como agrotóxicos, a

despeito dos termos encontrados nos materiais de referência consultados e utilizados, como herbicidas, defensivos agrícolas, produtos químicos etc.

Com o intuito de superar os limites encontrados, a exploração comercial da biotecnologia, baseada no manuseio da engenharia genética, possibilitou o desenvolvimento de organismos geneticamente modificados (OGM), trazendo uma substituição para determinados agrotóxicos e/ou aumentando resistência ao seu uso, sendo a das principais referências da chamada “segunda” revolução verde (Albergoni; Pelaez, 2007; Vieites, 2010).

Nesse contexto, o Glifosato teve grande impacto na agricultura após a implementação de plantas transgênicas, geneticamente modificadas para se tornarem resistentes ao agrotóxico. Isso permitiu que fosse amplamente utilizado, eliminando as plantas que não possuem interesse comercial enquanto preservava as plantas cultivadas. Ganhando popularidade com as culturas resistentes, o Glifosato tornou-se atualmente o agrotóxico mais amplamente utilizado no mundo (Monquero, 2005).

Apesar de sua eficácia, sua toxicidade é um ponto de preocupação. Segundo Carneiro (2015) a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) regulamenta o uso de todos os agrotóxicos, incluindo aqueles à base de Glifosato. Embora os seres humanos não possuam a enzima alvo do Glifosato, no Brasil, o Ministério da Saúde notificou 6.408 casos de intoxicação aguda relacionados ao Glifosato entre 2007 e 2016, conforme registrado no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (Sinan), indicando um crescimento gradativo dessas intoxicações durante o período.

Em 2011, o Glifosato representou 40% dos agrotóxicos consumidos no Brasil (Carneiro, 2015). Devido ao seu amplo uso, muitas pesquisas têm sido realizadas para avaliar sua toxicidade e determinar a necessidade de restrições ou a continuidade de seu uso. Mesmo após as colheitas, resíduos de agrotóxicos podem persistir nos alimentos. Para minimizar os riscos, são estabelecidos limites máximos de resíduos (LMR) e parâmetros de ingestão diária aceitável (IDA)¹, designados no Brasil pela ANVISA. Contudo, estudos ao longo dos anos têm evidenciado a presença de resíduos de Glifosato em alimentos (McQueen; Callan; Hinwood, 2012; Soares *et al.*, 2021).

O impacto a longo prazo do Glifosato continua sendo estudado, com diversas discussões acadêmicas sobre seus efeitos na saúde humana (Soares *et al.*, 2021). No entanto, sua toxicidade aguda já tem causado muitas vítimas ao redor do mundo, especialmente entre pessoas em áreas

¹O IDA é a quantidade máxima de uma substância que pode ser consumida diariamente, ao longo da vida, sem riscos à saúde

rurais, como trabalhadores agrícolas, moradores próximos a essas regiões e povos originários (Bombardi, 2021). A falta de entendimento sobre sua atuação pode gerar diversos problemas para indivíduos que não têm acesso ou condições de adquirir conhecimento sobre o Glifosato, desde agricultores até outros membros da sociedade (Sobreira; Adissi, 2003). Esse é um dos motivos pelos quais a divulgação científica é tão necessária, disseminando o conhecimento de forma acessível para que pessoas não especializadas compreendam o tema e tenham maior consciência de sua realidade (Branco *et al.*, 2018).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Realizar uma revisão bibliográfica sobre o Glifosato, abrangendo desde seu mecanismo de ação até os efeitos na saúde humana e produzir um material audiovisual de divulgação científica.

1.1.2. Objetivos Específicos

- 1) Descrever as características do Glifosato, incluindo seu mecanismo bioquímico de ação como herbicida e sua aplicação na agricultura.
- 2) Analisar os efeitos tóxicos sobre a população, tanto ocupacional quanto da população geral
- 3) Produzir três vídeos educativos/divulgação científica sobre o Glifosato, plantas transgênicas e os potenciais efeitos sobre a saúde

2 METODOLOGIA

A metodologia desta monografia possui abordagem qualitativa e fundamenta-se em levantamentos bibliográficos científicos, tendo como recorte temporal o período de 1974 (lançamento do glifosato como herbicida) a 2024, com foco no mecanismo de ação e efeitos na saúde humana. Nessa perspectiva, foram realizadas pesquisas em dissertações, teses e, principalmente, artigos científicos disponíveis em bases de dados como Scielo® e PubMed®, o portal de acesso Periódicos Capes, entre outros. Também foram consultados documentos como o *Dossiê Abrasco: Um Alerta Sobre os Impactos dos Agrotóxicos na Saúde* e o livro *Agrotóxicos no Brasil: Um Guia para Ação em Defesa da Vida*. Para as buscas, os descritores utilizados foram: Glifosato, “glyphosate”, impacto do uso de agrotóxicos e divulgação científica.

Foi elaborado um material educativo de divulgação científica em formato de vídeo animado, para disseminar o conhecimento adquirido nessa pesquisa para a população, em especial os jovens. Será produzido uma série de animações com três vídeos curtos, com o título “Do TCC para você”, apresentando respectivamente os seguintes temas:

1º Vídeo: Mecanismo de ação do herbicida Glifosato

2º Vídeo: Plantas transgênicas

3º Vídeo: Impactos do herbicida Glifosato

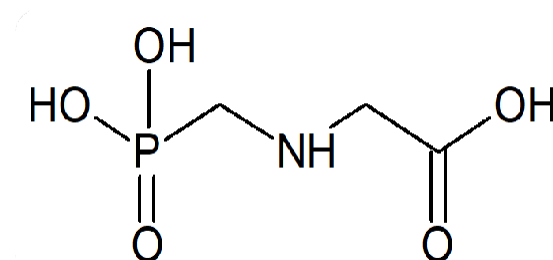
A produção e edição do vídeo foi realizada no Núcleo de Tecnologia Educacional em Saúde (NUTED) da Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio (EPSJV), setor interdisciplinar de pesquisa, ensino e produção tecnológica, que, além de suas contribuições em diversas áreas da educação profissional em saúde, auxilia e estimula a produção dos alunos nos processos educativos da escola em formatos audiovisuais.

A produção e edição da animação é feita no *software* Adobe After Effects®, um software de animação padrão do setor. Para a obtenção de imagens, está sendo utilizada a plataforma *online* Freepik®, enquanto para os efeitos sonoros e músicas, é utilizado o portal *web* Pixabay®. Ambas oferecem recursos ideais para a produção de conteúdos audiovisuais, com diversos materiais gratuitos disponíveis.

3 CARACTERÍSTICAS, MECANISMO DE AÇÃO E IMPACTOS DO HERBICIDA GLIFOSATO

O Glifosato (Glifosato) (N-fosfometil glifosatocina) é atualmente o agrotóxico mais utilizado no mundo, possuindo um amplo espectro de ação, não-seletividade e grande eficácia herbicida. Surgiu na agricultura em 1974 através do nome “Roundup®”, patenteado pela empresa multinacional Monsanto Company, EUA, que atualmente pertence a empresa Bayer. Contudo ganhou fama na agricultura depois das culturas resistentes ao produto químico (De Castilhos Ghisi *et al.*, 2020; Rawat, D. *et al.* 2023). Há três tipos de Glifosato já desenvolvidos: Glifosato-isopropilamônio, Glifosato-sesquisódio (patenteados por Monsanto e vendido como Roundup®), e Glifosato-trimesium (patenteado por ICI, atual Syngenta) (Amarante Junior *et al.*, 2002). O Glifosato possui como fórmula molecular $C_3H_8NO_5P$ (m.m = 169,1 g/mol) (a figura 1). Sob condições naturais o Glifosato e seus sais são sólidos cristalinos, altamente hidrossolúveis (12 g/L a 25°C) e uma mínima solubilidade em solventes orgânicos, como etanol e acetona (Carvalho, 2019).

Figura 1: Fórmula molecular do glifosatofosato



Fonte: feito no ChemDraw®

O Glifosato atinge o ponto de fusão a 200 °C, tem a densidade aparente de 0,5 g/cm³ e exibe considerável estabilidade na presença de luz e em temperaturas maiores de 60 °C (Junior, 2002). Em água, o Glifosato porta-se como um ácido fraco, com ionização parcial e quatro resultados de pKa, dois possuem grande valor prático: 2,6 e 5,6 (Carvalho, 2019). Ao ser pulverizado, o Glifosato é absorvido nas regiões clorofiladas, tecidos verdes como as folhas, e através do floema transportado por toda a planta inibindo seu metabolismo, com isso a erva morre por ação sistêmica (Limberger, 2019).

Os seres vivos executam as chamadas atividades metabólicas, que é a condição de fazer um conjunto de reações químicas. Os vegetais praticam essas reações, onde as reações químicas para a

produção de moléculas orgânicas são catalisadas por enzimas regularmente gerando energia para o organismo, preservando a homeostase celular. As células vegetais apresentam dois tipos de metabolismo: o primário e o secundário. O metabolismo primário produz metabolitos indispensáveis para a vida celular, com baixa atividade biológica, sendo regular no vegetal, participantes da fotossíntese, no processo de respiração e do transporte de solutos (Menezes, 2020). Já os metabolitos secundários, segundo Garcia (2018), são compostos ecologicamente eficazes enquanto os metabolitos primários são fisiologicamente eficazes. Apresentam estrutura complexa, baixas concentrações, baixo peso molecular, alta atividade biológica e contribuem para a diferenciação de espécies, estando presentes de maneira específica nos organismos.

As vias biossintéticas dos metabólitos secundários são diferentes das utilizadas para os metabolitos primários, sendo a obtenção a partir do metabolismo da glifosatocose, por via de dois intermediários principais: o ácido chiquímico e o acetato. Estando associados à evolução das espécies, os produtos secundários exercem um papel fundamental para a adaptação dos vegetais aos seus ambientes e determinando a capacidade de cada espécie vegetal sobreviver, para que assim tenham uma interação eficaz com os diferentes ecossistemas. Há diversas atividades desses metabolitos secundários atuando defesa das plantas através de atividades neurotóxicas, como agentes atrativos para polinizadores (aroma, sabor, cor), como participantes de atividades antigerminativas ou tóxicas para outras plantas, entre outras atuações (Menezes, 2020; Starcevic *et al.*, 2008).

O mecanismo de ação herbicida Glifosato baseia-se na inibição da 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), uma enzima presente em uma das etapas fundamentais da chamada via do ácido chiquímico, ou seja, no processo de formação de compostos aromáticos (Figuras 2 e 3). A enzima EPSPs é responsável por conectar o shiquimato-3-fosfato (S3P) ao fosfoenolpiruvato (PEP). Com o decorrer do processo, o anel do chiquimato se tornará em anel aromático na tirosina, e o PEP se modificará no esqueleto de carbono constante de aminoácidos da molécula (Figura 4). O Glifosato possui uma estrutura molecular parecida com a do PEP, com isso consegue se ligar a EPSPs inibindo sua reação e matando a planta, pela incapacidade de produzir os três aminoácidos com cadeias laterais aromáticas (Roman *et al.*, 2007).

O Glifosato normalmente é pulverizado sobre as plantas e é absorvido através das folhas e caulículos novos. Transportado por toda a planta, o herbicida age inibindo o metabolismo de aminoácidos, matando a planta em dias ou semanas (Amarante Junior *et al.*, 2002). Porém, para a

Figura 2: Mecanismo de ação do glifosato

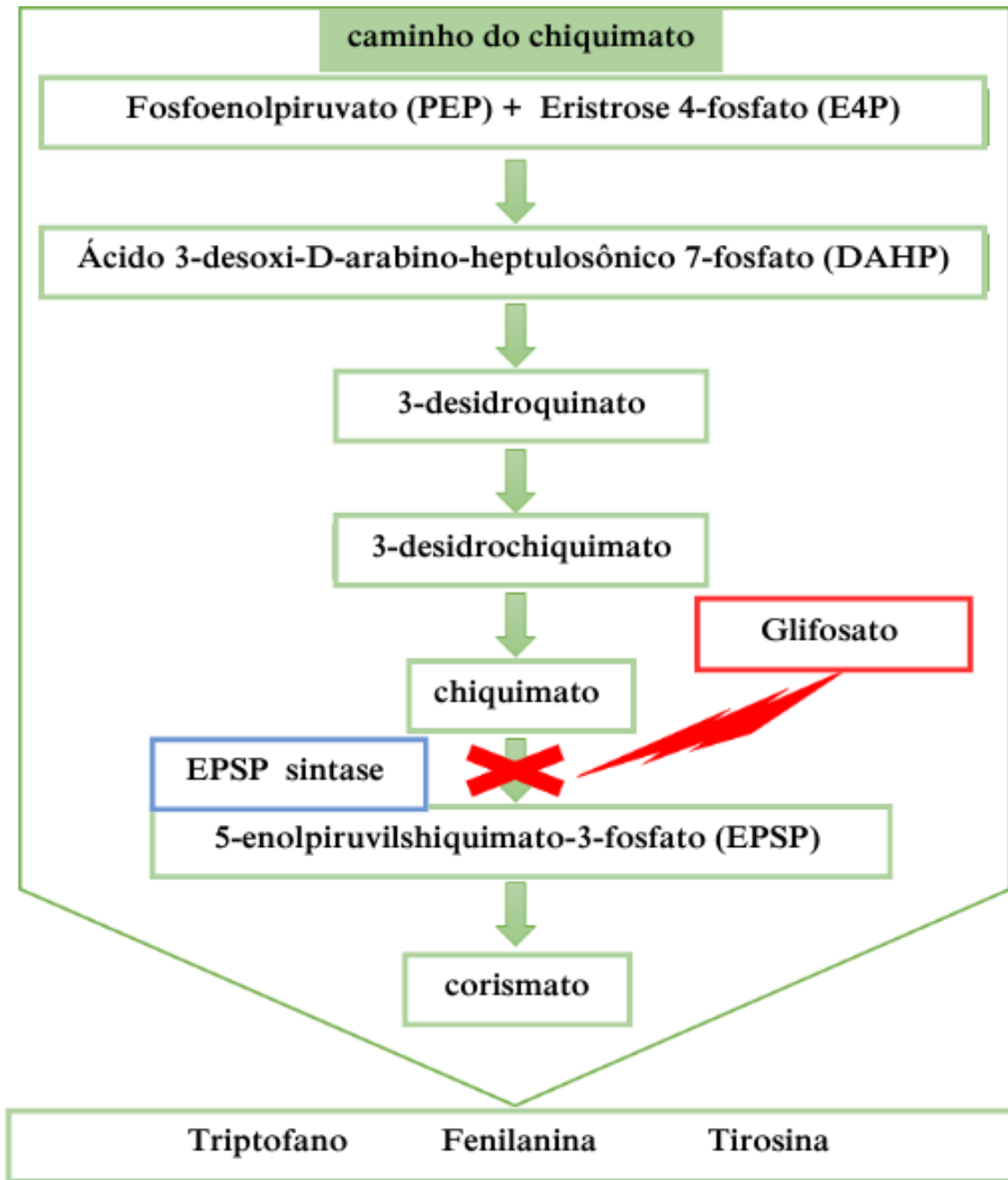


Figura 2: O glifosato inibe a EPSPs, uma enzima-chave na biossíntese de aminoácidos. Fonte: Traduzido de Garcia (2018).

agricultura não seria útil, pois conforme todas as plantas possuem essa enzima mataria todas as plantas, incluindo a cultivada.

Figura 3: Estruturas moleculares

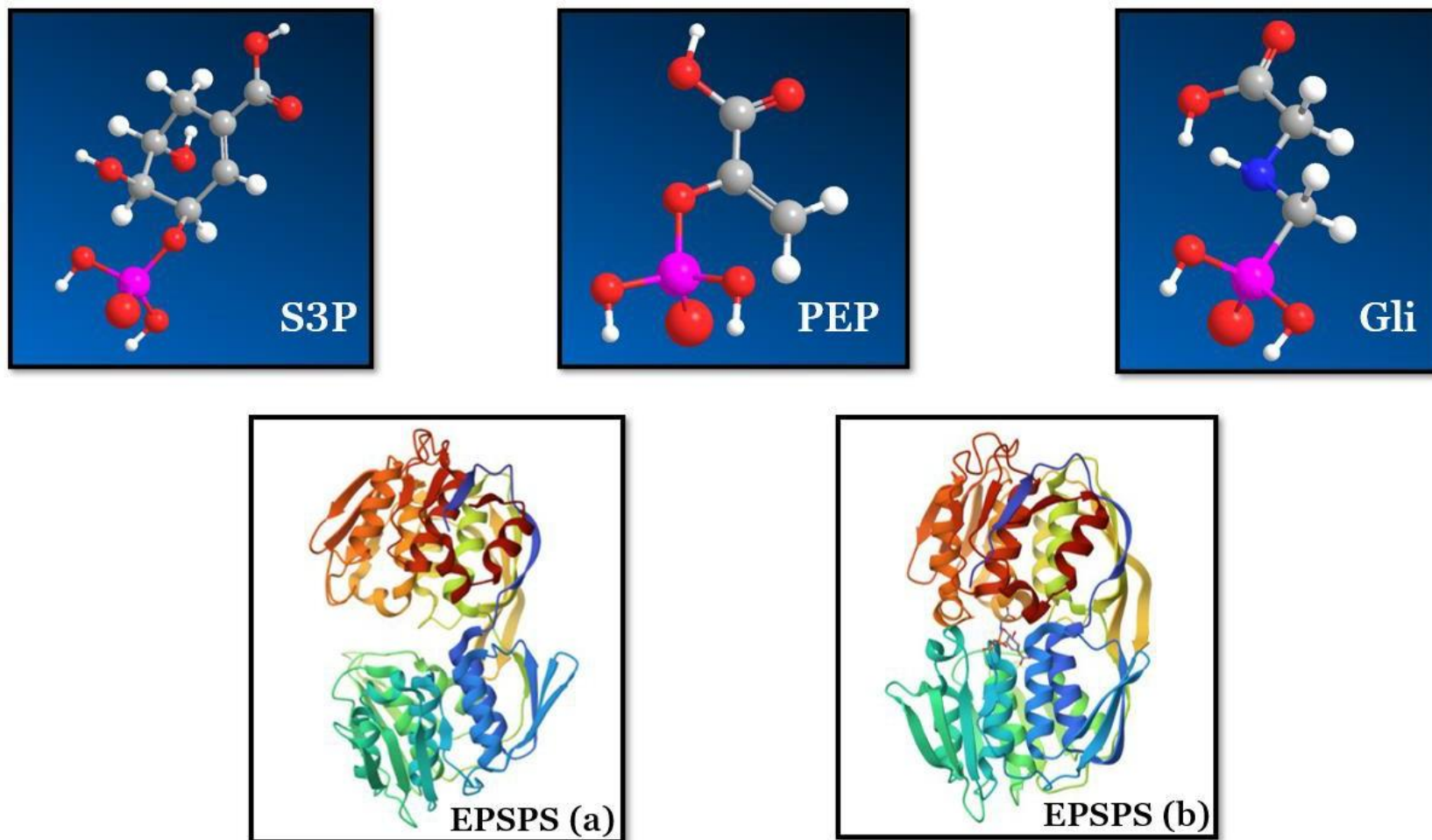


Figura 3: Estrutura da EPSPS e das moléculas. Acima estão as moléculas envolvidas na formação de compostos aromáticos, chiquimato-3-fosfato e fosfoenolpiruvato, e o Glifosato, elaboradas no ChemBioDraw®. Na parte inferior, estão as formas abertas (a) e fechadas (b) da enzima EPSPS, obtidas do RCSB Protein Data Bank. Fonte: <https://doi.org/10.2210/pdb2GG4/pdb>

Figura 4: Compostos aromáticos - estruturas

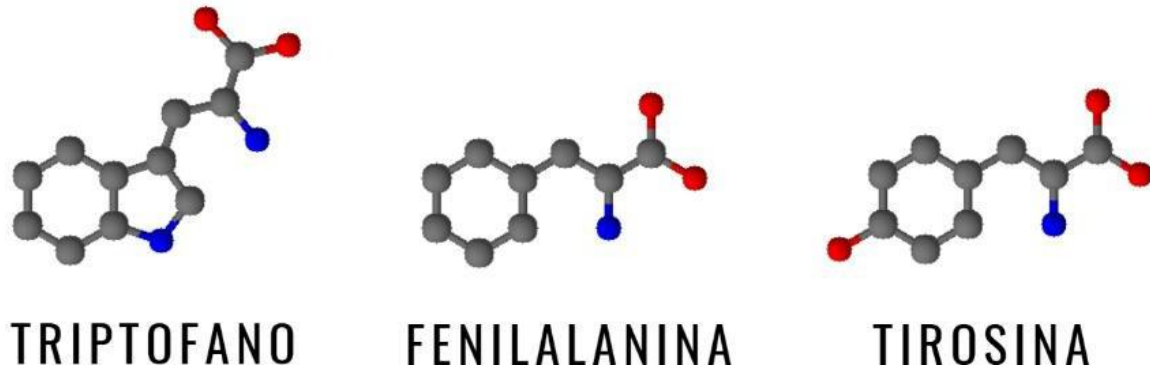


Figura 4: Principais compostos aromáticos produzidos pela via. Fonte: Essas estruturadas foram feitas no Chemscketch®.

Os herbicidas à base de Glifosato (GBHs) são produzidos com diversos adjuvantes, como por exemplo o surfactante haloamina polietoxilada (POETA) que auxilia na absorção e translocação do componente ativo nos vegetais. O Glifosato é recomendado para o manejo de plantas invasoras, em culturas perenes ou anuais, monocotiledôneas ou dicotiledôneas, em plantações de arroz irrigado, café, milho, cana-de-açúcar, maçã, pastagens, soja (colheita direta ou indireta), citrus, uva, fumo e soqueira de cana-de-açúcar. Também é sugerido para cultivos de banana, pera, cacau, ameixa, seringueira, pêssigo e plantio direto de algodão, podendo ser aplicado para controlar plantas aquáticas (Junior, 2002). Geralmente, o Glifosato é comercializado em concentrações de 48% (m/v) e aplicadas em doses de 5 L/ha. Por mais que possua uma grande eficácia, o Glifosato deve ser aplicado em espécies em desenvolvimento, ou seja, o herbicida não tem ação sobre as sementes das plantas, somente no período de crescimento do vegetal, não estando sob estresse hídrico (solo seco) (Junior, 2002).

Para a degradação do Glifosato, o mesmo deve ser submetido à mineralização, imobilização ou lixiviação. Contudo a via de degradação predominante é a mineralização por microrganismos de solo e água, sendo, dentro desta via, pela formação do intermediário sarcosina ou pela formação do ácido aminometilfosfônico (AMPA; $\text{CH}_6\text{NO}_3\text{P}$). A via que forma o intermediário sarcosina se decompõe facilmente, porém não possui fácil identificação no solo, ao contrário da formação do AMPA que é o elemento predominante resultante da decomposição do Glifosato e possui maior dificuldade para se decompor, de modo que 70 % do Glifosato é convertido em AMPA (Limberger, 2019). A resistência no ambiente do Glifosato e seu metabólito, o AMPA, apresentam riscos

ambientais significativos. O Glifosato tem uma meia-vida² de até 197 dias, enquanto o AMPA de 958 dias, estando as propriedades do solo e das condições ecológicas favoráveis (Limberger, 2019).

O Glifosato passou a ser utilizado como princípio ativo de herbicida pelas demais empresas nos anos 2000, quando a patente da Monsanto expirou, e esses herbicidas então se tornaram conhecidos como “mata-mato”. O Glifosato se tornou popular pela sua rápida absorção, baixo custo, eficiência em matar plantas daninhas³, difícil desenvolvimento de resistência à substância química e a sua ligação com o manejo de plantas modificadas geneticamente.

A manipulação global do composto químico é quinze vezes maior desde as culturas Roundup-Ready®, sendo em 1995 de 51 milhões de Kg para em 2014, 747 milhões de Kg. Ao mesmo tempo, para o uso não-agrícola o crescimento foi de 16 para 79 milhões de Kg. De modo semelhante, as vegetações geneticamente modificadas resistentes ao herbicida se ampliaram significativamente, atingindo 147,9 milhões de hectares em 2015, o que comparado a 1996, houve um crescimento de 200 vezes. No Brasil, a utilização de agrotóxicos é extensamente dedicada à produção agropecuária, com destaque para a conversão em agroenergia e commodities. O Brasil é líder mundial desde 2008 na manipulação de agrotóxicos, de tal forma que 20% da comercialização mundial é consumido pelo país e 72% desta quantia é destinada somente a três plantações (soja, milho e cana), sendo mais de 30 milhões de hectares exclusivamente para soja, utilizando metade da porção de agrotóxicos comercializados no solo brasileiro. Cerca de 96,5% da produção de soja feita com sementes transgênicas, resistentes ao Glifosato (Limberger, 2019).

3.1. PLANTAS TRANSGÊNICAS

A manipulação genética em plantas cultivadas é uma prática humana a anos, por meio de cruzamentos conduzidos, alterando por seleção a constituição genética de populações ou indivíduos, a fim de adquirir o melhoramento genético e plantas tradicionais (Monquero, 2005). Contudo alguns problemas podem surgir como incompatibilidade sexual, a redução de pool gênico, além do período adequado para a transferência de caracteres de interesse para os cultivares. A biologia molecular, associada a biotecnologia, busca esclarecer e compreender os mecanismos biológicos participantes na transmissão de propriedades de uma geração para outra. Com isso,

²A meia-vida é o tempo necessário para que a quantidade de uma substância seja reduzida pela metade em um organismo ou sistema.

³ Plantas que não apresentam interesse para esse sistema de cultivo.

recursos valiosos para essa introdução de caracteres a uma planta específica é a integração de técnicas de culturas de tecidos *in vitro*, biologia molecular e transferência exógena de genes, podendo ser de diferentes espécies de vegetais, animais ou microrganismos. O gene que possui a característica de interesse é localizado, isolado, caracterizado e introduzido, de modo regulado, em um genoma vegetal receptor, sem depender da fertilização (Monquero, 2005).

Um método comum para transferir genes para uma planta é a utilização de bactérias do solo, chamadas agrobactérias, que naturalmente transferem parte do seu material genético para as células vegetais, quando ocorre uma infecção. O gênero *Agrobacterium* possui microrganismos naturalmente encontrados no solo, aeróbicos e gram-negativos, estando subdividido em cinco espécies que se diferenciam pela patogenicidade e pelo modo de infecção. Uma delas é a *Agrobacterium tumefaciens* que infecta as células vegetais provocando a doença chamada de “galha da coroa”, em que se desenvolve um tumor no local da infecção. No processo, um plasmídeo Ti⁴ é transmitido da *A. tumefaciens* para a célula vegetal. Esse plasmídeo apresenta alto peso molecular e é o causador da doença (Monquero, 2005).

Foi introduzido, através deste método, nas plantas Roundup Ready® (RR), um gene que expressa a enzima EPSPs em uma forma insensível ao herbicida, presente na cepa CP4 de *Agrobacterium* sp. Tendo se integrado ao DNA da planta, a CP4 EPSP sintase, produto do gene, confere tolerância à cultura ao Glifosato (Funke *et al.*, 2006). A transferência de um gene da EPSP bacteriano, insensível ao Glifosato, em plantas de valor comercial, permitiu a utilização do Glifosato como herbicida, já que as plantas desejadas foram transformadas, e adquiriram resistência a esse composto, e as demais plantas, não resistentes, poderiam ser eliminadas após seu uso (Figura 5). As plantas que recebem o material genético de outra espécie são conhecidas como transgênicas (Monquero, PA, 2005). Como exemplo, a soja RR que possui resistência ao Glifosato, pela introdução do gene cp4 epsps 9 (AroA:CP4) que expressa a proteína EPSPS em uma quantidade capaz de conceder a característica de tolerância (Albrecht, 2014). A biotecnologia de cultivos transgênicos tolerantes ao herbicida Glifosato otimizou a produtividade agrícola mundialmente (Funke *et al.*, 2006).

⁴ O plasmídeo Ti é um uma molécula circular de DNA que se replica independentemente do DNA cromossômico e que pode ser usado por bactérias para transferir material genético para plantas.

Figura 5: Ilustração do processo de transgênico

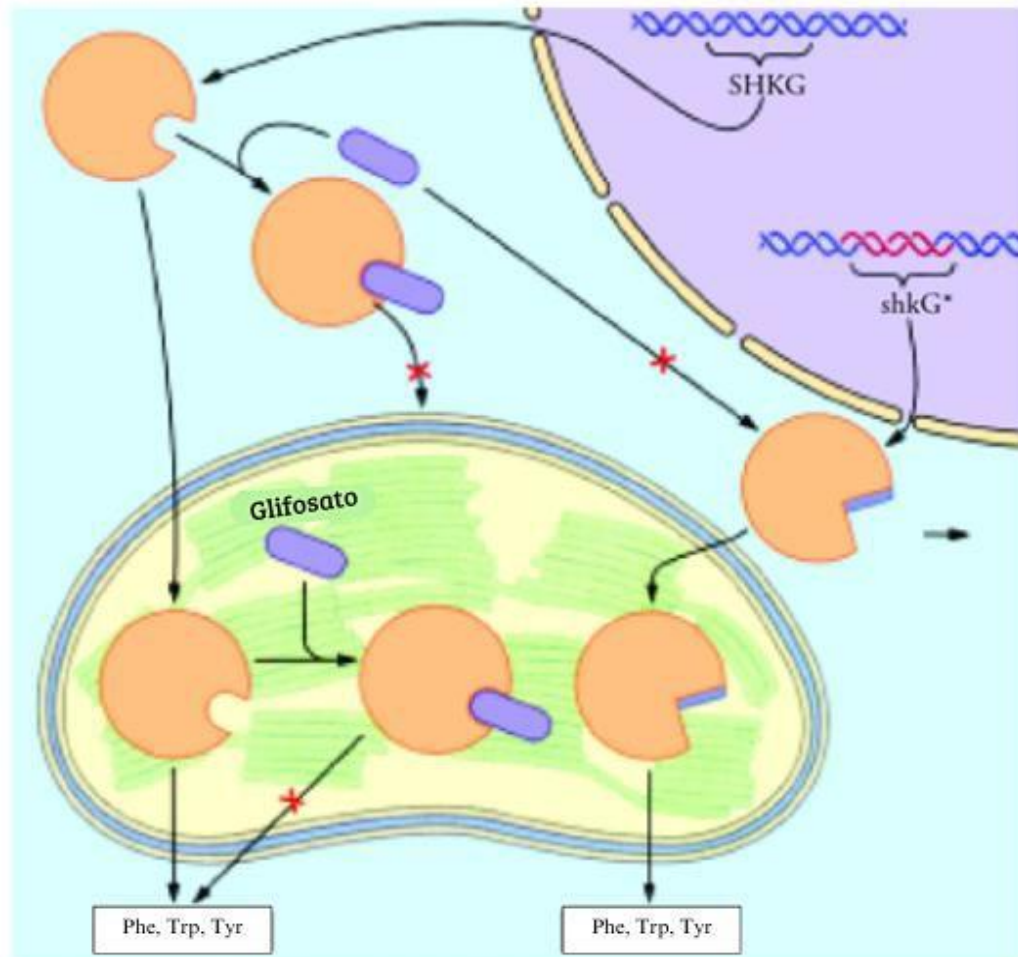
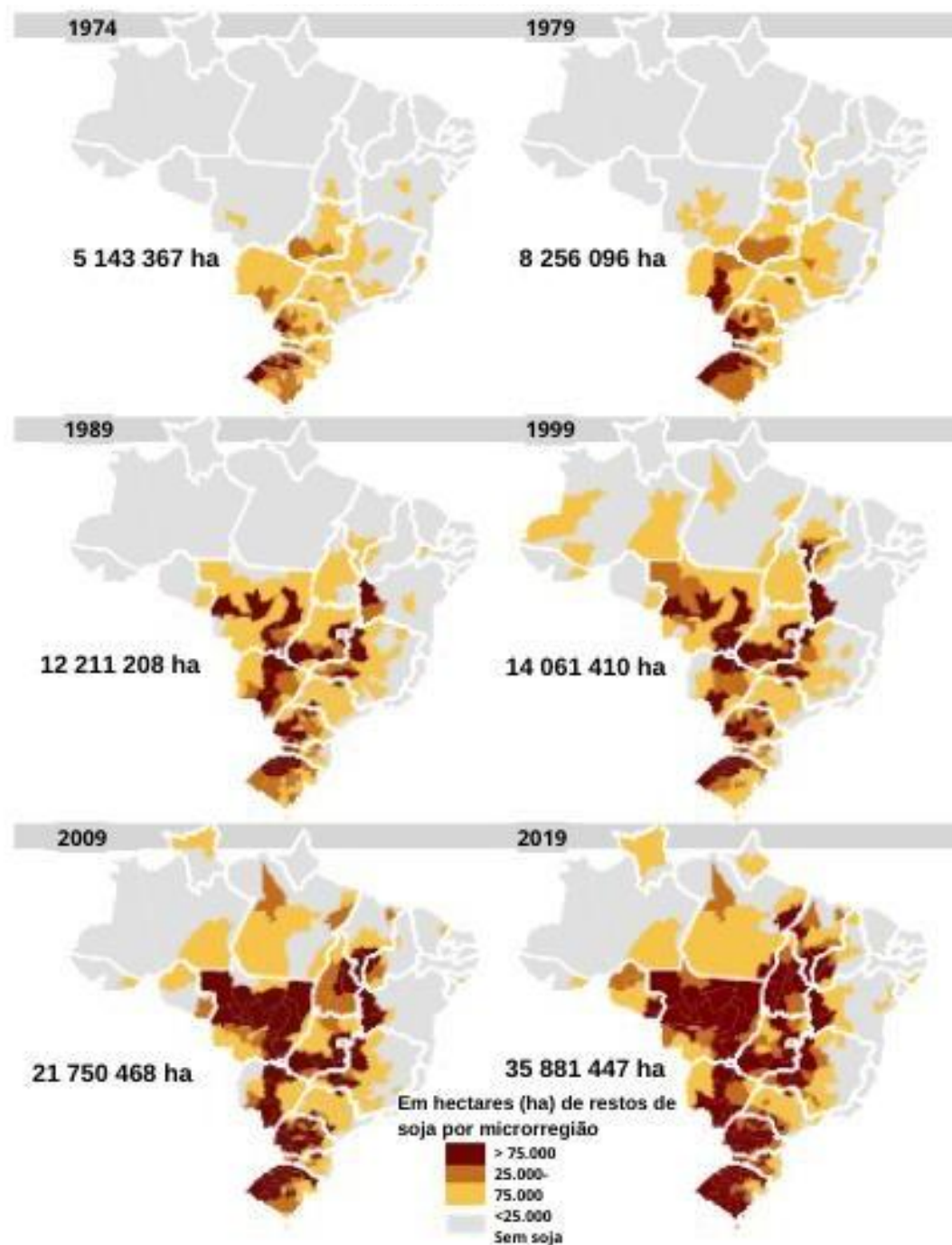


Figura 5: O glifosato mata as plantas inativando a enzima EPSPs. Existem plantas com a EPSPs modificada (ShkG*), em plantas não sensíveis ao glifosato, Phe: fenilalanina; Trp: triptofano; Tyr: tirosina. Fonte: traduzida de ROMAN et al. (2007)

Sendo um evento recente na história da agricultura, os cultivos transgênicos são envolvidos por diversos conflitos, bem como o seu consumo. A discussão científica, econômica e ética sobre os impactos dos Organismos Geneticamente Modificados (OGM) é de aspecto global (Nodari; Guerra, 2003). Os transgênicos resistentes ao Glifosato são, justamente, tolerantes ao produto, ou seja, o herbicida ao ser pulverizado mata todas as espécies de plantas presentes, menos a que possui resistência (Londres, 2012). Um transgênico deve ser cuidadosamente avaliado, analisando seu risco a saúde humana e ao meio ambiente (Nodari; Guerra, 2003). Os cultivos transgênicos aumentam consideravelmente o uso de agroquímicos, sendo oposto ao que foi prometido. A ampliação territorial do cultivo soja no Brasil cresceu desde o surgimento do Glifosato (Figura 6), aumentando seis vezes em 45 anos, sendo a maior parte dessa expansão muito recentemente (Bombardi, 2021).

Figura 6: Expansão da cultura de soja no Brasil – por microrregiões brasileiras



Fonte: IBGE-SIDRA, 2020, Organização: Dra. Larissa Mies Bombardi; Elaboração: Eduardo Dutenkefer, Pablo L. M. Nepomuceno, Paulo R. A. de Moraes and Valdeir S. Cavalcante Gonçalves | Nov. 2020 |

Figura 6: O mapa demarca a Amazônia Legal brasileira (em contorno verde); a linha cinza estabelece os limites dos municípios da Amazônia Legal, enquanto a linha branca o limite dos estados; as cores representam o percentual de área desmatada de 2006 a 2017 em relação à área total dos municípios (%). Fonte: traduzida de Bombardi (2021).

4. EFEITOS TÓXICOS DO GLIFOSATO À POPULAÇÃO HUMANA

Devido a sua alta solubilidade em água, seu potencial de contaminante ambiental e relatos de sua detecção em águas superficiais tem sido apontada. Sua alta adsorção ao solo, que varia de acordo com os diferentes teores de íons metálicos presentes, torna possível que haja a contaminação de lençóis freáticos, contudo existem poucas descrições sobre essa possibilidade (Amaral; Rosa; Sarcinelli, 2013). Carneiro (2015) destaca que, de modo geral, os estudos que focam em questões agrônomicas, metodologias e ambientais são em quantidades proporcionais, enquanto os aspectos toxicológicos são menos explorados (Figura 7). As pesquisas referentes ao Glifosato no Brasil buscam apresentar novas modalidades (outras culturas e pragas) para o uso desse herbicida. Com isso, o cenário de exposição territorial tende a aumentar sem considerar adequadamente o impacto da sua utilização sobre a saúde humana e o ambiente.

Figura 7: Categorias de estudos utilizando o glifosato no Brasil (%).

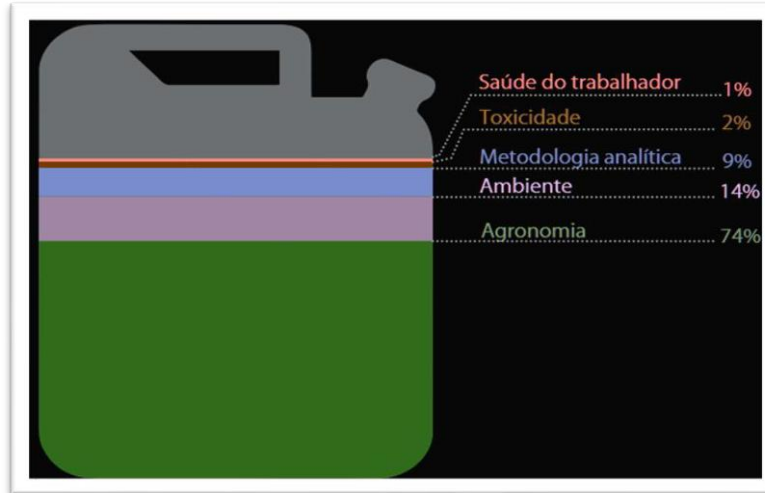


Figura 7: Esta pesquisa indica que são poucos os estudos centrados na saúde de trabalhadores rurais e a possível toxicidade da substância. Fonte: (Carneiro, 2015)

Nos últimos anos, houve um crescimento na expansão agrícola, principalmente na região chamada Amazônia Legal⁵, e se multiplicou consideravelmente o número de estabelecimentos agrícolas que utilizam agrotóxicos, como pode ser observado na Figura 8. As monoculturas exigem o uso de agroquímicos e essa expansão na Amazônia Legal brasileira contempla um aumento do desmatamento. Na figura 9, no mesmo período retratado na figura anterior, mostra que especialmente nas regiões sudeste e leste da Amazônia Legal o desmatamento se expandiu.

⁵ A Amazônia Legal é uma área que engloba nove estados do Brasil pertencentes à bacia Amazônica, instituído pelo governo federal via lei 1 806/1953, reunindo regiões de idênticas características, com o intuito de melhor planejar o desenvolvimento socioeconômico da região amazônica.

Figura 8: Amazônia Legal brasileira – agrotóxicos e desmatamento

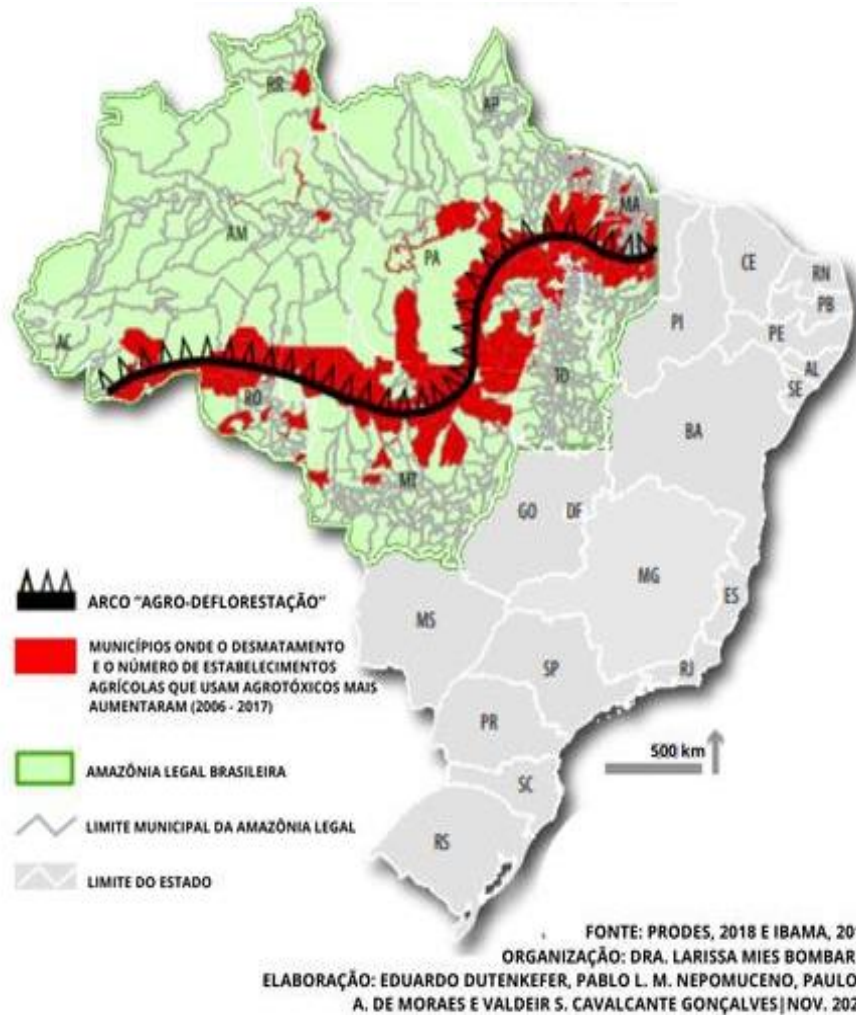


Figura 8 : O mapa demarca a Amazônia Legal brasileira (em contorno verde); a linha cinza estabelece os limites dos municípios da Amazônia Legal, enquanto a linha branca o limite dos estados; as cores representam o percentual de área desmatada de 2006 a 2017 em relação à área total dos municípios (%). Fonte: traduzida de Bombardi (2021)

Figura 9: Amazônia Jurídica brasileira – desmatamentos |municípios|

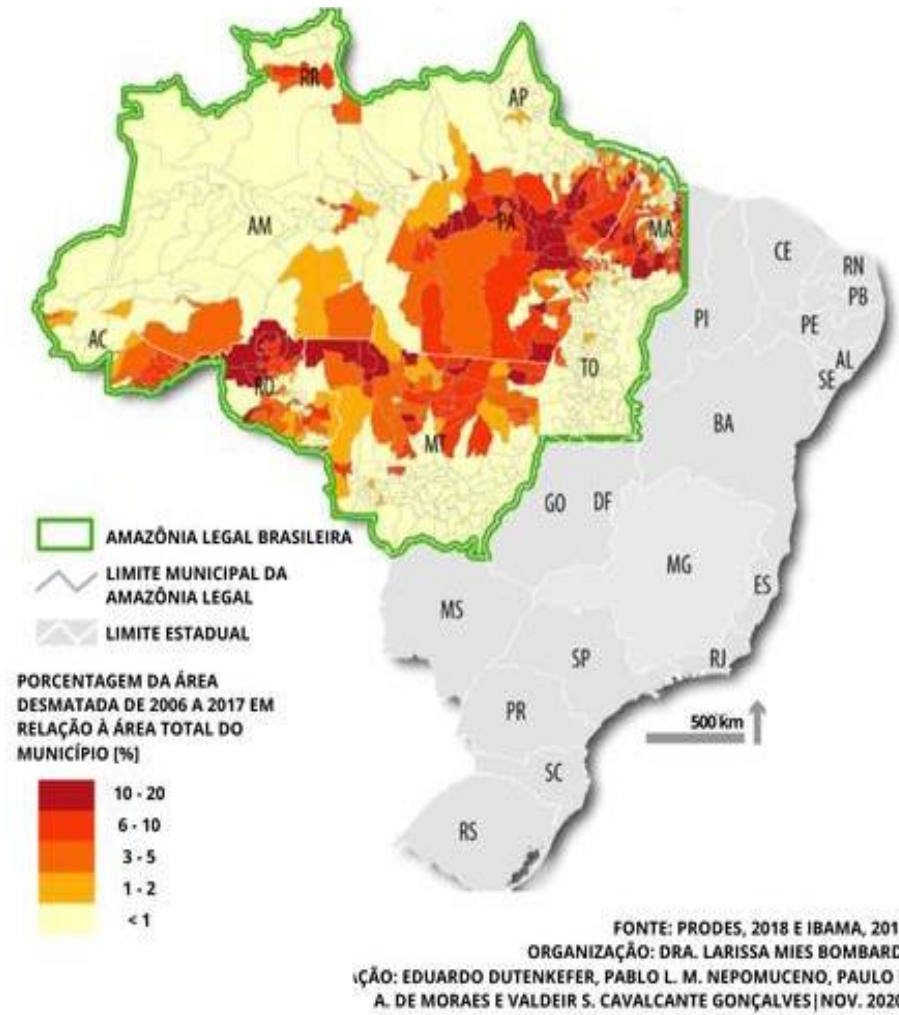


Figura 9: O mapa demarca a Amazônia Legal brasileira (região verde); O arco preto representa a linha do "Agrodesmatamento"; o vermelho demonstra os municípios onde mais aumentaram o desmatamento e o número de estabelecimentos agrícolas que utilizam agrotóxicos (2006 - 2017); a linha cinza estabelece os limites do município da Amazônia Legal, enquanto as linhas brancas, o limite dos estados. Fonte: traduzida de Bombardi, (2021).

Ao comparar os dois mapas, um sobre o desmatamento e o outro sobre o aumento do uso de agrotóxicos, observamos um trágico cenário ao qual se encontra a Amazônia Legal brasileira que ilustra os danos ambientais e sociais do estado econômico que os países membros do Mercosul adotaram. No Brasil grande parte do atual quadro econômico foi fundamentada na expansão da produção de produtos agrícolas (Bombardi, 2021). O uso massivo do Glifosato induz a redução da biodiversidade, pois o produto é tóxico para plantas silvestres, alterando o ecossistema, onde os animais vivem e se alimentam. Além dos riscos ambientais e à saúde humana, o plantio de lavouras transgênicas traz grande impacto social devido a expansão do agronegócio (Amaral; Rosa; Sarcinelli, 2013).

Os impactos negativos desse modelo de desenvolvimento não se limitam apenas a questões macroscópicas, evidentes ao vermos a derrubada de florestas para ocupar com as culturas de commodities, mas se expandem ao nível microscópico. Com o crescimento de casos de envenenamento por agrotóxicos na população do Mercosul, o cenário deixa de forma clara o que pode ser chamado de “colonialismo molecular”⁶. Por ser disperso pelo ar, a contaminação de corpos hídricos representa as principais causas de exposição humana. Os aplicadores de agroquímicos e agricultores são expostos de forma direta, porém as demais pessoas podem ser expostas indiretamente ao entrarem em contato com águas contaminadas (Amaral; Rosa; Sarcinelli, 2013) (Bombardi, 2021).

4.1. EFEITOS TÓXICOS DO GLIFOSATO À POPULAÇÃO EM GERAL

A ANVISA, em 2018, reavaliou o uso do Glifosato que, desde 2008, estava sendo empregado e abriu uma conferência pública para aprovação em 2019. Com isso, foi concluído pela ANVISA que o Glifosato não se encontra nos parâmetros proibitivos pressupostos na legislação (Lei 7.802 de julho de 1989), ou seja, não está classificado como tóxico para a reprodução, carcinogênico, teratogênico, mutagênico, dentre outros. Usando como base para tal decisão, dados de agências regulatórias internacionais e ponderações técnicas; sendo um deles, a análise da presença da substância química em 906 amostras de arroz, manga e uva. Esta amostra não se faz significativa para avaliar a ingestão

⁶ O colonialismo molecular consiste na dominação de uma população através do controle molecular, como no caso de empresas transnacionais influenciando políticas para fortalecer a monocultura no Brasil, destruindo o meio ambiente e contaminando as pessoas.

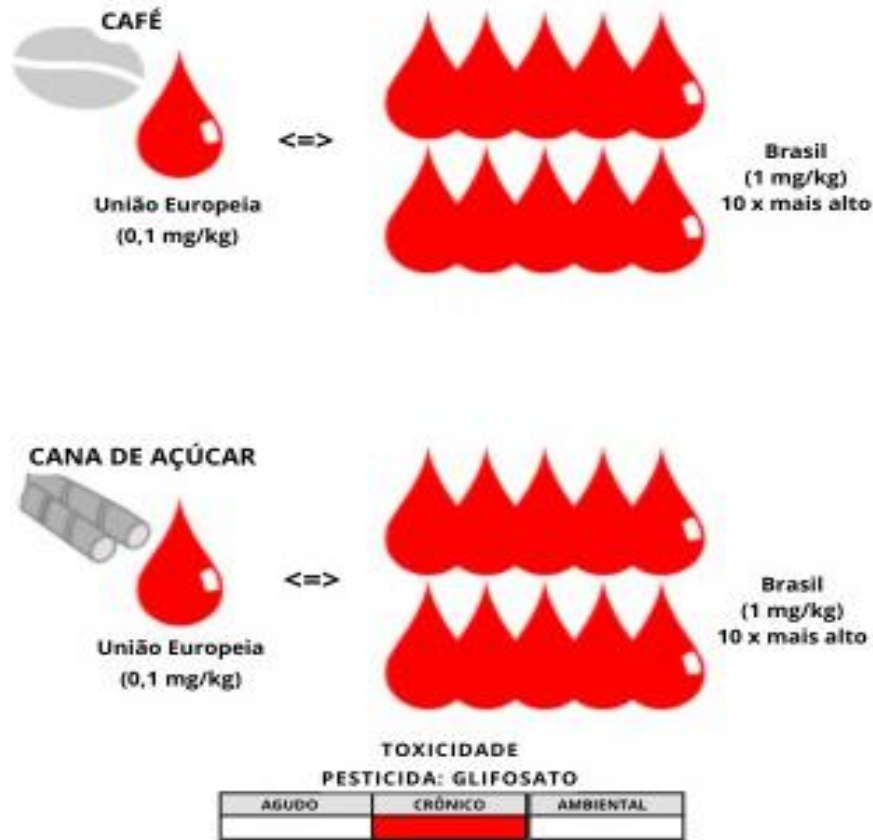
diária total de Glifosato.

Diversas instituições governamentais determinam seus níveis de ingestão diária aceitável (IDA) para os agrotóxicos em seus determinados países (Limberger, 2019). Tais noções de IDA, segundo a Associação Brasileira de Saúde Coletiva (ABRASCO), consistem em uma extensa verbosidade de ocultação. Apresentam um enfoque cartesiano impropriamente aplicado a um material de pesquisa complexo como a toxicologia, contudo essencial para disseminar a confirmação dos supostos limites de tolerância associados à contaminação por agrotóxicos dos alimentos e da água para o consumo humano (Carneiro, 2015). A Organização Mundial da Saúde (OMS) determinou a dose letal média (LD50) oral de Glifosato puro em ratos em 4.230 mg/kg, no entanto a Monsanto, como fabricante, dita um LD50 de 5.600 mg/kg. A baixa toxicidade é colocada devido a modalidade bioquímica de ação do Glifosato em uma via metabólica das plantas, semelhante ao existente em alguns microrganismos mais complexos (Amarante Junior et al., 2002).

Já foi demonstrada a capacidade do Glifosato em se infiltrar no tecido cerebral e desencadear neuroinflamação no cérebro, que pode induzir mudanças que são vistas em distúrbios neurodegenerativos (Winstone *et al.*, 2022). Estudos epidemiológicos e clínicos relatam os riscos cardiovasculares agudos relacionados à intoxicação por GBH, principalmente em casos intencionais. As anomalias eletrocardiográficas são indicadores relevantes para mortalidade. Para além disso, pesquisas apontam que entre agricultores a exposição ocupacional a agrotóxicos pode intensificar a vulnerabilidade psicológica e mental (Gress et al., 2015). A Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer (IARC) concluiu, em 2015, que ele é provavelmente cancerígeno e segundo (Tarazona *et al.*, 2017), as concentrações médias de resíduos identificados em alimentos, mesmo no contexto tradicionais, não representam um risco à saúde pública na Europa.

Os níveis de resíduos de agrotóxicos liberados nos alimentos e na água potável do Mercosul podem ser o dobro ou o triplo dos limites na União Europeia (EU) e, em muitos casos, os limites podem ser até dezenas, centenas ou mesmo milhares de vezes maiores no Mercosul. Como é observado nas figuras 10 e 11, o limite do nível de resíduo de Glifosato permitido na EU no café e na cana-de-açúcar é 10 vezes menor que no Brasil. O limite para resíduos de Glifosato na água “potável” no Brasil é 5.000 vezes maior do que o limite na UE. Em síntese, as grandes disparidades na quantidade de resíduos de agrotóxicos constituem um exemplo concreto do colonialismo molecular (Bombardi, 2021).

Figura 110: Limite máximo de resíduos da União Europeia e do Brasil - LMR/Glifosato (mg/kg)

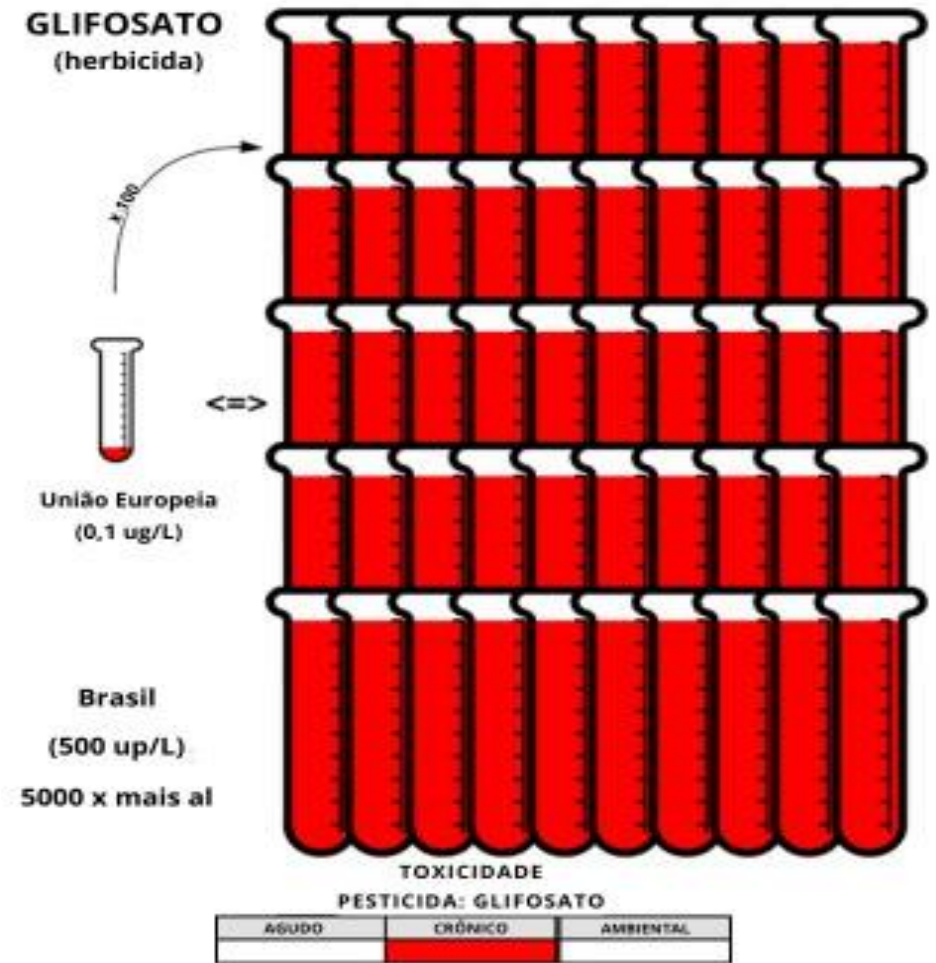


Fonte: Comissão Europeia | <http://ec.europa.eu/> 2020 e IBAMA | <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/> 2020
 Organização: Dra. Larissa Mies Bombardi
 Design: Eduardo Dutenkerfer, Pablo Luiz Maia Nepomuceno, Paulo R. A. Moraes e Valdeir S. Cavalcante Gonçalves. [Nov. 2020]

-O glifosato é o pesticida mais vendido no Brasil. Em 2018, as vendas atingiram 195.056 toneladas.

Figura 10: Fonte: traduzida de Bombardi (2021). Fonte: traduzida de Bombardi (2021)

Figura 101: A União Europeia e o Brasil limite máximo de resíduos – LMR/água potável (mg/kg)



-O glifosato é o pesticida mais vendido no Brasil. Em 2018, as vendas atingiram 195.056 toneladas.

Fonte: Comissão Europeia | <http://ec.europa.eu/> 2020 e IBAMA | <http://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/> 2020
 Organização: Dra. Larissa Mies Bombardi Design: Eduardo Dutenkerfer, Pablo Luiz Maia Nepomuceno, Paulo R. A. Moraes e Valdeir S.

Na última década, no Brasil, milhares de pessoas foram contaminadas com agrotóxicos (Figura 12), chegando a 1.832 pessoas mortas por envenenamento por agrotóxicos, usados em lavouras, o que equivale a uma média de 183 pessoas por ano, ou uma morte por envenenamento por agrotóxicos a cada dois dias (Figura 13) (Bombardi, 2021).

Figura 12: O mapa do Brasil - pessoas envenenadas por agrotóxicos por estados [2010 - 2019].

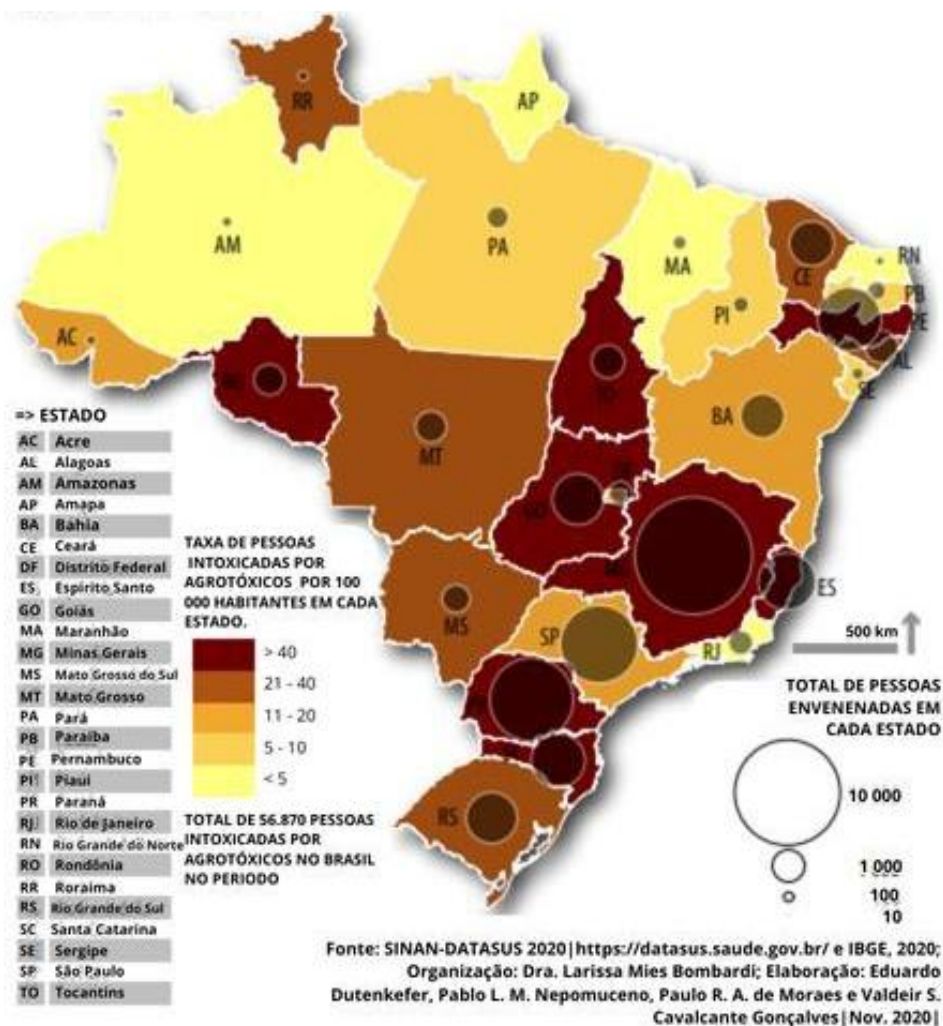


Figura 12: As cores representam a taxa de pessoas intoxicadas por agrotóxicos por 100.000 habitantes em cada estado; os círculos o total de pessoas intoxicadas em cada. Fonte: traduzido de Bombardi (2021).

Figura 13: O mapa do Brasil - pessoas mortas por envenenamento por agrotóxico por estados [2010-2019].

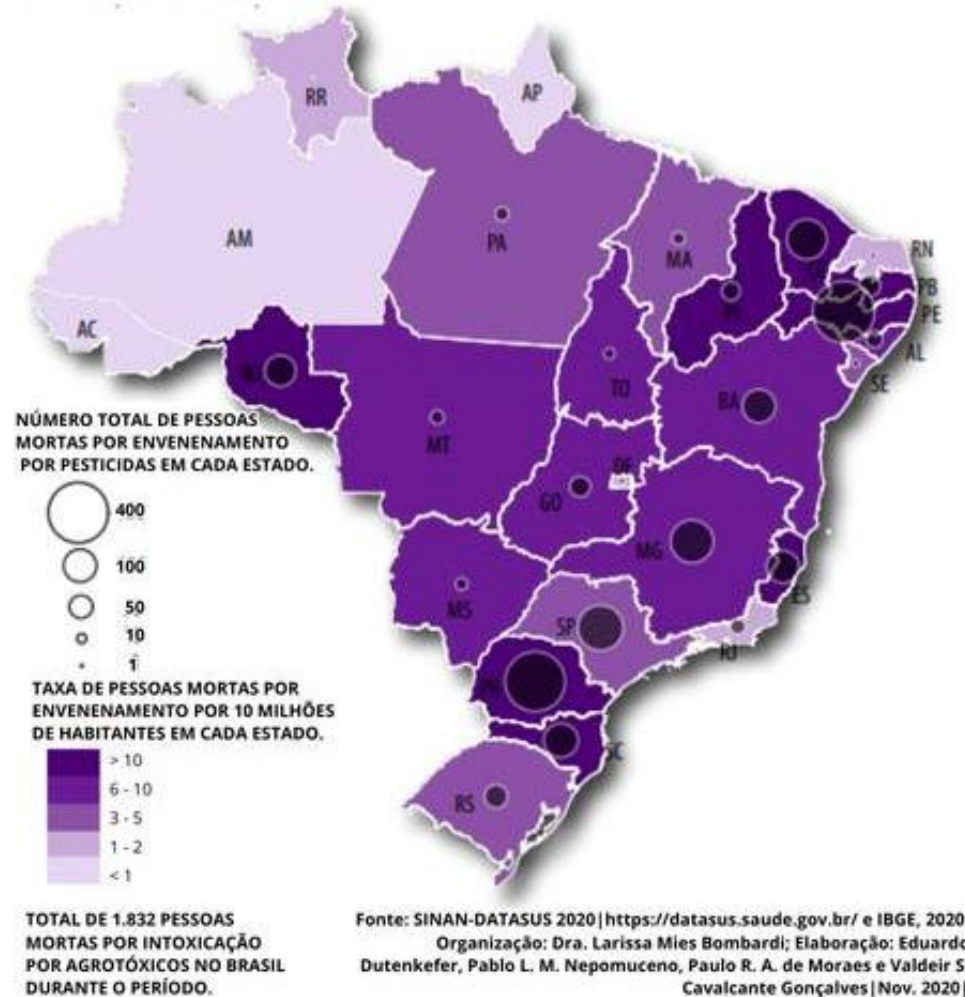


Figura 13: Os círculos representam o número total de pessoas mortas por envenenamento por agrotóxico em cada estado; as cores a taxa de pessoas mortas por envenenamento por agrotóxico por 10 milhões de habitantes em cada estado.; sendo o total de 1.832 pessoas mortas por envenenamento por agrotóxico

Nos últimos dez anos, 56 mil pessoas foram envenenadas por agrotóxicos usados na agricultura brasileira. O país tem experimentado uma média de 5.687 casos de tais envenenamentos por ano, o que equivale a 15 pessoas envenenadas por agrotóxicos todos os dias (Bombardi, 2021). Mais de 350 crianças sofrem de envenenamento por agrotóxicos todos os anos no Brasil.

Entre 2010 e 2019, não menos que 3.750 crianças entre 0 e 14 anos foram envenenadas por agrotóxicos utilizados na agricultura local. Sendo, entre as crianças envenenadas durante esse período, mais de 500 eram bebês. Totalizando 542 bebês entre 0 e 12 meses de idade relatados como envenenados por agrotóxicos utilizados na agricultura local no período de dez anos. Graças ao Sistema Único de Saúde (SUS), o Brasil tem dados públicos importantes sobre casos de envenenamento por agrotóxicos que ocorreram entre sua população. Apesar do fato bem conhecida de que tais envenenamentos são subnotificados, os números são assustadores (Bombardi, 2021).

4.2. EFEITOS TÓXICOS DO GLIFOSATO EM TRABALHADORES – TOXICIDADE OCUPACIONAL

A população mais afetada com os agrotóxicos são os agricultores, trabalhadores rurais, e moradores de regiões próximas às lavouras. A incidência do negócio global dos agrotóxicos é avassaladora, principalmente, para a saúde humana. Um meta-estudo científico foi feito em 2020, em que estimou que 385 milhões de intoxicações não intencionais com agrotóxicos anualmente, englobando 11mil mortes por ano. O que concerne a população agrícola em geral, 44 % dos trabalhadores rurais são contaminados com agrotóxicos ao menos uma vez por ano (Bombardi; Ribeiro; Silva, 2023). Estudo feito por Viero (2016) apontou que o agricultor está ciente dos riscos referentes ao manuseio e consumo dos agrotóxicos, demonstrando receios com as consequências desse contato. De modo geral, eles contestam a relação direta entre seus problemas de saúde e a utilização dos produtos químicos, revelando que não fazem o uso adequado de equipamentos de proteção individual (EPI).

Os povos originários são igualmente afetados, o mapa seguinte evidencia mais de 200 casos de intoxicação por agrotóxicos de povos originários que foram registrados no Brasil, tendo caos em aproximadamente todos os estados do país, inclusive em vários casos não se tratava de trabalhadores agrícolas. Os povos originários permanecem padecendo com a opressão imposta sobre eles há 500 anos (Figura 14). O cenário atual apresenta novas estratégias de violência, sendo submetidos a uma condição invisibilizada, cometida por substâncias manipuladas na agricultura

“tecnológica”, através das pulverizações dos territórios, ação autorizada nos países do Mercosul, ou pelo desenvolvimento das monoculturas em terras povos originários (Bombardi; Ribeiro; Silva, 2023).

Figura 14: O mapa do Brasil - envenenamento da população indígena por agrotóxicos por estados |2010 - 2019|.

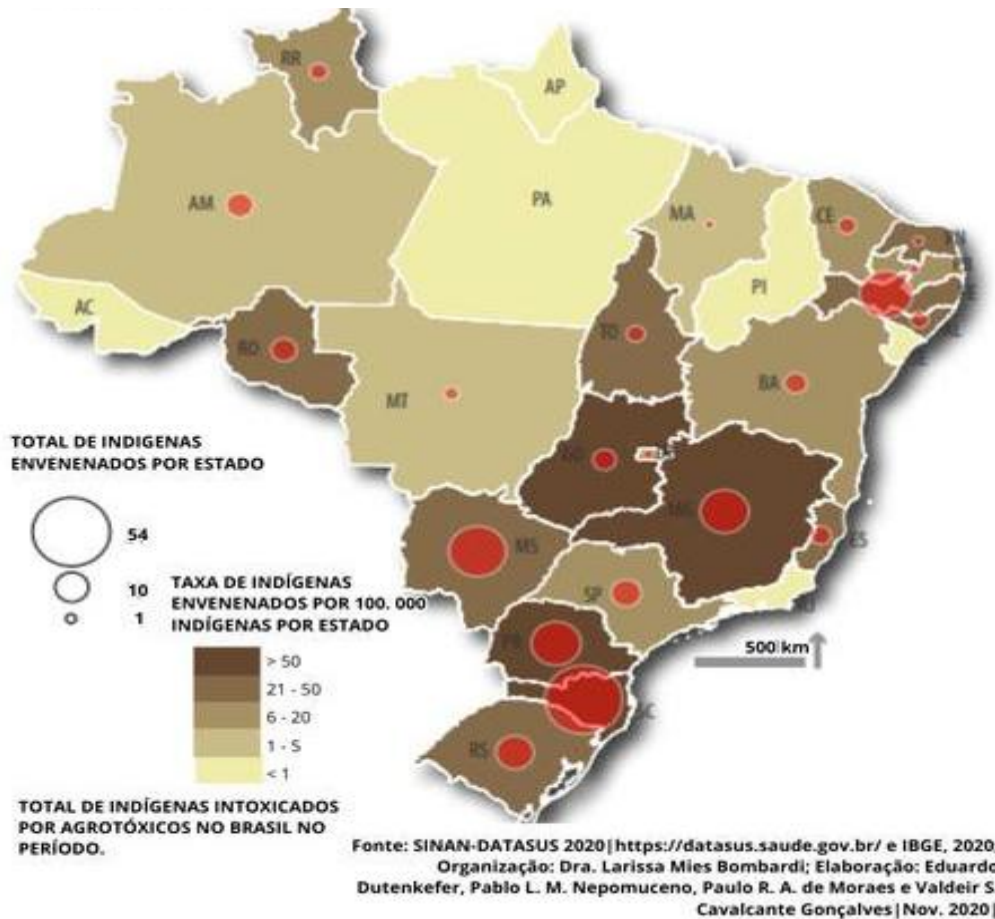


Figura 14: Os círculos indicam o total de pessoas envenenados por estado; as cores representam a taxa de nativos envenenados para cada 100.000 habitantes dos povos originários por estado; o total de 217 pessoas envenenados por agrotóxicos no Brasil no período. Fonte: traduzido de Bombardi (2021).

Segundo Friedrich (2022) os estudos toxicológicos devem ser empregados considerando os contextos de exposição, com todas as questões observadas na realidade do trabalho e da vida. A perspectiva crítica proporciona ao tomador de decisões entendimento do biopoder presente nos conflitos de interesse e evidentes no processo regulatório governamental. O envolvimento efetivo da sociedade é um meio garantidor de processos mais imparciais para a redução de ações de abuso da ciência a favor da licença de substâncias tóxicas. Com isso, a ocultação ou minimização de

riscos são reduzidos, dificultando a manipulação dos processos decisórios para contribuir aos interesses de domínios mercantis. A expansão do agronegócio é uma das principais causas de injustiça ambiental no Brasil. Entre as diversas consequências trazidas por tais atividades, como a concentração territorial, renda e poder político dos grandes produtores; ademais, os conflitos da disputa por terras com os povos tradicionais como povos originários, quilombolas, extrativistas e pesquisadores, além dos agricultores familiares e os movimentos pela reforma agrária.

5.3. A AGRICULTURA ALTERNATIVA.

A Revolução Verde incorporou, na década de 1960, tecnologias, mecanizações no campo e o uso intensivo de insumos e agrotóxicos, com o objetivo de aumentar a produtividade agrícola. Contudo, a partir da década de 1980, iniciaram-se discussões e análises sobre os problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes desse modelo. Para além dos problemas provenientes dos agrotóxicos, essa base da agricultura convencional transformou as atividades agrícolas na maior consumidora de água e em uma das principais responsáveis pela destruição da fauna e da flora (Vieites, 2010).

As pesquisas voltadas ao desenvolvimento da agricultura industrial e da biotecnologia moderna se basearam, em grande parte, na ideia de simplificar as práticas agrícolas e tratar separadamente os elementos do sistema, considerando o solo, as plantas e os organismos indesejáveis de forma isolada. Com o tempo, tornou-se evidente que os organismos vivos são influenciados por uma rede de interações complexas e por inúmeros fatores de impacto sutil, o que torna inadequada qualquer tentativa de explicação simplista ou isolada (Nodari; Guerra, 2015). Ignorar essas conexões e concentrar-se exclusivamente em aspectos como produtividade ou controle de pragas significa reduzir o ambiente a um sistema estático e previsível, quando, na realidade, ele é dinâmico e interdependente. As forças internas, como a genética, não atuam de maneira independente; elas respondem diretamente às condições do ambiente. Além disso, os próprios organismos também influenciam o meio em que vivem, o que reforça a compreensão de que todos os elementos do sistema estão profundamente interligados (Caporal, 2000; Nodari; Guerra, 2015). Em forte oposição a agricultura convencional, iniciada na revolução verde, surgiram paralelamente sistemas alternativos de produção agrícola.

O adjetivo "alternativo", utilizado especialmente nas décadas anteriores para se referir a

sistemas agrícolas que se opunham ao modelo convencional, tem sido frequentemente substituído pelo termo "agricultura sustentável". No entanto, essa substituição é, em muitos casos, inadequada. A agricultura sustentável refere-se a um modelo de produção que busca respeitar o meio ambiente e preservar os recursos naturais. Já o termo "agricultura alternativa" é mais abrangente, englobando diferentes métodos de cultivo que se distanciam da agricultura convencional. Essas práticas, embora compartilhem críticas ao modelo químico-mecanizado e a rejeição ao uso de insumos industrializados, apresentam princípios, concepções e técnicas distintas. Entre essas abordagens, destacam-se a agricultura biodinâmica, orgânica, biológica, natural, ecológica e, em especial, a agroecologia. Cada uma dessas modalidades reflete diferentes formas de compreender a relação entre a atividade agrícola, a natureza e a produção de alimento (Vieites, 2010).

Mais do que simplesmente oferecer produtos ecológicos isentos de resíduos químicos, a agroecologia resgata práticas da agricultura tradicional, incorporando conhecimentos e tecnologias sustentáveis. Trata-se de um modelo agrícola menos agressivo ao meio ambiente, que promove a inclusão social e incentiva melhores condições econômicas para os agricultores. Dessa forma, o conceito de desenvolvimento sustentável pode ser considerado polêmico, pois carrega ambiguidades, ou seja, pode ser manipulado e nem sempre enfrenta as causas estruturais da degradação ambiental e da desigualdade social. Ainda assim, continua sendo um marco importante no debate ambiental e social, especialmente quando aliado a abordagens mais críticas e transformadoras, como a agroecologia (Caporal; Costabeber, 2000; Vieites, 2010).

A agroecologia tem sido reafirmada por diversos pesquisadores e estudiosos como uma disciplina científica, ou seja, um campo de conhecimento multidisciplinar, composto por conceitos, metodologias e princípios com o objetivo de estudar e analisar os agroecossistemas. Tais pesquisas visam otimizar o equilíbrio como um todo, intensificando a necessidade de conhecimento, análise e interpretação das relações complexas entre o cultivo, o solo, a água, os animais e as pessoas (Caporal; Costabeber, 2000). Além disso, através da agrobiodiversidade, é formado uma relação dos seres humanos com um conjunto de organismos e ecossistemas, dando vantagens para o meio ambiente e todas as espécies. Nesse contexto, a agricultura sustentável tem o objetivo de manejar de modo eficiente os recursos disponíveis, mantendo a produção em níveis adequados para a crescente população, sem degradar o meio ambiente (Nodari; Guerra, 2015; Paterniani, 2001).

A crescente atenção voltada ao desenvolvimento de uma agricultura sustentável tem mobilizado agricultores, técnicos e demais profissionais da área (Vieites, 2010). A população em

geral, embora também demonstre interesse pelo tema, muitas vezes não possui formação adequada ou acesso direto ao conhecimento técnico. Esse cenário evidencia a importância de se incentivar a prática da divulgação científica.

5. A DISSEMINAÇÃO CIENTÍFICA

Aproximadamente no século XVII, após a "revolução científica", a ciência se estabeleceu pela primeira vez com um método de criação de conhecimento testável, reproduzível. Assim, para produzir as "verdades científicas", estas devem ser provadas e validadas por outros pesquisadores para serem aceitas como verdade, o que atualmente entendemos como método científico (Guedes, 2012). A sociedade está a cada dia mais envolvida nos progressos científicos e tecnológicos (Branco *et al.*, 2018). Embora esta seja chamada a era da informação, com um vasto conhecimento disponível à população, ainda há dificuldades para compreender certos conceitos científicos (Carneiro, Oliveira; Vecchia; 2015). A falta de conhecimento sobre conceitos presentes no cotidiano da população pode gerar preocupações e temores entre os indivíduos (Carneiro, Oliveira; Vecchia; 2015). A falta de conhecimento também é o principal motivo das contaminações ocupacionais e ambientais (Adissi, Sobreira; 2003).

Em meio a tantas informações, a desinformação é uma questão muito presente na sociedade, limitando a comunicação e a qualidade de vida, juntamente com a disseminação de *fake news* e pós-verdades (Delfino; Pinho Neto; Sousa, 2024). É de suma importância tornar esses conhecimentos acessíveis, disponíveis e inclusivos. É essencial proporcionar condições reais de compreensão para que os jovens se apropriem do conhecimento científico e tecnológico, não apenas para o mercado de trabalho, mas também para que possam transformar suas realidades (Branco *et al.*, 2018).

Existem diferentes perspectivas em relação ao conceito de divulgação científica na academia, há, principalmente, uma dificuldade em discernir entre divulgação e comunicação científica. O professor Bueno, citado na pesquisa de (Reale; Martyniuk, 2016), estabelece a comunicação científica como o compartilhamento de resultados de pesquisa e novas teorias entre os indivíduos da própria comunidade científica. E a divulgação científica procura “democratizar o acesso ao conhecimento científico e estabelecer condições para a chamada alfabetização científica”. No campo do conhecimento e das estratégias de ação, a divulgação científica tem

conquistado cada vez mais relevância global. Isso ocorre devido ao entendimento dos interesses econômicos e políticos associados ao questionamento das pesquisas científicas e, em parte, como resposta dos cientistas aos movimentos anticiência (Mansur *et al.*, 2021). Popularização da ciência, ou divulgação científica (termo mais usado na literatura), pode ser definida como a utilização de recursos e processos técnicos para a comunicação de informações científicas e tecnológicas à população. Assim, a divulgação baseia-se na tradução de uma linguagem especializada para uma linguagem leiga, com o objetivo de alcançar um público mais amplo (Albaglifosato, 1996). Como bem dito por Reale e Martyniuk em:

Falar de comunicação em lugar de divulgação enfatiza uma relação que representa a condição prévia para que se possa considerar o tema dos conteúdos científicos, mais ou menos densos. A tendência recorrente a reduzir o tema da comunicação da ciência a mera transferência de conhecimento não apenas é uma ilusão, mas frequentemente produz o contrário da intenção inicial: aproximar, compartilhar e estimular. (Vogt, 2006, p. 22) citado por (Reale; Martyniuk, 2016).

Existem diversas abordagens de divulgação, entre elas o material didático digital (MDD), que se destaca por chamar a atenção e atrair o público para o conteúdo, contribuindo para uma maior eficácia na compreensão. Um vídeo, por exemplo, pode ser altamente didático ao utilizar recursos como cores, movimentos e animações (Araya, Orellana, Guevara; 2021). Nos tempos atuais, onde a sociedade está envolvida com as mídias sociais, a utilização delas como ferramenta de comunicação de disseminação do conhecimento é necessário, sendo acessível e rápido. As redes sociais são um instrumento que pode diminuir a distância entre a pesquisa e a população, sendo ideais para a difusão do conhecimento produzido em um estudo científico (Navas *et al.*, 2020).

Pressupõe-se que a informação científica não tenha repercussão nesse espaço, por ser uma plataforma voltada para o entretenimento e para o compartilhamento de vídeos. Contudo, a associação do conteúdo acadêmico com os recursos multimídia tornam o vídeo atrativo, proporcionando maior compreensão. A utilização desse recurso de entretenimento faz com que conteúdos complexos e cansativos sejam melhores absorvidos pelo público (Neto, 2018). Plataformas de redes sociais, como o YouTube, possuem grande potencial para esse papel, especialmente entre os jovens, que consomem de forma exponencial diversos vídeos na internet (Reale; Martyniuk, 2016). Assim, assuntos importantes e muitas vezes desconhecidos, como a atuação dos agrotóxicos e seus impactos, estão acessíveis a um maior número de pessoas.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

No decorrer do trabalho, foi realizada uma pesquisa na plataforma online ChemMapper®, utilizada para prever efeitos de polifarmacologia e modos de ação de pequenas moléculas com base em cálculos de similaridade tridimensional. Para isso, inseriu-se a estrutura molecular do Glifosato com o objetivo de analisar as probabilidades indicadas pela plataforma e compará-las com dados apresentados em artigos previamente consultados.

O “Similarity Score” (*Simi. Score*) representa o grau de similaridade entre a molécula consultada (o Glifosato) e as moléculas do banco de dados. É calculado com base na sobreposição 3D das estruturas moleculares, indicando o quão semelhantes elas são no espaço tridimensional, variando de 0 a 1: valores próximos de 1 indicam alta similaridade e valores próximos de 0 indicam baixa similaridade. O *score* pode ser interpretado como uma métrica da qualidade da correspondência, levando em conta características adicionais, como ajustes no alinhamento 3D. Target/Organism® indica os alvos biológicos conhecidos (enzimas, proteínas etc.) associados às moléculas no banco de dados, listando os organismos nos quais essas interações foram verificadas (Figura 15).

Apesar de os dados fornecidos pelo ChemMapper® serem apenas previsões e não permitirem, por si só, estabelecer relações diretas de causa e consequência, eles podem ser utilizados como ponto de partida para gerar hipóteses, prever interações moleculares e comparar possibilidades com base em estudos já realizados. Assim, embora não substituam validações experimentais em laboratório, os resultados obtidos podem orientar e enriquecer investigações científicas posteriores.

A partir disso, foi possível observar que, de acordo com a plataforma, existem 148 alvos possíveis para o Glifosato, em diferentes espécies e mecanismo, sendo 73 alvos na espécie humana. Dentre os dez primeiros compostos que apresentaram maior similaridade, observou-se uma elevada semelhança estrutural entre o Glifosato e o glutamato; sendo 45 alvos relacionados ao glutamato e 17 deles são da espécie humana. Este fato pode ser evidenciado pela análise das enzimas e receptores que utilizam o glutamato como substrato enzimático⁵ ou como ligante de receptores⁶, em espécies tão variadas quanto a *Escherichia coli*, *Rattus norvegicus* e a espécie humana, demonstrando a existência de uma relevância biológica para os efeitos colaterais observados em contaminações com o Glifosato.


O glutamato é o aminoácido livre mais abundante no sistema nervoso central (SNC), onde atua principalmente em processos metabólicos relacionados à biossíntese de proteínas. É também o principal neurotransmissor excitatório, ou seja, uma substância que estimula a atividade dos neurônios, favorecendo a propagação dos sinais elétricos no cérebro. A mesma está envolvida em diversas funções e condições neurológicas, como desenvolvimento neural, plasticidade sináptica, aprendizado, memória, epilepsia, isquemia, dependência de drogas, dor neuropática, ansiedade e depressão (Valli et al, 2014).

Como destaque da pesquisa, chamou a atenção o *glutamate receptor, ionotropic kainate 1* (GRIK1) (Figura 16) apresentando pontuações significativas na plataforma, tanto em Simi. Score (1.49), quanto somente em Score (0.993), além de existirem estudos já realizados o envolvendo diretamente. Os receptores do tipo kainato formam uma família de receptores ionotrópicos de glutamato que parecem desempenhar um papel especial na regulação da atividade das redes sinápticas (Pinheiro et al, 2006).

O glutamato se liga a receptores localizados nas células pós-sinápticas, que podem ser do tipo ionotrópico (como AMPA e kainato) ou metabotrópico. A ligação aos receptores ionotrópicos provoca uma mudança na estrutura da proteína, permitindo a entrada de cátions na célula e levando à despolarização da membrana, o que inicia um novo impulso nervoso. A ação rápida dos receptores AMPA e kainato está associada à transmissão eficiente de sinais no SNC. Para evitar efeitos tóxicos, é essencial que o glutamato seja rapidamente removido da sinapse por transportadores específicos. Em concentrações elevadas, o glutamato pode agir como uma neurotoxina, causando danos excitotóxicos a neurônios, o que está relacionado a doenças neurodegenerativas. Já em concentrações muito baixas, sua deficiência tem sido associada a distúrbios como a esquizofrenia (Valli et al, 2014).

Para além dessa similaridade, diversos estudos relacionam o glutamato a processos neurodegenerativos e apontam o envolvimento do Glifosato nesse contexto, sugerindo sua atuação na liberação excessiva de glutamato e na indução de mecanismos de excitotoxicidade. Mais estudos são necessários para aprofundar essas perspectivas e compreender melhor os riscos associados à exposição ao herbicida.

Figura 15: Mapeamento molecular do glifosato



ChemMapper
Navigate & Explore Bioactive Space

HOME | GET RESULT | DOCUMENTATION | DOWNLOAD

Result of 111241 Glifosato

Note: Target name in GREEN means confirmed target in corresponding database.

Sort By:

Filter Data | Show Statistics | Group by Species | Group by Molecular Function | Group by Biological Process | Reset

Show 10 entries

Index	Target Name	Ref. Link	Species	Simi. Score	Score	Rank
+ 1	Metabotropic glutamate receptor 2	Swiss-Prot:P31421	Rattus norvegicus	1.544	1.0	26
+ 2	Glutamate carboxypeptidase 2	Swiss-Prot:Q04609	Homo sapiens	1.615	0.993	6
+ 3	Glutamate receptor, ionotropic kainate 1	Swiss-Prot:P39086	Homo sapiens	1.49	0.993	34
+ 4	Metabotropic glutamate receptor 2	Swiss-Prot:Q14416	Homo sapiens	1.494	0.74	33
+ 5	Metabotropic glutamate receptor 3	Swiss-Prot:P31422	Rattus norvegicus	1.544	0.623	27
+ 6	3-phosphoshikimate 1-carboxyvinyltransferase	Swiss-Prot:P0A6D3	Escherichia coli K-12	1.564	0.617	21
+ 7	Glutamate receptor 2	Swiss-Prot:P19491	Rattus norvegicus	1.578	0.567	13
+ 8	Glutamate receptor 4	Swiss-Prot:P19493	Rattus norvegicus	1.578	0.547	11
+ 9	Glutamate receptor 3	Swiss-Prot:P19492	Rattus norvegicus	1.578	0.547	16
+ 10	Glutamate carboxypeptidase 2	Swiss-Prot:P70627	Rattus norvegicus	1.444	0.541	70

Showing 1 to 10 of 148 entries

Copyright © 2009-2018 - Prof. Honglin Li's Group, School of Pharmacy, East China University of Science & Technology · All Rights Reserved

Figura 15: O Chemmapper® apresenta enzimas e retores da espécie humana correspondentes ao Glifosato segundo a proximidade score.

Figura 16: Mapeamento Molecular do Glifosato: Filtragem para Espécie Humana e Glutamato

Note: Target name in **GREEN** means confirmed target in corresponding database.

Sort By:

Show entries

Index	Target Name	Ref. Link	Species	Simi. Score	Score	Rank
	<input type="text" value="glutamate"/>		<input type="text" value="Homo sapiens"/>	> <input type="text"/>	> <input type="text"/>	
+ 1	Glutamate carboxypeptidase 2	Swiss-Prot:Q04609	Homo sapiens	1.615	0.993	6
+ 2	Metabotropic glutamate receptor 2	Swiss-Prot:Q14416	Homo sapiens	1.494	0.74	33
+ 3	Glutamate receptor, ionotropic kainate 1	Swiss-Prot:P39086	Homo sapiens	1.49	0.993	34
+ 4	Glutamate receptor, ionotropic kainate 2	Swiss-Prot:Q13002	Homo sapiens	1.49	0.379	35
+ 5	Metabotropic glutamate receptor 1	Swiss-Prot:Q13255	Homo sapiens	1.478	0.317	40
+ 6	Metabotropic glutamate receptor 4	Swiss-Prot:Q14833	Homo sapiens	1.478	0.47	41
+ 7	Metabotropic glutamate receptor 5	Swiss-Prot:P41594	Homo sapiens	1.478	0.184	42
+ 8	Cystine/glutamate transporter	Swiss-Prot:Q9UPV5	Homo sapiens	1.478	0.038	43
+ 9	Glutamate receptor, ionotropic kainate 5	Swiss-Prot:Q16478	Homo sapiens	1.471	0.128	50
+ 10	Glutamate receptor 3	Swiss-Prot:P42263	Homo sapiens	1.471	0.048	51
+ 11	Glutamate receptor 1	Swiss-Prot:P42261	Homo sapiens	1.471	0.201	52
+ 12	Glutamate receptor 2	Swiss-Prot:P42262	Homo sapiens	1.471	0.229	53
+ 13	Metabotropic glutamate receptor 8	Swiss-Prot:O00222	Homo sapiens	1.471	0.3	56
+ 14	Metabotropic glutamate receptor 3	Swiss-Prot:Q14832	Homo sapiens	1.471	0.392	57
+ 15	Metabotropic glutamate receptor 6	Swiss-Prot:Q15303	Homo sapiens	1.471	0.247	58
+ 16	Glutamate receptor, ionotropic kainate 3	Swiss-Prot:Q13003	Homo sapiens	1.471	0.124	64
+ 17	Glutamate receptor 4	Swiss-Prot:P48058	Homo sapiens	1.471	0.175	65

Showing 1 to 17 of 17 entries (filtered from 148 total entries)

Figura 16: Através da filtragem, selecionando a espécie humana, receptores e enzimas relacionadas ao glutamato, foi possível englobar os principais alvos encontrados da espécie que possui sim. Score. Foi destacado em amarelo, o receptor que possui não somente valor considerável de semelhança molecular mas também literatura científica que o estudou.

Durante a realização do levantamento bibliográfico para este trabalho, observou-se uma predominância marcante de artigos publicados em inglês nas principais bases de dados acadêmicas. Com o intuito de verificar essa discrepância de forma mais precisa, foi realizada uma busca comparativa utilizando os termos “Glyphosate” (Tabela 1) e “Glifosato” (Tabela 2). A consulta, realizada na base *Web of Science Core Collection* via plataforma Periódicos Capes (em 18/08/2024), resultou em 21 artigos em português e 16.585 artigos em inglês. Esses dados evidenciam um forte desequilíbrio na produção científica disponível sobre o tema, em que apenas 0,13% das publicações estão em português, o que equivale a dizer que para cada artigo em português, há aproximadamente 791 em inglês. Este resultado também evidencia a necessidade de os pesquisadores brasileiros serem capazes de ler e compreender textos na língua inglesa, como forma de terem acesso à produção científica atualizada. A seguir, os gráficos apresentam a quantidade de artigos de acordo com as categorias selecionadas pela plataforma.

Tabela 1: Levantamento de artigos com o termo “Glyphosate”

Mostrando 10 de 191 entradas, foram selecionadas 16.585 publicações pela plataforma: 2 registros (0,012%) não contém dados no campo que está sendo analisado

Campo: categorias da Web of Science	Contagem de registros	% de 16.585
Agronomia	4.520	27,254%
Ciências Vegetais	4.472	26,964%
Ciências Ambientais	3.106	18,728%
Toxicologia	1.371	8,267%
Agricultura Multidisciplinar	1.016	6,126%
Entomologia	797	4,806%
Tecnologia da Ciência dos Alimentos	730	4,402%
Química Analítica	697	4,203%
Bioquímica Biologia molecular	671	4,046%
Química Multidisciplinar	621	3,744%

Fonte: [Web of Science - Coleção Principal \(Clarivate Analytics / Thomson Reuters\)](#)

Tabela 2: Levantamento de artigos com o termo “Glifosato”.

Com o descritor Glifosato foram selecionadas 21 publicações pela plataforma:

Mostrando 15 de 15 entradas

Campo: categorias da Web of Science	Contagem de registros	% de 21
Ciências Ambientais	8	38,095%
Toxicologia	4	19,048%
Ciências Vegetais	3	14,286%
Conservação da Biodiversidade	2	9,524%
Química Multidisciplinar	2	9,524%
Ecologia	2	9,524%
Estudos Ambientais	2	9,524%
Agricultura Multidisciplinar	1	4,762%
Agronomia	1	4,762%
Engenharia Multidisciplinar	1	4,762%
História Filosofia da Ciência	1	4,762%
Aplicações Interdisciplinares da Matemática	1	4,762%
Mecânica	1	4,762%
Questões Sociais	1	4,762%
Ciências Veterinárias	1	4,762%

Fonte: [Web of Science - Coleção Principal \(Clarivate Analytics / Thomson Reuters\)](#)

Considerando apenas as publicações em língua inglesa, o levantamento realizado com o termo *glyphosate*, abrangendo o período de 1974 até 2025, evidencia um aumento substancial nos estudos relacionados a esse herbicida. Entre 1974 e 1990, foram publicados, em média, 1.069 artigos por ano. No período de 1991 a 2000, essa média subiu para 1.499 artigos por ano; entre 2001 e 2010, para 3.181 artigos por ano; e, de 2011 a 2025, a média anual chegou a 10.836 publicações. Esses dados demonstram um crescimento exponencial da literatura científica sobre o Glifosato desde sua comercialização.

A ciência tem como propósito contribuir com novos saberes, e para isso é essencial que os conhecimentos produzidos sejam compartilhados, compreendidos e reconhecidos. A clareza na comunicação e o estabelecimento de padrões na escrita científica são fundamentais para garantir essa circulação, o que explica a ascensão do inglês como língua franca no meio acadêmico (Fuza, 2017). No entanto, ao mesmo tempo em que o uso do inglês amplia o alcance internacional das pesquisas, ele também cria barreiras para muitos pesquisadores que não dominam o idioma, dificultando sua participação plena na produção científica. Esse cenário revela que as desigualdades no acesso à ciência vão além da linguagem: elas refletem limitações estruturais, sociais e educacionais que restringem a presença de grande parte da população no universo científico. Assim, a construção de uma ciência mais inclusiva exige não apenas domínio técnico, mas também compromisso com a superação dessas barreiras que limitam a democratização do conhecimento. (Fuza, 2017; Fórum de reflexão universitária, 2002).

De igual modo, a divulgação científica é fundamental para a popularização do conhecimento. Por esse motivo, o objetivo principal deste trabalho foi a produção de vídeos animados com o intuito de tornar mais acessíveis e compreensíveis as questões relacionadas ao Glifosato. Os três vídeos desenvolvidos foram publicados e estão disponíveis no canal do orientador desse trabalho Tiago Savignon e no canal oficial da EPSJV no YouTube®, com o propósito de alcançar o maior número possível de pessoas.

A elaboração do trabalho teve início com a criação dos roteiros, nos quais o texto da narração (*off*), a trilha sonora, os efeitos sonoros, as imagens e a duração de cada cena foram cuidadosamente organizadas. A animação foi desenvolvida a partir da narração e, ao longo da montagem das cenas, algumas ideias foram ajustadas, resultando em um produto mais coeso e aprimorado. O roteiro teve papel essencial na condução dos vídeos, servindo não apenas como guia, mas também como ponto de partida para o surgimento de novas ideias, o que contribuiu significativamente para o enriquecimento visual e narrativo do material final.

Sendo uma série de três vídeos, todas possuem a mesma vinheta de abertura e encerramento, mudando apenas o título do vídeo em questão (Figura 17). O primeiro vídeo teve como objetivo explicar o que é o Glifosato e como ele atua nas plantas, de modo a conscientizar os jovens sobre o funcionamento dessa substância (Tabela 3). A proposta é que, ao terem acesso a esse tipo de conhecimento, desenvolvam uma postura mais crítica e consciente, evitando o uso automático de produtos sem compreender seus efeitos e implicações.

Compreender como o Glifosato atua leva a um questionamento relevante: se a substância foi desenvolvida para eliminar plantas, por que justamente aquelas cultivadas pelo agricultor permanecem vivas? Essa indagação encerra o primeiro vídeo e serve como transição para o segundo, ao mesmo tempo em que estimula o pensamento crítico e convida o espectador a refletir sobre os saberes apresentados e suas contradições.

O segundo vídeo aborda, de forma introdutória, conceitos de transgenia, engenharia genética e biotecnologia, temas que fizeram parte da formação na qual este trabalho está inserido e que raramente são explorados no ensino médio convencional. Assim como no vídeo anterior, o conteúdo é finalizado com uma série de perguntas reflexivas, que fazem parte do próprio roteiro e têm o propósito de instigar a curiosidade do espectador e incentivar o pensamento crítico: “Mas já sei o que estão pensando... a planta ainda fica exposta ao herbicida?”, “Ele afeta o meio ambiente?”, “É tóxico para o ser humano?”.

Por fim, o terceiro vídeo apresenta a relação social por trás do uso do Glifosato e da agricultura convencional, destacando a alta utilização de agrotóxicos e os riscos para a população,

especialmente para os grupos mais vulneráveis, como os agricultores. O trabalho se encerra com a frase: “E você? O que você pensa sobre isso? Fique ligado no que acontece à sua volta, pois isso está ligado a você!”, com o intuito de estimular o público a reconhecer que compreender o que acontece ao seu redor é essencial para que possam refletir, posicionar-se criticamente e perceber que, independentemente de suas escolhas, serão impactados pelas decisões tomadas na sociedade.

O primeiro vídeo teve como objetivo explicar o que é o Glifosato e como ele funciona nas plantas, a fim de estimular a curiosidade dos jovens para coisas que não possuem conhecimento, e não serem mecanizados a apenas utilizar as coisas sem saber do que se tratam. Por isso saber como age uma substância aplicada nos alimentos deve ser algo a ser estimulado a entender. Sabendo como ele age, é importante saber como ele ainda assim é utilizado, por isso também o primeiro vídeo encerra com a pergunta “se todas as plantas fazem o mesmo processo, por que justamente as plantas que o agricultor quer não morrem?”, mais uma vez, além de induzir o telespectador a verem o próximo vídeo, a pergunta foi feita para despertar o desejo de conhecimento e a curiosidade de quem está assistindo, Assim chegando ao segundo vídeo explicamos os transgênicos e a engenharia genética da biotecnologia, conhecimento também adquirido no curso de formação em questão, algo dificilmente explicado em uma formação padrão, terminando mais uma vez o vídeo com perguntas reflexivas induzindo ao próximo vídeo e ao raciocínio da situação em questão “mas já sei o que estão pensando... “mas a planta ainda fica exposta ao herbicida?” “Ele afeta o meio ambiente? “são tóxicos para o ser humano?”. Por fim, o terceiro vídeo, é responsável por apresentar e discutir a relação social interligada ao glifosato e seus riscos populacionais provenientes da agricultura convencional, ou seja, alta utilização de agrotóxicos. Problemáticas estas que impactam diretamente agricultores e profissionais desse setor. Sendo assim, conclui-se esse trabalho materializando o preceito de externar saberes e incentivar a absorção dos mesmos através de frases como: e você? O que você pensa sobre isso? fique ligado no que acontece à sua volta, pois isso está ligado a você!.”.

Abaixo estão apresentados os roteiros iniciais das animações e imagens das cenas dos vídeos concluídos que servem de ponto chave para os respectivos vídeos.

Figura 17: Vinheta das animações



Tabela 3: 1 cap. “O mecanismo de ação do Glifosato”

cena	texto (off)	música/efeito sonoro	imagem	tempo
1- Introdução/entrada	“Material educativo produzido por:	Música de entrada	x	
2 - campo	ah! bem bonito não acha? Estamos em uma plantação de soja. É daqui que vem a soja que contribui para alimentos que consumimos cotidianamente como óleo de soja, shoyu(molho de soja) e muitos outros como orientação vegana.	som de natureza e passarinhos	imagem de cima/frent e de uma plantação de soja.	
3 – “daninhas”	claro que em uma campo aberto assim, vai aparecer plantas que não são desejáveis ao agricultor e que podem prejudicar as plantas que ele quer Essas plantas são chamadas de ervas daninhas	passarinhos	mostrar a planta	
4 - herbicida	E para tirá-las, agricultor opta por usar um herbicida, que é um tipo de veneno usado para matar as plantas que o agricultor não quer.	missão impossível	mostrar pulverizador	
5- funciona	o Glifosato é o herbicida mais usado no mundo! Mas sabe como ele funciona?		ilustrar que é um Glifosato.	
6 -aspergido	primeiro ele é aspergido e absorvido pela planta através das folhas.		planta sendo molhada e dando zoom nas folhas.	

7- molecula	com isso a molécula do Glifosato entrada da célula vegetal, chegando ao cloroplasto.		direcionar a célula vegetal depois no cloroplasto.	
8- pera	mas pera! antes de qualquer coisa, deixa eu explicar como a planta funciona normalmente			
	a planta precisa de compostos aromáticos para sobreviver.		mostrar que uma planta saudável é igual a presença de compostos aromáticos	
9- etapas	em uma das etapas para a formação deles, uma enzima se liga a 2 moléculas formando uma nova, onde através dela diversos compostos aromáticos podem ser gerados: Phe: fenilalanina; Trp: triptofano; Tyr: tirosina.			
10- morrem	com isso as plantas morrem, ou melhor, só as plantas daninhas. as plantas que o agricultor quer, não morrem		mostrando a planta morrendo.	
11- perguntar	Mas você pode se perguntar “se todas as plantas fazem o mesmo processo, por que justamente plantas que o agricultor quer sobrevivem?”		voltando a imagem inicial.	

<p>12- fim</p>	<p>Boa pergunta! Isso porque ele utiliza plantas transgênicas. Mas isso é um assunto para outro vídeo!</p>			
----------------	--	--	--	--

Figura 18, 19, 20 e 21: Imagens do video 1



Figura 18: As primeiras cenas demonstram uma plantação de soja, explica o que é o Glifosato e da inicio a explicação do processo bioquímico de ação



Figura 19: Mostrado processo natural das plantas na formação dos compostos aromáticos

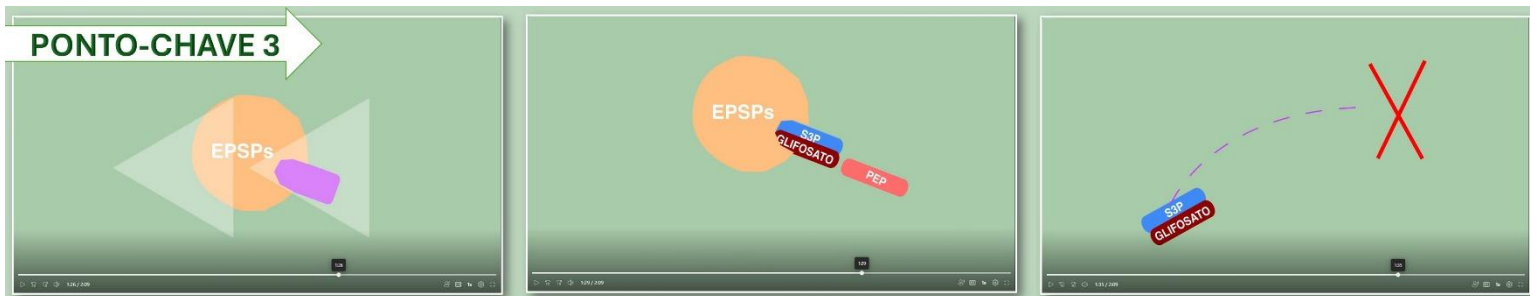


Figura 20: O cenário retorna, mas com o processo sendo interrompido pelo Glifosato

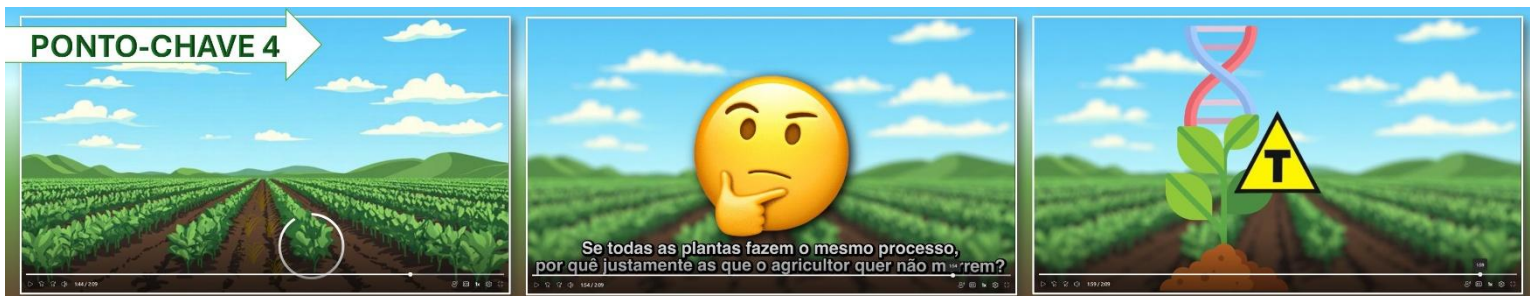


Figura 21: concluindo levantando a questão que todas as plantas morrem menos as transgênicas introduzindo ao próximo vídeo

Tabela 4: 2 cap “As plantas transgênicas”

cena	texto (off)	música/efeito	imagem sonora	tempo
1- Introdução/entrada	“Material educativo produzido por:	Música de entrada	x	arte de introdução
2 - campo	olha só como essa plantação está!	passarinhos	o campo do vídeo anterior	
3 – soja	Mesmo com a utilização de agroquímicos como o Glifosato, as plantas que o agricultor plantou continuam crescendo muito bem!	passarinhos	mostrar a planta	
...	sabe por quê?	
4 - recapitular	Se você assistiu o primeiro vídeo entende bem como o Glifosato age para matar as plantas, inibindo a ação de uma enzima importante e presente em todas as plantas!	som de fita de filme	cena das enzimas em cinza (lembrança) com imagem de gravação	
5- inibe	Então... como o Glifosato não inibe as enzimas especificamente das plantas que o agricultor quer? O que essa enzima tem de especial?	pensativo	fundo embaçado, carinha pensando	
6- explicar	Vou te explicar o que acontece o exatamente!	Efeito de ideia	fundo embaçado, cara com dedo para cima com uma lâmpada acesa	

7- transgênica	o agricultor compra a chamada “planta transgênica”, ou seja, uma planta modificada geneticamente.			
8- soja rr	Vamos ver o exemplo da soja rr, a soja ready roundup.		Mostrar o campo	
9- agrobactéria	os cientistas utilizam as agrobactérias (...pequena pausa...) as bactérias do solo		Dar zoom no solo e mostrando bacterias	
10- plasmídeo	essas bactérias possuem um DNA cromossômico e um outro DNA chamado de plasmídeo. O plasmídeo dá características extras para a bactéria		selecionar as bactérias, mostrando-a por dentro	
11- cientistas	então, sabendo disso, os cientistas manipulam geneticamente o plasmídeo, inserindo nele um gene de uma enzima resistente ao Glifosato		entrando um pedaço do círculo escrito “resistência”	
12- laboratorio	No laboratório, um pedaço de uma planta de interesse é posto em contato com essa bactéria transgênica. Quando a bactéria infecta as células dessa planta, ela transfere o plasmídeo para a célula vegetal, e este plasmídeo é incorporado ao DNA		ligando” na planta e passando o plasmídeo para a célula vegetal	

	vegetal.			
--	----------	--	--	--

Figura 22, 23, 24, 25, 26 e 27: Imagens do vídeo 2



Figura 22: relenbrando o assunto do vídeo anterior e introduzindo a temático dos transgênicos.



Figura 23: Explicando o que são plantas transgênicas e abordando as plantas Ready Roundup

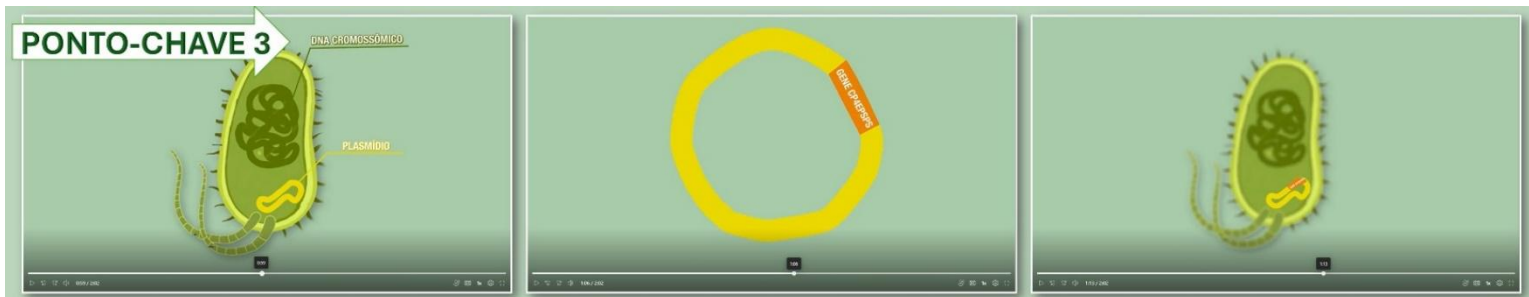


Figura 24: Mostrando de forma lúdica a modificação genética que ocorre na bactéria que infecta a planta e faz o processo de transgênia.



Figura 25: Continuação do processo laboratorial.



Figura 26: A planta passa a possuir o gene e expressar a enzima resistente ao glifosato.



Figura 27: Assim as plantações não são afetadas com o agrotóxico.

Tabela 5: 3 cap. “Impactos do herbicida Glifosato”

cena	texto (off)	música / efeitos sonoros	Imagem
1- introdução		música de entrada	
2- impacto	muitas pessoas têm dúvidas sobre o impacto dos agrotóxicos e se eles fazem mal para a saúde humana.		perguntas aparecendo na tela com pontos de interrogação
3- vamos lá	Então estou aqui para tirar algumas delas! Vamos lá? como a gente conversou antes, esses produtos são um veneno.		mostrar parte do cenário do vídeo 1 (aspergindo o Glifosato) e depois fica o fundo embaçado, e, por cima mostrar os elementos de alvo com um ‘X’ em cima deles
4- sim	sim são produtos perigosos e, sim..., podem permanecer no alimento comercializado		signal de tóxico
5- IDA LMR	Por isso, as autoridades responsáveis pelo controle dos agrotóxicos determinaram diferentes normas de segurança para alimentos que entram em contato com os agrotóxicos, como		mostrar uma imagem de fiscalizadores na fazenda

	a Ingestão Diária Aceitável e o Limite Máximo de Resíduos .		depois mostrar os termos IDA e LMR como está no texto
6- não	“então a questão dos agrotóxicos está resolvida??” não.	entre o “e” e o “não” um som de “pê” erro)	uma carinha feliz depois ficando triste
7- problema	Isso porque o maior problema enfrentado é a grande utilização dos agrotóxicos. O que, mesmo com as plantas transgênicas, que prometiam diminuir o uso dos agrotóxicos, na verdade só aumentou. Na Europa, foi analisada a quantidade média de resíduos de agrotóxicos nos alimentos e essa quantidade não apresentava risco para a saúde da população.		imagem do mapa indo para a europa mostrando o alimento e a medida da imagem da Bombardi
8- limite	Mas .quando comparamos o limite de resíduos de agrotóxicos encontrados alimentos na UE com o do Brasil, o Glifosato no café e na cana-de-açúcar por exemplo, é 10 vezes maior		o mapa volta para o Brasil com essa medida e monta a comparação com a do Brasil
9- água	E... em relação ao limite para resíduos de Glifosato em água “potável” no Brasil é 5.000 vezes maior do que o limite na UE.		mostrar a imagem da Bombardi em cima do Brasil
10- EPI	Muita coisa né? Isso torna mais provável o contato indireto com os agrotóxicos, agora você imagina esse cenário para as pessoas que têm contato direto com esses produtos? como os agricultores. Que, por mais que utilizem Equipamentos de Proteção Individual, manuseiam por anos aquele produto e moram próximos a essas plantações.		dar um zoom no Brasil para os agricultores aspergindo. depois mostrar a mesmo estilo de imagem com EPI
11- pulverizado	E como o Glifosato, os agrotóxicos que são pulverizados se espalham mais facilmente com o vento, alcançando rios, florestas e moradias próximas		abrir o cenário mostrando a casa perto, com uma “fumaça” do herbicida indo em direção da casa dele, e a para o rio próximo

12- povos originários	como por exemplo os povos povos originários, que em 9 anos 217 pessoas notificaram envenenamento com agrotóxicos		a tela vai “correr” para o lado e mostrar os povos povos originários o gráfico da Bombardi na frente
13- agroecologia	não é fácil minha gente Enquanto o agronegócio só pensam na necessidade do uso dos agrotóxicos para a monocultura, outros prezam pela saúde da população, considerando os outros métodos de cultivos, estudados pela agroecologia.		voltar para o cenário inicial de plantação embaçado com uma balança pesando os dois lados
14- fique ligado	e você? O que você pensa sobre isso? fique ligado no que acontece à sua volta, pois isso está ligado a você!		mostra a plantação e na última frase a tela se distancia e aparece a terra, e fim

Figura 28, 29,30,31 e 32: Imagens do video 3



Figura 28: agrotóxico são venenos aplicados nas plantações e existem órgãos fiscalizadores.



Figura 29: O maior problema é a sua grande quantidade aplicada, que ao longo do tempo só tem aumentado e ultrapassado o limite adequado, principalmente os estipulados de outros países.



Figura 30: O limite estipulado no Brasil é muito maior de o da Europa, tornando mais provável o contato indireto, entra a questão dos agricultores, que trabalham diariamente com os agrotóxicos tendo contato direto.



Figura 31: Mesmo usando EPI, o contato com o produto é inevitável, sendo um problema para todas as pessoas que possam morar próximas a essas plantações, como os povos indígenas.



Figura 32: O vídeo se encerra comparando as prioridades do agronegócio e a agroecologia, incentivando o telespectador a ter um pensamento crítico e a se interessar pelos acontecimentos sociais e científicos.

Os vídeos podem ser assistidos pelo canal da EPSJV no Youtube®, com o título da série “Do TCC para você”, através desse link: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLbaIPiLbfBCgqHXtTd8KnLilCYsqGaNb> ou no canal do meu orientador, com o título da série glifosato, por meio do link: https://www.youtube.com/playlist?list=PLWGhvXF036hRrwKJ7_LHjDjPdtZzrIIQu.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal realizar uma revisão bibliográfica abrangente sobre o Glifosato, explorando desde seu mecanismo de ação até os efeitos na saúde humana, tanto em sua dimensão biológica quanto social, além da elaboração de materiais audiovisuais voltados à divulgação científica. A escolha do tema foi motivada por uma inquietação pessoal e pelo desejo de compreender, de forma mais profunda, o que são os agrotóxicos e de que maneira eles interferem em nosso cotidiano. No decorrer da pesquisa, tornou-se evidente a relevância de tornar esse conhecimento acessível à população em geral, uma vez que a linguagem científica, com frequência, se mantém restrita ao meio acadêmico. A partir dessa constatação, surgiu a proposta de desenvolver uma animação educativa que abordasse não apenas os aspectos bioquímicos e fisiológicos do Glifosato, mas também os processos de transgenia diretamente associados ao seu uso e os impactos sociais gerados pela sua ampla aplicação.

O Glifosato é um herbicida de amplo espectro que atua inibindo uma enzima essencial na via do ácido chiquímico, comprometendo a síntese de aminoácidos aromáticos nas plantas, o que o torna altamente eficiente, porém não seletivo. Seu amplo uso na agricultura acarreta um elevado risco de exposição, e sua toxicidade para os seres humanos é demonstrada pelo crescente número de casos de contaminação registrados. Desde a sua introdução, o número de publicações científicas sobre o tema aumentou significativamente, com cerca de dez vezes mais artigos atualmente do que em períodos anteriores. No entanto, uma análise comparativa entre os descritores “Glifosato” e “glyphosate” revelou uma diferença expressiva: para cada artigo em português, há aproximadamente 791 em inglês. Esse dado evidencia não apenas o domínio da língua inglesa na produção científica, mas também uma lacuna preocupante na divulgação do conhecimento em regiões onde o Glifosato é amplamente utilizado, como o Brasil. Isso reforça a necessidade de valorização da ciência nacional e da ampliação do acesso ao conhecimento científico em língua portuguesa, papel exercido pela divulgação científica.

A metodologia adotada neste trabalho, centrada na revisão bibliográfica, foi fundamental para reunir e sistematizar informações atualizadas e confiáveis sobre o Glifosato, além de embasar a produção dos vídeos educativos. O uso do software ChemMapper® possibilitou uma análise de similaridade molecular entre o Glifosato e o glutamato, um dos principais aminoácidos atuantes no sistema nervoso central. A alta pontuação de similaridade entre essas moléculas sugere possíveis relações com distúrbios neurodegenerativos, considerando que o glutamato está diretamente

envolvido em diversas funções neurológicas e em processos patológicos quando presente em excesso. Esse achado pode servir como base para futuras investigações sobre os efeitos neurotóxicos do Glifosato, ampliando o debate sobre os riscos à saúde humana.

O trabalho contou com três objetivos específicos: (1) descrever as características do Glifosato, incluindo seu mecanismo bioquímico de ação como herbicida e sua aplicação na agricultura; (2) analisar os efeitos tóxicos sobre a população, tanto no contexto ocupacional quanto da população geral; e (3) produzir três vídeos educativos sobre o Glifosato, plantas transgênicas e os potenciais efeitos à saúde. Todos os objetivos foram alcançados com êxito. A produção audiovisual, realizada com o apoio do Núcleo de Tecnologias Educacionais em Saúde e Educação (NUTED), foi concebida para facilitar o acesso ao conhecimento e promover a compreensão sobre um tema complexo, tornando-o mais visual, acessível e até mesmo lúdico, sem perder o rigor científico. Além da elaboração do material educativo, o trabalho foi apresentado em eventos acadêmicos relevantes, como a VII Jornada Fluminense de Produtos Naturais, cujo foco foi “Conservação, Sustentabilidade e Inovação”, e a Reunião Anual de Iniciação Científica (RAIC) da Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio/Fiocruz. Esses espaços possibilitaram a discussão do tema sob diferentes perspectivas e reforçaram a relevância da pesquisa tanto para a comunidade científica quanto para a sociedade em geral.

Dessa forma, este trabalho contribui significativamente para a ampliação do conhecimento acadêmico sobre o Glifosato, reunindo informações atualizadas, explorando possibilidades de pesquisa por meio de modelagens moleculares e evidenciando a desigualdade linguística na produção científica. Simultaneamente, oferece à população um recurso educativo acessível, que promove a alfabetização científica e fomenta a reflexão crítica sobre os impactos dos agrotóxicos. Espera-se que esta iniciativa inspire outras práticas que integrem ciência, educação e comunicação, fortalecendo o diálogo entre o saber acadêmico e os interesses sociais.

REFERÊNCIAS

- Albergoni, L.; Pelaez, V. Da Revolução Verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas? *Revista de Economia*, [S. L.], v. 33, n. 1, 6 ago. 2007. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/economia/article/view/8546> Acesso em: 7 jan. 2025.
- Campagnolla, C.; Macêdo, M. M. C. Revolução Verde: passado e desafios atuais. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, [S. L.], v. 39, n. 1, p. 26952, 13 jun. 2022. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/26952> Acesso em: 7 jan. 2025.
- Caporal, F. R.; Costabeber, J. A. *Agroecologia. Enfoque científico e estratégico*. [S. L.], 2000.
- Carvalho, M. M. X. de; 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*, [S. L.], v. 24, p. 75–91, mar. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hcsm/a/4nb7f644mx4bfjvdhfgfnc/?Lang=pt> Acesso em: 7 jan. 2025.
- Nodari, R. O.; Guerra, M. P. A agroecologia: estratégias de pesquisa e valores. *Estudos Avançados*, [S. L.], v. 29, p. 183–207, abr. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/ndldmtrbxwsnhbcqvypzy6r/?Format=html> Acesso em: 5 abr. 2025.
- Paterniani, E. Agricultura sustentável nos trópicos. *Estudos Avançados*, [S. L.], v. 15, p. 303–326, dez. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/y3gxh64789jhtyjfrczbszh> Acesso em: 6 abr. 2025.
- Vieites, R. G. Agricultura sustentável: uma alternativa ao modelo convencional. *Revista Geografar*, [S. L.], v. 5, n. 2, 10 dez. 2010. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/20133> Acesso em: 8 abr. 2025.
- Wachekowski, G. Et al. *Agrotóxicos, revolução verde e seus impactos na sociedade: revisão narrativa de literatura*. [S. L.], [s. D.].
- Carneiro, F. F. Dossiê Abrasco: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. [S. L.]:EPSJV/Expressão Popular, 2015. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/26221>
- Londres, F. *Agrotóxicos no Brasil: um guia para ação em defesa da vida*. 2a edição. Rio de Janeiro: Rede Brasileira de Justiça Ambiental: Articulação Nacional de Agroecologia, 2012.
- Roman, E. S. Et al. *Como funcionam os herbicidas*. [S. L.: s. N.], 2007. Disponível em: <https://www.upherb.com.br/int/como-funcionam-os-herbicidas>.
- Albaglifosato, S. Divulgação científica: Informação científica para cidadania. *Ciência da Informação*, [S. L.], v. 25, n. 3, 1996. Disponível em: <https://revista.ibict.br/ciinf/article/view/639>. Acesso em: 9 nov. 2024.
- Amaral, E. I.; ROSA, A. C. S.; Sarcinelli, p. d. n. estudo da exposição ambiental ao glifosato na área agrícola da serrinha do mendanha. *Agrotóxicos: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, [S. L.], v. 23, 31 dez. 2013. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/agrotóxicos/article/view/34998>. Acesso em: 20 out. 2024.

Amarante junior, o. P. De et al. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. *Química nova*, [s. L.], v. 25, p. 589–593, jul. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/z9djg6fy8zqr79ch8cdxwvp/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 23 set. 2024.

Bombardi, I. M. Geography of asymmetry: the vicious cycle of pesticides and colonialism in the commercial relationship between mercosur and the european union. 8 maio 2021. Disponível em: <https://left.eu/events/eumercosur-the-vicious-circle-of-pesticides>. Acesso em: 16 nov. 2024.

Bombardi, I. M.; ribeiro, s. A.; silva, g. C. Impacts of pesticides use and international regulation. [s. L.: s. N.], mar. 2023. Disponível em: <https://regenerationinternational.org/2024/07/06/impacts-of-pesticides-use-and-international-regulation/>.

Branco, a. B. De g. Et al. Alfabetização e letramento científico na bncc e os desafios para uma educação científica e tecnológica. *Revista Valore*, [s. L.], v. 3, p. 702–713, 26 dez. 2018. Disponível em: <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/174> acesso em: 21 nov. 2024.

Carneiro, F. F. Dossiê Abrasco: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. [S. L.]: EPSJV / Expressão Popular, 2015. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/26221> Acesso em: 23 set. 2024.

Castilhos Ghisi, N. *Et al.* Glyphosate and its toxicology: A scientometric review. *Science of The Total Environment*, [S. L.], v. 733, p. 139359, 1 set. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972032876X> Acesso em: 23 set. 2024.

Delfino, s. s.; Pinho Neto, J. A. S. de; Sousa, M. R. F. de. desafios da sociedade da informação na recuperação e uso de informações em ambientes digitais. *RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação*, [S. L.], v. 17, p. E019036, 22 mar. 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rdbci/a/3qsmrkt9sysynbjtvbxgs4q/?Lang=pt> Acesso em: 21 nov. 2024.

Friedrich, K. *Et al.* Toxicologia crítica aplicada aos agrotóxicos – perspectivas em defesa da vida. *Saúde em Debate*, [S. L.], v. 46, p. 293–315, 4 jul. 2022. Disponível em: <https://scielosp.org/article/sdeb/2022.v46nspe2/293-315/> Acesso em: 20 nov. 2024.

Funke, T. *Et al.* Molecular basis for the herbicide resistance of Roundup Ready crops. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, [S. L.], v. 103, n. 35, p. 13010–13015, 29 ago. 2006. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1559744/> Acesso em: 25 set. 2024.

Garcia, D. de B. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. [S. L.], 2018. GRESS, S. *Et al.* Glyphosate-Based Herbicides Potently Affect Cardiovascular System in Mammals: Review of the Literature. *Cardiovascular Toxicology*, [S. L.], v. 15, n. 2, p. 117–126, 1 abr. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12012-014-9282-y> Acesso em: 20 nov. 2024.

Guedes, J. De A. a crise da ciência moderna e a busca de uma superação. *Revista Geotemas*, [S. L.], v. 2, n. 2, p. 121–130, 31 dez. 2012. Disponível em: <https://periodicos.apps.uern.br/index.php/geotemas/article/view/374>.

- Limberger, C. Investigação dos efeitos centrais do Glifosato em ratos wistar. Accepted: 2022- 04-05T04:42:18Z, 2019. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/236543> Acesso em: 23 set. 2024.
- Londres, F. Agrotóxicos no Brasil: um guia para ação em defesa da vida. 2a edição. Rio de Janeiro: Rede Brasileira de Justiça Ambiental : Articulação Nacional de Agroecologia, 2012.
- Mansur, V. *Et al.* Da publicação acadêmica à divulgação científica. Cadernos de Saúde Pública, [S. L.], v. 37, p. E00140821, 7 jul. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/ftdtqby7rlbdxhbbfkszxx/> Acesso em: 9 nov. 2024.
- McQueen, h.; Callan, a. c.; Hinwood, A. L. Estimating maternal and prenatal exposure to glyphosate in the community setting. International Journal of Hygiene and Environmental Health, [S. L.], v. 215, n. 6, p. 570–576, nov. 2012.
- Menezes, S. L. M. Plantas e metabólitos secundários: uma proposta para o ensino de química orgânica. 2020. Masterthesis – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/28885> Acesso em: 22 nov. 2024.
- Monquero, P. A. Plantas transgênicas resistentes aos herbicidas: situação e perspectivas. Bragantia, [S. L.], v. 64, n. 4, p. 517–531, 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S0006-87052005000400002&lng=pt&tlng=pt Acesso em: 26 out. 2024.
- Navas, A. L. G. P. *Et al.* Divulgação científica como forma de compartilhar conhecimento. Cogas, [S. L.], v. 32, n. 2, p. E20190044, 2020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S2317-17822020000200101&tlng=pt Acesso em: 9 nov. 2024.
- Neto, J. R. S. Alcance da divulgação científica por meio do youtube: Estudo de caso no canal Meteoro Brasil. Múltiplos Olhares em Ciência da Informação, [S. L.], V. 8, n. 2, 17 nov. 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/moci/article/view/16885> Acesso em: 21 nov. 2024.
- Nodari, R. O.; Guerra, M. P. Plantas transgênicas e seus produtos: impactos, riscos e segurança alimentar (Biossegurança de plantas transgênicas). Revista de Nutrição, [S. L.], v. 16, P. 105–116, jan. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rn/a/zyhcld55tkfmmnr4sdsb9w/>. Acesso em: 23 set. 2024.
- Oliveira, M. J. De; vecchia, f. A. Da s.; Carneiro, C. D. R. A educação no contexto do aquecimento global: da ignorância e analfabetismo científico ao raciocínio crítico e literacia climática. Periódico eletrônico. Fórum ambiental da alta paulista, [s. L.], v. 11, n. 4, 13 dez. 2015. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/1292 Acesso em: 21 nov. 2024.
- Orellana-Guevara, C.; Araya, H. C. Materiales didácticos digitales: proceso de creación de un video animado como apoyo al quehacer docente. Innovaciones Educativas, [S. L.], v. 23, n. 34, p. 166–179, 14 jun. 2021. Disponível em: <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/innovaciones/article/view/3195> Acesso em: 20 nov. 2024.
- Rawat, D. *Et al.* Hazardous impacts of glyphosate on human and environment health: Occurrence and detection

in food. *Chemosphere*, [S. L.], v. 329, p. 138676, jul. 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653523009438> Acesso em: 23 set. 2024.

Reale, M. V.; Martyniuk, V. L. Divulgação Científica no Youtube: a construção de sentido de pesquisadores nerds comunicando ciência. 9 set. 2016. Disponível em: <https://ecoarte.info/divulgacao-cientifica-no-youtube/> . Acesso em: 21 nov. 2024.

Roman, E. S. *Et al.* Como Funcionam os Herbicidas - da Biologia à Aplicação. 21. Ed. [S. L.:S. N.], 2007. Disponível em: <https://www.upherb.com.br/int/como-funcionam-os-herbicidas>. Soares, D. *Et al.* Glyphosate Use, Toxicity and Occurrence in Food. *Foods*, [S. L.], v. 10, n. 11, P. 2785, 12 nov. 2021. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8622992/> Acesso em: 3 out. 2024.

Sobreira, A. E. G.; Adissi, P. J. Agrotóxicos: falsas premissas e debates. *Ciência & Saúde Coletiva*, [S. L.], v. 8, p. 985–990, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/8dhq3gpdhb6nnt8srs3tqxn/> Acesso em: 21 nov. 2024.

Starcevic, A. *Et al.* Enzymes of the shikimic acid pathway encoded in the genome of a basal metazoan, *Nematostella vectensis*, have microbial origins. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, [S. L.], v. 105, n. 7, p. 2533, 11 fev. 2008. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2268171/> Acesso em: 26 out. 2024.

Tarazona, J. V. *Et al.* Glyphosate toxicity and carcinogenicity: a review of the scientific basis of the European Union assessment and its differences with IARC. *Archives of Toxicology*, [S. L.], v. 91, n. 8, p. 2723–2743, 1 ago. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00204-017-1962-5> . Acesso em: 20 nov. 2024.

Viero, C. M. *Et al.* Sociedade de risco: o uso dos agrotóxicos e implicações na saúde do trabalhador rural. *Escola Anna Nery*, [S. L.], v. 20, p. 99–105, mar. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ean/a/5Fqb6DL4WdCg7dhXffzNNSR> Acesso em: 15 out. 2024.

Winstone, J. K. *Et al.* Glyphosate infiltrates the brain and increases pro-inflammatory cytokine tnfα: implications for neurodegenerative disorders. *Journal of Neuroinflammation*, [S. L.], v. 19, n. 1, p. 193, 28 jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12974-022-02544-5> . Acesso em: 19 nov. 2024.


ANEXO

Figura X: Reunião Anual de Iniciação Científica (RAIC) da EPSJV/Fiocruz

GLIFOSATO: MECANISMO DE AÇÃO E EFEITOS NA SAÚDE HUMANA – UMA ABORDAGEM VISUAL

Pesquisa realizada por Emily de Almeida da Vitoria, Tiago Savignon Cardoso Machado e Simone Sacramento Valverde

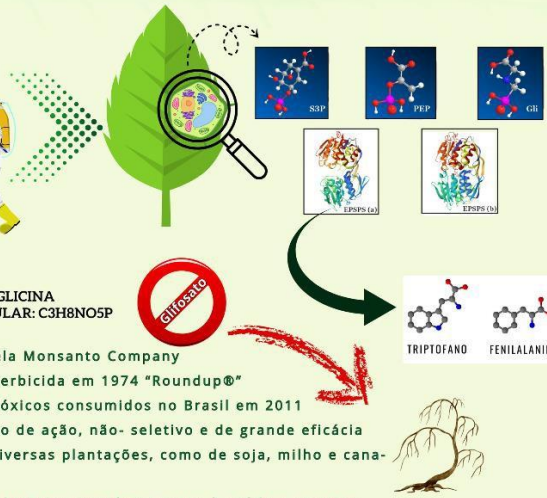
INTRODUÇÃO



N- FOSFONOMETIL GLICINA
FÓRMULA MOLECULAR: C₃H₈NO₅P
(M.M = 169,1 G/MOL)

Glifosato

- patenteado pela Monsanto Company
- surgiu como herbicida em 1974 "Roundup®"
- 40% dos agrotóxicos consumidos no Brasil em 2011
- amplo espectro de ação, não- seletivo e de grande eficácia
- aplicado em diversas plantações, como de soja, milho e cana-de-açúcar
- a discussão sobre seus possíveis riscos à saúde e ao meio ambiente continua.



O glifosato impede a planta de produzir aminoácidos essenciais para formar proteínas. Sem essas proteínas, a planta não consegue realizar suas funções vitais. Como resultado, ela acaba morrendo.

TRIPTOFANO FENILALANINA TIROSINA

O glifosato impede a planta de produzir aminoácidos essenciais para formar proteínas. Sem essas proteínas, a planta não consegue realizar suas funções vitais. Como resultado, ela acaba morrendo.

OBJETIVOS e METODOLOGIA

Esta pesquisa teve como objetivo a revisão à literatura científica sobre o glifosato e seus usos com vistas a popularização da ciência.

Foi realizado o levantamento bibliográfico científico com:

- As bases de dados PubMed, SciELO e Periódicos CAPES
- O recorte temporal de 1974 a 2023
- Os descritores "herbicide", "glyphosate"

Através da elaboração de roteiros, edições de imagens e preparação de áudios, a animação abordará temas como:

- O funcionamento do glifosato no cultivo.
- As plantas transgênicas resistentes ao herbicida.
- Os possíveis efeitos do glifosato a saúde.

PARCIAIS RESULTADOS

O projeto está progredindo com a revisão da literatura sobre o glifosato, a fim de elucidar seus efeitos a saúde humana. ANVISA não classifica o glifosato como tóxico segundo as normas vigentes, mas os debates sobre seus potenciais riscos ainda persistem. A criação de um vídeo animado para ilustrar o funcionamento do glifosato de forma acessível, especialmente para jovens e adolescentes, está se desenvolvendo para promover o conhecimento científico à população.

REFERENCIAS


Junior A., O. P. DE et al. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. Química Nova, v. 25, n. 4, p. 589–593, 2002.

Limberger, Christian. Investigação dos efeitos centrais do glifosato em ratos wistar. 2019.


Roman, Erivelton Scherer et al. Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação. Passo Fundo: Berthier, 2007

Roteiro da animação


Tempo	Conteúdo	Imagem	Áudio	Legenda
00:00	Introdução			
00:15	Definição de glifosato			
00:30	Como funciona o glifosato			
00:45	Efeitos na saúde humana			
01:00	Conclusão			



ESCOLA POLITÉCNICA DE SAÚDE JOAQUIM VENÂNCIO



Ministério da Saúde
FIOCRUZ
Fundação Oswaldo Cruz



Aqui somos SUS

Figura X: VII Jornada Fluminense de Produtos Naturais – UFF NAB



CARACTERÍSTICAS, MECANISMO DE AÇÃO E IMPACTOS DO HERBICIDA GLIFOSATO

Emily de A. da Vitoria¹(EPSJV), Simone S. Valverde²(PQ), Tiago S. Cardoso Machado¹(EPSJV), Temístocles B. de Oliveira² (PQ)

¹ Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio/FIOCRUZ, Rio de Janeiro/ RJ, Brasil

² Laboratório de Tecnologia para a Biodiversidade (TECBIO/LaQMed),

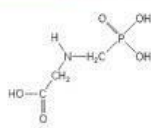
Departamento de Produtos Naturais

Instituto de Tecnologia em Fármacos (Farmanguinhos)/ FIOCRUZ, Rio de Janeiro/ RJ, Brasil

Contato: simone.valverde@fiocruz.br



INTRODUÇÃO



N- fosfonometil glicina
fórmula molecular: C₃H₈NO₅P
(m.m = 169,1 g/mol)

Figura 1. Estrutura do glifosato

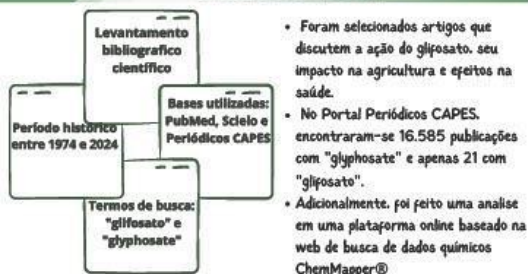
O glifosato é o princípio ativo herbicida mais utilizado no mundo devido à sua eficácia em eliminar plantas daninhas, representando 40% dos agroquímicos consumidos no Brasil em 2011; Insereu-se como herbicida em 1974 como Roundup® (Figura 1). Não é seletivo e possui amplo espectro de ação, utilizado em diversas culturas, como soja e milho, em especial plantas transgênicas resistentes ao glifosato.

A intoxicação com glifosato afeta principalmente populações residentes de locais próximos às plantações, como povos indígenas, quilombolas e os agricultores. O ChemMapper é uma ferramenta de mapeamento químico que utilizando cálculos de similaridade molecular em 3D, com o método interno SHAFTS, combina superposição de formas moleculares e correspondência de características químicas. O glifosato foi submetido a esse recurso para contribuir na elucidação dos possíveis efeitos adversos deste princípio ativo.



Rank	Similarity	Pub. ID	Year	Score	Score 2	Score 3	Score 4	Score 5
1	0.999	Pub. 1000	2019	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
2	0.998	Pub. 1001	2019	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
3	0.997	Pub. 1002	2019	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997
4	0.996	Pub. 1003	2019	0.996	0.996	0.996	0.996	0.996
5	0.995	Pub. 1004	2019	0.995	0.995	0.995	0.995	0.995
6	0.994	Pub. 1005	2019	0.994	0.994	0.994	0.994	0.994
7	0.993	Pub. 1006	2019	0.993	0.993	0.993	0.993	0.993
8	0.992	Pub. 1007	2019	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992
9	0.991	Pub. 1008	2019	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991
10	0.990	Pub. 1009	2019	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990

METODOLOGIA



RESULTADOS E DISCURSÃO

O glifosato inibe a enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs) que é essencial para a formação de aminoácidos aromáticos (figura 2). De forma convencional seus ligantes são chiquimato-3-fosfato (S3P) e o fosfoenolpiruvato (PEP), contudo o glifosato se liga à EPSPs e bloqueia sua ação, impedindo a planta de produzir três aminoácidos essenciais, resultando em sua morte.

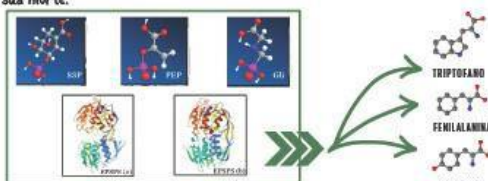


Figura 2. Apresenta as moléculas envolvidas na formação de compostos aromáticos e o glifosato, elaboradas no ChemBioDraw®. Na parte inferior, estão as formas abertas (a) e fechadas (b) da enzima EPSPs, obtidas do RCSB Protein Data Bank. À esquerda estão os principais compostos aromáticos produzidos pela via, estruturadas no ChemsSketch®.

CONCLUSÃO

Em 2019, a ANVISA reavaliou o glifosato e concluiu que não é classificado como tóxico, embora continue o debate sobre seus potenciais riscos à saúde e ao meio ambiente. O ChemMapper mostrou ser uma ferramenta eficaz nos dois primeiros possíveis receptores do glifosato em humanos.

REFERÊNCIAS

- Júnior A. O. P. DE et al. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. Química Nova, v. 25, n. 4, p. 589-593, 2002.
- Limberger, Christian. Investigação dos efeitos centrais do glifosato em ratos wistar. 2019.
- Roman, Erivelton Scherer et al. Como funcionam os herbicidas: da biologia à aplicação. Passo Fundo: Berthier, 2007

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam agradecimentos à Fiocruz, à Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio e a Farmanguinhos.

