



IMPACTOS DO USO DE HERBICIDAS UTILIZADOS EM CULTURA DE TRIGO NO MEIO AMBIENTE E NA SAÚDE HUMANA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Impacts of using herbicides utilized in wheat culture on the environment and human health: a systematic review of the literature

Alice Munz Fernandes, Mateus Zanella, Daniela Garcez Wives, Leonardo Bohn
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil

Email: alicemunz@gmail.com, mathzanella@hotmail.com, garcezd@gmail.com, leobohn@hotmail.com

RESUMO

O trigo é uma cultura de inverno que impulsiona o desenvolvimento do agronegócio, caracterizando-se como matéria-prima responsável por aproximadamente metade da alimentação mundial. Nesse sentido, a dessecação pré-colheita se torna necessária, haja vista a incidência de aspectos econômicos e climáticos, sobretudo considerando a implantação da cultura posterior. Contudo, para tal processo, o uso de herbicidas que antecipam a maturação do grão pode ocasionar acúmulo de resíduos químicos no produto que será ingerido. Assim, a pesquisa realizada teve como objetivo analisar de que maneira a literatura científica aborda, conjuntamente, a temática da utilização de herbicidas para a dessecação do trigo em consonância com os riscos relacionados a essa prática. Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática da literatura científica disponível na base de dados *PubMed*, entre 2016 e 2022. A busca resultou em um portfólio final composto por 12 artigos científicos. Os resultados indicaram que os herbicidas citados como prejudiciais ao meio ambiente por contaminação de solo e água foram: glifosato, 2,4-D, suflufenacil, ametrina e atrazina, e; os prejudiciais à saúde humana por acúmulo de resíduos no grão corresponderam ao glifosinato de amônio, clopiralide e bixlozone. Também se constatou que o glifosato apresenta relação com problemas intestinais (disbiose) e o butacloro ocasiona efeitos hepatotóxicos. Dessa maneira, evidenciou-se que é iminente a existência de equilíbrio na cultura de trigo com vistas a torná-la mais rentável para o produtor rural sem prejudicar a saúde ambiental e humana. Portanto, sugere-se o estabelecimento de Limites Máximos de Resíduos (LMRs) para todos os herbicidas utilizados no Brasil, bem como o desenvolvimento e a implementação de políticas públicas de saúde. Assim, infere-se a relevância de maximizar a fiscalização quanto ao cumprimento da legislação concernente ao uso de agrotóxicos, em paralelo a intensificação de campanhas de conscientização e de orientação aos produtores rurais.

Palavras-chave: Herbicidas, Meio Ambiente, Saúde, Trigo.

ACEITO EM: 10/12/2023

PUBLICADO EM: 30/12/2023



IMPACTS OF USING HERBICIDES UTILIZED IN WHEAT CULTURE ON THE ENVIRONMENT AND HUMAN HEALTH: A SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE

Impactos do uso de herbicidas utilizados em cultura de trigo no meio ambiente e na saúde humana: uma revisão sistemática da literatura

Alice Munz Fernandes, Mateus Zanella, Daniela Garcez Wives, Leonardo Bohn
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil

Email: alicemunz@gmail.com, mathzanella@hotmail.com, garcezd@gmail.com, leobohn@hotmail.com

ABSTRACT

Wheat is a winter crop that drives the development of agribusiness, being characterized as the raw material responsible for approximately half of the world's diet. In this sense, pre-harvest desiccation becomes necessary, given the incidence of economic and climatic aspects, especially considering the implementation of the subsequent culture. However, for such a process, the use of herbicides that anticipate the maturation of the grain can cause the accumulation of chemical residues in the product that will be ingested. Thus, the research carried out aimed to analyze how the scientific literature jointly addresses the issue of the use of herbicides to desiccate wheat in line with the risks related to this practice. To this end, a systematic review of the scientific literature available in the PubMed database was carried out between 2016 and 2022. The search resulted in a final portfolio consisting of 12 scientific articles. The results indicated that the herbicides mentioned as harmful to the environment due to soil and water contamination were: glyphosate, 2,4-D, sufflufenacil, ametrine and atrazine, and; those harmful to human health due to the accumulation of residues in the grain corresponded to ammonium glyphosinate, clopyralid and bixlozone. It was also found that glyphosate is related to intestinal problems (dysbiosis) and butachlor causes hepatotoxic effects. In this way, it became evident that the existence of balance in the wheat crop is imminent in order to make it more profitable for the rural producer without harming environmental and human health. Therefore, it is suggested the establishment of Maximum Residue Limits (MRLs) for all herbicides used in Brazil, as well as the development and implementation of public health policies. Thus, it is inferred the relevance of maximizing inspection regarding compliance with legislation concerning the use of pesticides, in parallel with the intensification of awareness campaigns and guidance to rural producers.

Keywords: Herbicides. Environment. Health. Wheat.

INTRODUÇÃO

Após a Segunda Guerra Mundial, a agricultura passou por um significativo processo de transformação, pois a industrialização se mostrou uma alternativa eficiente para resolver o problema da escassez de alimentos que assolava múltiplas nações. Os produtores rurais passaram a modernizar suas técnicas agrícolas, investindo em tecnologia e em práticas modernas, incluindo a utilização de sementes melhoradas geneticamente. Ao mesmo tempo, a produção tornou-se condicionada a utilização de agentes químicos, e em doses cada vez mais elevadas (Folgado, 2013; Leite, 2013).

Assim encontra-se o cenário mundial da agricultura, aumentando sua produção para combater a fome e fomentar a economia. Nesse contexto, tem-se o trigo, caracterizado como um dos primeiros cereais historicamente cultivados pelo homem e o segundo mais produzido, integrando a alimentação de metade da população mundial (Wang et al., 2012). Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) juntamente com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), na última safra de trigo (2021/2022), o Brasil cultivou 2,7 milhões de hectares do produto, produzindo mais de oito milhões de toneladas (CNA-Brasil, 2022).

E, em função do clima frio, a Região Sul do país destaca-se no cultivo desse cereal, sendo a principal cultura de inverno, cuja tendência indica maximização da produtividade como mecanismo para potencializar o agronegócio. Para tanto, uma das principais alternativas diz respeito à antecipação do período de colheita do trigo para a semeadura da soja em época climática considerada mais adequada, sendo, portanto, necessário realizar uma dessecação pré-colheita (Marcos Filho, 2004).

Sob o aspecto agrônômico, reconhece-se a existência de maturidade fisiológica vegetal, isto é, identifica-se o momento em que termina a transferência de nutrientes da planta para a semente tendo em vista o seu potencial fisiológico máximo. Esse processo está associado à dormência e posterior deterioração das sementes (Lacerda, Lazarini, Sá & Valério Filho, 2005). A prática da dessecação por meio da utilização de herbicidas antecipa o período de colheita do trigo, reduz possíveis interferências das plantas daninhas e o grão colhido não sofre alterações de qualidade (Agostinetto, Fleck & Menezes, 2001).

A antecipação da colheita do trigo oportunizada pelo uso de herbicidas dessecantes também está alinhada à preservação da qualidade fisiológica das sementes devido a rápida perda de água. Esse processo evita o dano causado pela variação da umidade relativa do ar, que associada ao atraso da colheita, pode apresentar rachaduras e enrugamentos em tegumentos, acelerando a deterioração por patógenos e expondo o tecido embrionário ao ambiente (Daltro et al., 2010; Marcandalli, Lazarini & Malaspina, 2011).

Contudo, a utilização de herbicidas dessecantes na pré-colheita pode ocasionar o transporte dos produtos químicos até os grãos, o que implica na contaminação direta do produto que, em sua maioria, é consumido no formato de farinha (Seidler *et al.*, 2019). Nesse sentido, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2016) aponta que a qualidade na produção agrícola deve ser assegurada para que não ofereça risco à saúde humana. Assim, matérias-primas inadequadas para consumo requerem controle ainda durante os processos produtivos, a fim de evitar contaminação química, física ou microbiológica não permitida por lei. Portanto, todo o processo deve englobar as Boas Práticas Agrícolas que se pautam em um conjunto de fatores, tais como indicação de dose e forma de aplicação dos herbicidas, intervalo de segurança proposto, condições edafoclimáticas e pragas presentes do ambiente (Fermam & Antunes, 2009).

Sob esse aspecto, estudos relatam que os herbicidas mais utilizados são glyphosate, diuron, paraquate e amônio-glufosinato (Vargas, Guarienti, Pires & Tibola, 2016; Boger, 2020). Além da escolha do herbicida, outro ponto crucial é o estágio de maturação fisiológica da semente na qual o produto será aplicado, determinando uma colheita com maior viabilidade econômica devido ao rendimento do grão (Vargas, Guarienti, Pires & Tibola, 2016; Fipke et al., 2020). Por outro lado, os herbicidas usados durante a dessecação na pré-colheita podem acumular nas sementes, reduzindo vigor e germinação. Ademais, o nível de resíduo do produto químico no grão depende de distintos fatores, como taxa de aplicação, ação do herbicida, condições ambientais, estágio fisiológico da semente, entre outros (Perboni et al., 2018).

Não obstante, a literatura tem mostrado os benefícios do uso de herbicidas na dessecação do trigo,

relacionando melhores sementes com maiores rendimentos econômicos para os produtores rurais do Sul do Brasil (Oliveira, 2019; Boger, 2020). No entanto, os impactos desses produtos quando associados à saúde humana são confusos, pois é necessário aumentar a produção de alimentos para suprir a necessidade da população mundial, e em contrapartida, o uso de herbicidas também se eleva (Brito & Yada, 2019).

Assim, tendo em vista a inevitabilidade do crescimento agrícola, o controle de ervas daninhas torna-se indispensável. Consequentemente, a dose de agentes químicos também se intensifica e os efeitos tóxicos para a saúde tornam-se mais evidente (Haas, Hoehne & Kuhn, 2018). Ante a este panorama, a pesquisa realizada teve como objetivo analisar de que maneira a literatura científica aborda, conjuntamente, a temática da utilização de herbicidas para a dessecação do trigo em consonância com os riscos relacionados a tal prática.

Como a produção do conhecimento é uma atividade coletiva (Lévy, 2008), pesquisas que se baseiam em revisão de literatura tendem a ser úteis por oportunizar a análise do estado da arte acerca de determinada temática (Brizola & Fantin, 2016). De maneira específica, a revisão sistemática da literatura é “crucial para que possamos obter as informações desejadas em um crescente volume de resultados publicados, algumas vezes similares; outras, contraditórios” (Kirca & Yaprac *apud* Morandi & Camargo, 2015:142).

Logo, verifica-se a pertinência da investigação realizada, pois contempla uma temática emergente e dotada de complexidade, que cada vez mais adquire relevância e torna-se polêmica. Evidenciam-se ainda os paradoxos enfrentados pela produção de trigo e seu impacto no desenvolvimento rural, sendo que, de um lado, existem aspectos econômicos e produtivos associados à utilização de herbicidas dessecantes e de outro, tem-se seu potencial de riscos e danos à saúde e ao meio ambiente. Sendo assim, analisar a maneira como a literatura científica aborda tal problemática pode fornecer *insights* e auxiliar no desenvolvimento de estratégias e políticas capazes de equalizar tal situação.

1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa realizada caracteriza-se como qualitativa no que diz respeito à abordagem do problema e exploratória no que tange a finalidade. Para a operacionalização, empregou-se uma revisão sistemática da literatura, na qual se buscaram informações a respeito do problema relacionado ao uso de herbicidas na dessecação de trigo e sua associação com riscos ambientais e à saúde humana, de maneira conjunta. De acordo com Van Aken (2001), a revisão sistemática da literatura permite desenvolver premissas fundamentadas a partir de determinado aglomerado de estudos, e, dessa forma, contribuir para o avanço do conhecimento científico (Ginsberg & Venkatraman, 1985).

A revisão sistemática da literatura seguiu a estruturação proposta por Kitchenham & Charters (2007), composta por três etapas, quais sejam: (i) Planejamento, na qual se define o objetivo da revisão, bem como sua questão norteadora e o protocolo para a obtenção do portfólio de estudos a ser analisado; (ii) Execução, que caracteriza-se pela seleção e avaliação dos manuscritos para posterior extração dos dados, e; (iii) Relatório, que corresponde a apresentação de respostas à questão norteadora da revisão.

Ante esse delineamento, a revisão sistemática buscou atender ao objetivo da pesquisa, de modo que sua questão norteadora central consistiu na seguinte interrogativa: De que maneira a literatura científica aborda, conjuntamente, a temática da utilização de herbicidas para a dessecação do trigo em consonância com os riscos relacionados a tal prática? Para atender a esse questionamento viabilizando a operacionalização do estudo definiram-se três questões com vistas à análise dirigida dos manuscritos, quais sejam: (i) quais os impactos do uso de herbicidas dessecantes de trigo na saúde humana? (ii) quais os impactos do uso de herbicidas dessecantes de trigo no meio ambiente? (iii) quais os impactos econômicos ou produtivos do uso de herbicidas dessecantes de trigo?

Para responder a esse conjunto de indagações, no protocolo de revisão estabeleceu-se que a literatura científica analisada deveria estar disponível na base de dados *PubMed*, disponibilizada pela *National Library of Medicine* por meio do *National Center for Biotechnology Information*, que compreende mais de 33 milhões de documentos da literatura da área da saúde.

Como critérios de busca definiram-se a existência dos seguintes termos e operadores booleanos no título e/ou resumo: (*wheat*) AND (*herbicid**) AND (*environmental* OR *health* OR *welfare*) em artigos publicados nos últimos seis anos (2016-2022). Ressalta-se que a pesquisa foi realizada com os termos em inglês devido à hegemonia desse idioma quanto a sua utilização para a universalização da pesquisa científica, tornando-se a “língua franca da ciência” (Álvares, 2016:133). O período de busca limitou-se a data de 11 de abril de 2022, resultando em um portfólio inicial composto por 52 documentos.

Após a leitura do título e do resumo dos manuscritos, foram excluídos da pesquisa aqueles cujo escopo não estava alinhado com a investigação. Assim, o conjunto final analisado foi composto por 12 artigos científicos. Para a organização do portfólio utilizaram-se planilhas eletrônicas e fichas de leitura minuciosa. No tocante a análise dos dados, os resultados concernentes a terceira etapa da revisão (Kitchenham & Charters, 2007) foram confrontados com informações provenientes de agências e órgãos oficiais, bem como com achados advindos de outras investigações científicas e relatórios técnicos afins.

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na metodologia empregada, foram selecionados 12 artigos científicos que compuseram o portfólio analisado nessa revisão sistemática de literatura. O Quadro 1 apresenta esse conjunto de manuscritos, evidenciando suas características pertinentes.

Quadro 1 – Portfólio analisado

| Autor (es) e Ano | Título | Periódico | Objetivo e Resultados |
|-------------------------|--|---|---|
| Gaba et al. (2016) | <i>Herbicides do not ensure for higher wheat yield, but eliminate rare plant species</i> | <i>Scientific Reports</i> | Teve como objetivo analisar a relação entre ervas daninhas, herbicidas e rendimentos de trigo de inverno usando dados de 150 campos de trigo de inverno no oeste da França. Os herbicidas mostraram-se mais eficazes no controle de espécies raras de plantas do que espécies abundantes de ervas daninhas, mesmo assim, sugere-se que a redução do uso de herbicidas em até 50% poderia manter a produção agrícola. A segurança alimentar e a conservação da biodiversidade podem ser alcançadas simultaneamente na agricultura reduzindo o uso de herbicidas. |
| Zhang et al. (2016) | <i>Estimations of application dosage and greenhouse gas emission of chemical pesticides in staple crops in China</i> | <i>The Journal of Applied Ecology</i> | Estudo realizado em culturas de trigo, arroz e milho, no ano de 2012 na China, mostrou que pelo menos 50 tipos de herbicidas estavam sendo usados, trazendo sérios riscos à segurança alimentar e problemas ambientais. Representaram 59.3% de gases de efeitos estufa (GEE) quando somado a emissão total de agrotóxicos (1,5 TgCe). Portanto, a redução do uso de herbicidas mostrou-se importante para a segurança alimentar e ambiental, bem como à mitigação de GEE no setor agrícola da China. |
| Liu et al. (2017) | <i>Comprehensive analysis of degradation and accumulation of ametryn in soils and in wheat, maize, ryegrass and alfalfa plants</i> | <i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i> | Neste estudo, o acúmulo de herbicida Ametryn no solo, utilizado nas culturas de trigo, milho, azevém e alfafa foi avaliado. Em destaque, a cultura de azevém mostrou ter uma capacidade relativamente forte de remover ametryn do solo contaminado e de seus tecidos vegetais, contribuindo para a sua degradação. |
| Schlatter et al. (2017) | <i>Impacts of repeated glyphosate use on wheat-associated bacteria are small</i> | <i>Applied and Environmental Microbiology</i> | O glifosato é o herbicida mais utilizado em todo o mundo, principalmente para combater plantas daninhas em plantio direto. A grande preocupação deste estudo foi a contaminação a logo prazo em |

IMPACTS OF USING HERBICIDES UTILIZED IN WHEAT CULTURE ON THE ENVIRONMENT AND HUMAN HEALTH: A SYSTEMATIC REVIEW
OF THE LITERATURE

ALICE MUNZ FERNANDES, MATEUS ZANELLA, DANIELA GARCEZ WIVES, LEONARDO BOHN

| | | | |
|--------------------------------------|---|---|--|
| | <i>and depend on glyphosate use history</i> | | comunidades microbianas do solo. O glifosato teve impactos mínimos no solo e nas bactérias da rizosfera do trigo, sendo sutis e menores do que os fatores de localização e sistema de cultivo. |
| Brauns Jakobsen, Song & Bjerg (2018) | <i>Pesticide use in the wheat-maize double cropping systems of the North China Plain: Assessment, field study, and implications</i> | <i>Science of the Total Environment</i> | Trata-se de um estudo que avalio a contaminação principalmente de 2,4-D e atrazina no solo e na água em culturas de trigo no ano de 2013 na China. Esses herbicidas foram encontrados no solo e na água, as maiores concentrações de 2,4-D e atrazina foram encontradas na água de rio, variando até 3,00 e 0,96µg/L, respectivamente. Portanto é necessário monitoramento do uso agrícola bem como na contaminação do meio ambiente na China. |
| Muminov et al. (2018) | <i>Comparisons of weed community, soil health and economic performance between wheat-maize and garlic-soybean rotation systems under different weed managements</i> | <i>PeerJ</i> | Este estudo comparou a rotatividade de solo entre trigo, milho, alho e soja para manejo de ervas daninhas. Foram realizados testes com e sem herbicidas em todas as culturas. Como resultado, o controle sem herbicidas resultou em aumento de matéria orgânica no solo. Economicamente, o lucro líquido foi de 69% maior para a cultura de alho-soja do que para trigo-milho, em uma produção orgânica. |
| Barnett & Gibson (2020) | <i>Separating the empirical wheat from the pseudoscientific chaff: A critical review of the literature surrounding glyphosate, dysbiosis and wheat-sensitivity</i> | <i>Frontiers in Microbiology</i> | O herbicida glifosato é aplicado em culturas de trigo antes da colheita para estimular o amadurecimento, resultando em maiores resíduos em produtos comerciais de trigo. Foram avaliados os efeitos desses resíduos na microbiota intestinal e concluído que estes podem causar disbiose, influenciando diretamente na saúde humana. |
| Gauthier & Mabury (2020) | <i>The environmental degradation and distribution of saflufenacil, a fluorinated protoporphyrinogen ix oxidase-inhibiting herbicide, on a Canadian winter wheat field</i> | <i>Environmental Toxicology and Chemistry</i> | Foi avaliado o uso de um herbicida chamado saflufenacil, aplicado na quantidade de 63g/hectare em uma safra de trigo. Esse metabólito foi encontrado em uma concentração de 1/10 daquela aplicada no campo, sugerindo que a maioria do saflufenacil havia sido transportada pelo solo ou absorvida pela cultura do trigo de inverno. |
| Magnoli et al. (2020) | <i>Herbicides based on 2,4-D: its behavior in agricultural environments and microbial biodegradation aspects</i> | <i>Environmental Science and Pollution Research</i> | O uso indiscriminado do herbicida ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) em culturas de trigo pode produzir inúmeros danos ao meio ambiente. O uso de microrganismos e um processo de remediação vantajoso para evitar a poluição do meio ambiente, bem como para saúde da população. |
| Anastassiadou et al. (2021) | <i>Modification of the existing maximum residue levels for clopyralid in various commodities</i> | <i>European Food Safety Authority Journal</i> | Trata-se de um estudo que avalia e define valores de LMR para trigo de clopiralide. Um método analítico adequado para aplicação está disponível para controlar os resíduos de clopiralide nas commodities vegetais em consideração no limite de quantificação validado (LOQ) de 0,01 mg/kg. A EFSA (<i>European Food Safety Authority</i>) concluiu que é improvável que a ingestão de curto e longo prazo de resíduos resultantes do uso de clopiralide de acordo com as práticas agrícolas relatadas represente um risco para a saúde do consumidor. |
| Li et al. (2021) | <i>Simultaneous determination of the herbicide bixlozone and its metabolites in plant and animal samples by liquid</i> | <i>Journal of Separation Science</i> | Estudo com base em cromatografia líquida de ultra-alta eficiência-espectrometria de massas em tandem, um método para detectar o herbicida bixlozone e seus metabolitos em alimentos como a farinha de trigo. Esse método mostrou-se seguro, confiável e de baixo custo, |

| | | | |
|--------------------|---|--------------------|---|
| | <i>chromatography-tandem mass spectrometry</i> | | além de ser adequado para detectar quatro compostos em cereais reais. |
| Yang et al. (2021) | <i>Exposure to the herbicide butachlor activates hepatic stress signals and disturbs lipid metabolism in mice</i> | <i>Chemosphere</i> | Butacloro é um herbicida sistêmico aplicado em trigo, arroz e feijão, sendo frequentemente detectado em águas subterrâneas, superficiais e no solo. Foram investigados os potenciais riscos adversos à saúde em camundongos. Os resultados indicaram que este herbicida induz efeitos hepatotóxicos através da interrupção do metabolismo lipídico. |

Fonte: Elaboração própria.

A partir desse portfólio, delimitou-se a discussão dos resultados contrapondo as abordagens proeminentes nos manuscritos analisados com a forma a partir da qual a temática acerca de herbicidas dessecantes no trigo e seus riscos, conjuntamente, vêm se manifestando no panorama brasileiro. Assim, tem-se que a agricultura se moderniza, de modo que o uso de tecnologia no meio rural oportuniza avanços econômicos significativos para o país. Como consequência, há a maximização da produtividade, que também eleva a renda do produtor e fomenta as exportações – tanto que se estima que entre agosto de 2021 e março de 2022 foram exportadas três milhões de toneladas de trigo, indicando um patamar recorde para o cereal (CONAB, 2022).

Ao mesmo tempo em que essa evolução na agricultura brasileira acontece, cresce também de maneira indiscriminada o uso de agrotóxicos para combater ervas daninhas, insetos, fungos e outras ‘pragas’ que ameaçam a produtividade. Um estudo comparando a utilização e a não utilização de herbicidas no preparo do solo na rotatividade de culturas de trigo-milho e alho-soja constata que a não utilização adicionou mais matéria orgânica no solo e economicamente, o lucro líquido correspondeu a 69% a mais em função da produtividade de soja-alho em uma produção orgânica (Muminov et al., 2018).

Os produtos orgânicos são uma forma mais saudável de consumir alimentos no que compete a saúde humana, além de se caracterizarem como sustentáveis e ecologicamente corretos. Mesmo com a sua importância e valorização, há dificuldades em se encontrar técnicas culturais e sociais que fomentem a produtividade desses alimentos (Castro, Hori & Inoue, 2021). Assim, o uso de agrotóxicos ainda configura-se como uma alternativa para intensificar a produtividade agrícola, sendo que em 2018, a ANVISA lançou o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA) com vistas a analisar, pela primeira vez, o acúmulo desses compostos químicos nos alimentos e sua relação com a saúde humana.

O risco agudo das irregularidades observadas nos alimentos tende a surtir efeito após 24 horas da ingestão do produto que contenha o resíduo químico, podendo causar intoxicação. Foram avaliados 25 tipos de alimentos, totalizando 12.051 amostras de cereais, frutas, hortaliças e raízes, no período de 2013 a 2015, em todo o território brasileiro. As irregularidades encontradas não representaram risco significativo à saúde do consumidor do ponto de vista agudo, mas podem aumentar riscos ao agricultor em caso de utilização em desacordo com as recomendações autorizadas pelos órgãos competentes (ANVISA, 2019).

O principal objetivo do PARA é verificar se os alimentos comercializados apresentam agrotóxicos autorizados em níveis de resíduos dentro dos Limites Máximos de Resíduos estabelecidos (ANVISA, 2018). No entanto, múltiplos estudos são necessários para determinar o LMR de um produto químico no alimento. Recentemente, a *European Food Safety Authority* (EFSA) analisou na Finlândia o LMR para trigo do herbicida clopiralide, considerando o limite de quantificação validado (LOQ) de 0,01 mg/Kg. Embasado nos resultados de riscos, concluiu-se que a improvável ingestão de curto e longo prazo do herbicida, de acordo com o relato de práticas agrícolas, representa um risco para a saúde do consumidor (Anastassiadou *et al.*, 2021).

É importante ressaltar que a definição do LMR de um determinado produto não abona que o resíduo do herbicida em questão esteja presente em culturas rotativas e/ou sucessivas, sendo comprovado que múltiplos agentes químicos podem contaminar o ambiente. É o caso do saflufenacil, aplicado na safra de trigo em uma taxa padrão de 63g/hectare. Por ser demasiadamente solúvel, se degrada ao longo de 212 dias em metabolito persistente Saf-RC. Todavia, quando esse metabolito é encontrado em concentração de 1/10 sugere-se que a maioria do

suflufenacil foi transportado pelo solo ou absorvida pela cultura de trigo, denotando os riscos de tal herbicida (Gauthier & Mabury, 2020).

Outro produto químico que compõe herbicidas utilizados no trigo e que também é encontrado no solo corresponde ao Ametryn. Esse pertence à família das triazinas, sendo amplamente utilizado no combate às ervas daninhas na China e em outras partes do mundo. Os acúmulos de ametrina nas culturas de trigo, milho, azevém e alfafa foram avaliados comparativamente, sendo que a maior incidência do herbicida foi encontrada nas raízes de trigo e de alfafa. Já no plantio de azevém, o resíduo de ametrina no solo mostrou-se inferior devido à capacidade de translocação das raízes para as partes aéreas. Assim, diferentemente do que acontece na cultura do trigo, o azevém contribui para a remoção do herbicida do solo (Liu *et al.*, 2017).

Em contrapartida, o azevém também se configura como uma planta daninha prejudicial para determinadas produções de grãos. Com a rotatividade de culturas, é possível minimizar a infestação dessas plantas, e como consequência positiva, oportunizar a redução de herbicidas. Um estudo realizado na Região Sul do Brasil demonstrou que, no intervalo entre a colheita da soja e o plantio do trigo, múltiplas espécies daninhas rebrotaram – entre elas, o azevém. Logo, tem-se recomendações de uma época adequada para o uso de agentes químicos como estratégia para controle, haja vista que, em sequência, o trigo irá cobrir o solo e ter um efeito supressivo sobre novas infestações. Portanto, pelo menos duas culturas de trigo e milho seriam fundamentais para uma redução de aproximadamente 95% de azevém (Rizzardi, 2021a).

Já Schlatter *et al.* (2017) abordaram aspectos relacionados ao uso do glifosato, que se configura como um dos principais herbicidas utilizados no mundo todo para controle de plantas daninhas em sistemas de plantio direto. Os autores investigaram o impacto de tratamentos repetidos com glifosato em comunidades bacterianas no solo e na rizosfera de trigo, em solos com e sem histórico de uso do herbicida em longo prazo. Os efeitos da aplicação do produto foram sutis e em comparação com fatores de localização e sistemas de cultivo, mostraram-se menores. Também evidenciaram que uma pequena porcentagem das comunidades bacterianas foi influenciada diretamente pelo herbicida, sendo que a maioria delas foi estimulada possivelmente pela morte das raízes de trigo, de modo que o impacto no solo mostrou-se mínimo.

Em adição, Barnett & Gibson (2020) verificaram as consequências do uso do herbicida glifosato diretamente no estímulo do amadurecimento do trigo antes de sua colheita, evidenciando relatos de resíduos em produtos comerciais na América do Norte. Os autores elencaram os efeitos desse produto químico sobre o microbioma intestinal, concluindo que os resíduos em alimentos derivados de trigo podem causar disbiose – um distúrbio intestinal no qual predomina bactérias ‘ruins’, que geralmente desencadeiam outras patologias.

Por sua vez, Magnoli *et al.* (2020) realizaram um estudo na China com o ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) e atrazina, cujos resultados detectaram a contaminação no solo e na água. O experimento ocorreu entre os anos de 2013 e 2014 nos campos de trigo de inverno e milho de verão. Em todas as amostragens de águas subterrâneas e de rios foi detectada a presença dos dois herbicidas. No entanto, as maiores concentrações de 2,4-D e atrazina ocorreram na água provenientes dos rios, com variações de 3,00 e 0,96µg/L, respectivamente (Brauns, Jakobsen, Song & Bjerg, 2017).

Já o 2,4-D é um hormônio vegetal sintético da auxina e caracteriza-se como uma alternativa vantajosa para evitar os danos ao meio ambiente mediante a utilização da remediação realizada por microrganismos. Esses agem degradando o principal metabólito do herbicida, o 2,4-diclorofenol (2,4 -DCP), evitando a poluição e salvaguardando a saúde da população (Magnoli *et al.*, 2020).

Apesar da relevância dos herbicidas para a produção agrícola em virtude de sua hegemonia como método para o controle de plantas daninhas, as consequências ambientais fomentaram uma grande pressão sobre os agricultores. Essas objetivam, sobretudo, a redução da utilização de tais produtos – o que se espera que seja realizado em consonância com o aumento na produção devido à maximização da demanda mundial por alimentos (Gaba *et al.*, 2016).

Buscando encontrar uma solução equilibrada para esse problema, Gaba *et al.* (2016) realizaram um estudo na França, analisando a relação entre ervas daninhas, herbicidas e rendimentos de trigo. Para tanto, consideraram uma amostra de 150 lavouras do cereal. Os resultados sugerem que a redução no uso de herbicidas em até 50%

poderia manter a produção agrícola estável e sem significativas perdas, ao mesmo tempo em que estimula a biodiversidade de plantas daninhas. Todavia, tal pesquisa fomenta questionamentos, pois ao reduzir drasticamente o uso desses agentes químicos, é possível incorrer no aumento da quantidade de plantas invasoras que prejudicam no momento da colheita – o que intensifica a quantidade de impurezas no trigo.

Não obstante, Zhang et al. (2016) avaliaram as aplicações de agrotóxicos no plantio de arroz, trigo e milho em lavouras da China, contrapondo tais práticas com as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Os autores aplicaram 58,3 kg/ton de 50 tipos diferentes de herbicidas nas três culturas, o que representou 59,3% da emissão total de GEE, totalizando 1,5 TgCe. Nesse sentido, reverbera-se que no Brasil, de maneira geral, a atividade agropecuária no período de 1990 a 2019 foi responsável por 23% das emissões de GEE (SEEG, 2022).

Por sua vez, o estudo realizado por Bragagnolo & Tateishi (2022) corrobora com esse panorama. Após avaliarem 3.959 municípios brasileiros em relação à produtividade agrícola e a emissão de gases poluentes, os autores constataram que apenas 35% desses apresentaram um índice de crescimento de produtividade econômica simultaneamente à diminuição das emissões de GEE.

Ademais, quando os herbicidas são detectados nos alimentos, ocasionam efeitos indesejáveis na saúde e no bem-estar dos indivíduos. Os impactos do uso de 8mg/kg de butacloro – herbicida amplamente utilizado no trigo, arroz e feijão – foram verificados em 20 camundongos experimentais, cujas evidências apontam 61 metabolitos diferentes que levaram a interrupção do metabolismo lipídico do fígado dos animais, além de outros efeitos hepatotóxicos induzidos por butacloro (Yang et al., 2021).

No que tange aos principais alimentos produzidos com base no trigo e destinados à alimentação humana, destaca-se a farinha. Tal produto integra a cultura alimentar de distintas populações ao redor do mundo, de modo que detectar e controlar a quantidade de herbicidas e seus metabolitos que podem resultar em resíduos no alimento é essencial para minimizar os riscos à saúde humana. Com base nessa premissa, Li et al. (2021) desenvolveram um método pautado na cromatografia líquida de ultra-eficiência de espectrometria de massas em tandem, que mostrou-se satisfatório para a detecção do herbicida bixlozone e de seus metabolitos no alimento. Os pesquisadores afirmaram ainda que trata-se de um método de baixo custo e passível de ser empregado para a identificação e a análise de outros herbicidas.

Sob essa perspectiva, reverbera-se que as pesquisas são fundamentais para estabelecer limites seguros do uso de herbicidas para os produtores agrícolas, bem como para o meio ambiente e para a saúde alimentar. Um experimento realizado com uma família na Suécia comparou uma dieta considerada normal e baseada em alimentos tradicionais durante três semanas com um mesmo período caracterizado apenas pela ingestão de alimentos orgânicos. Como procedimentos metodológicos, realizaram-se exames de urina, que mostraram resíduos de pesticidas, fungicidas e herbicidas. No organismo dos pais, os exames detectaram sete tipos de produtos químicos, enquanto que os testes realizados com as três crianças da família mostraram cinco tipos de agrotóxicos (Jardim do Mundo, 2022).

O principal ponto de preocupação é os efeitos desses agrotóxicos em longo prazo, uma vez que as concentrações encontradas nessa família não superam os limites estabelecidos pelas pesquisas como sendo aceitáveis em uma dieta. Destaca-se que após a introdução de produtos orgânicos na alimentação, houve o desaparecimento da maioria dos agentes químicos (Jardim do Mundo, 2022). Em suma, emerge a necessidade de explorar os efeitos dos agrotóxicos de uma maneira geral, não só nos estudos experimentais, mas também em ensaios clínicos e epidemiológicos. Assim, pode-se contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas realmente eficazes, sobretudo no Brasil, um dos países com maior consumo de agrotóxicos (Giraldo & Junia, 2011).

A importância da utilização de herbicidas nas culturas de trigo em conformidade com a legislação e com as boas práticas de produção também engloba o modo como o agricultor realiza as aplicações e descarta as embalagens. O uso dos EPIs protege a saúde do trabalhador e o descarte correto das embalagens plásticas previne a contaminação ambiental e humana (Salomão, Ferro & Ruas, 2020). Em síntese, o Quadro 2 apresenta os herbicidas citados no portfólio analisado e descreve a utilização legal desses produtos no Brasil, bem como seus principais impactos ambientais e sobre a saúde humana, conforme evidenciado na revisão.

Quadro 2 – Impactos dos herbicidas verificados na revisão sistemática da literatura e aspectos legais de uso no Brasil

| Herbicida | Uso autorizado no Brasil | Liberado para o cultivo de trigo | Principais impactos | |
|-----------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------|
| Glifosato | Sim | Não | Saúde humana | Disbiose |
| Butacloro | | | | Hepatotóxico |
| Glifosinato de Amônio | | Sim | Saúde humana | Resíduos em grãos |
| 2,4-D | | | | Meio ambiente |
| Suflufenacil | | | Solo | |
| Ametrina | Não | Não | Meio ambiente | Água e solo |
| Atrazina | | | | Resíduos em grãos |
| Bixlozone | | | Saúde humana | Resíduos em grãos |
| Clopiralide | | | | |

*Único herbicida liberado para dessecação de trigo no Brasil

Fonte: Elaborado com base nos resultados da pesquisa (2022) e no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2022).

O uso de herbicidas para controle de plantas daninhas auxilia também na prática de dessecação do trigo, com o objetivo de estimular a sua maturação. Considerado um herbicida de contato, o glufosinato de amônio é o único registrado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2022) para essa finalidade no Brasil. Os herbicidas 2,4-D, flumioxazina e saflufenacil possuem registro somente para uso em estágios específicos de desenvolvimento da planta ou pré-semeadura do trigo (Rizzardi, 2021b). No caso do glifosato, um herbicida sistêmico, os resíduos se acumulam facilmente nos grãos do cereal na época de enchimento, gerando compostos dotados de maior toxicidade (Joris, Penckowski, Kuhnem & Rosa, 2022).

No estudo de Tavares et al. (2018) utilizaram-se os herbicidas 2,4-D, paraquate, glifosato, glufosinato de amônio e metsulfuron metílico para dessecação antes e após a maturação fisiológica do trigo. De maneira geral, a dessecação em pré-colheita posterior a maturidade fisiológica não alterou a qualidade e a produtividade do trigo. Além disso, o uso de metsulfuron metílico e paraquate, independente da época de aplicação, não apresentaram efeitos residuais nos grãos. Por outro lado, os resultados indicaram que o glufosinato de amônio, o glifosato e o 2,4-D, quando aplicados anteriormente à maturidade fisiológica, promoveram o acúmulo de resíduos no cereal.

O uso do herbicida paraquate é proibido em toda a União Europeia. Porém, mesmo com essa restrição, a Inglaterra e a China são as maiores produtoras de tal agente químico. Estudos sugerem efeitos mutagênicos, câncer e doença de Parkinson como principais danos ocasionados pela produto à saúde humana (Tajai *et al.*, 2018; Andreotti et al., 2020). No Brasil, em setembro de 2020, a ANVISA reavaliou a Resolução RDC nº 177 de 2017 e proibiu a utilização de produtos formulados a base do princípio ativo paraquate devido aos seus impactos a saúde humana (Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural, 2020).

O não cumprimento das restrições de uso e a aplicação ilegal de agentes químicos nas culturas agrícolas podem implicar na apreensão dos grãos colhidos. Além disso, é fundamental respeitar o intervalo de segurança – que leva em consideração o número de dias entre a última aplicação do herbicida e a colheita – sendo primordial para que o grão colhido não apresente resíduos químicos acima do permitido, contribuindo para a promoção da segurança alimentar (Rizzardi, 2021b).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trigo é um dos principais cereais de consumo alimentar no mundo, destacando sua importância de cultivo para além da economia agrícola. A oferta e a demanda norteiam anualmente a produção mundial, e como consequência desse processo, novos investimentos em técnicas de plantio, tecnologia avançada e uso de produtos químicos configuram-se como fatores necessários para a maximização da produtividade. Nesse cenário, impactos diretos e indiretos na saúde ambiental, humana e econômica tornam-se explícitos ano após ano.

O uso de herbicidas na cultura de trigo é importante para o controle de plantas daninhas que dificultam o desenvolvimento do cereal e proporcionam impurezas ao momento da colheita. Outra utilização desses agentes químicos corresponde à dessecação pré-colheita, acelerando o amadurecimento e a secagem do grão, o que implica em benefícios econômicos e oportuniza o plantio antecipado da nova cultura. O principal prejuízo concernente a tais utilizações se relaciona a saúde do meio ambiente, pois os herbicidas geram acúmulo de resíduo no solo e na água, podendo também contribuir para a emissão de GEE quando seu uso não segue as orientações descritas quanto à quantidade e/ou período indicado de aplicação.

Esses resíduos quando direcionados a saúde humana, prejudicam a alimentação saudável, uma vez que o trigo corresponde à matéria-prima para inúmeros alimentos da dieta básica e de consumo diário. Os resíduos dos herbicidas glifosinato de amônio, clopiralide e bixlozone foram evidenciados nos grãos após a colheita. De igual forma, a literatura analisada demonstrou a incidência de efeitos hepatotóxicos por butacloroem camundongos e de problemas intestinais em humanos devido ao glifosato.

Portanto, a obtenção de LMRs para todos os herbicidas, bem como o cumprimento de leis e procedimentos por parte dos agricultores e a criação de políticas públicas de saúde são aspectos emergentes e primordiais para a harmonização entre os três pilares do cultivo de trigo. Destaca-se ainda que este achado não deva limitar-se somente a realidade brasileira, mas sim considerar todo o mundo, pois os problemas evidenciados nos resultados desse estudo tendem a se repetirem de maneira universal.

REFERÊNCIAS

- Agostinetti, D., Fleck N. G. & Menezes V. G. (2001). Herbicidas não seletivos aplicados na fase de maturação do arroz irrigado. *Scientia Agrícola*, 58(2):277-285. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000200010>
- Álvares, S. (2016). A Ciência fala inglês? Em tempos de mudança. *Nascer e Crescer: Revista de Pediatria do Centro Hospitalar do Porto*, 25(3):133-135, 2016.
- Anastassiadou, M., Bernasconi, G., Brancato, A., Cabrera, L. C., Ferreira, L., Greco, L., Jarrah, S., Kazocina, A., Leuschner, R., Magrans, J. O., Miron, I., Nave, S., Pedersen, R., Reich, H., Rojas, A., Sacchi, A., Santos, M., Scarlato, A. P., Theobald, A., Vagenende, B. & Verani, A. (2021). Modification of the existing maximum residue levels for clopyralid in various commodities. *European Food Safety Authority Journal*, 19(1):e06389. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6389>
- Andreotti, G., Freeman, L. E. B., Shearer, J. J., Lerro, C. C., Koutros, S., Parks, C. G., Blair, A., Lynch, C. F., Lubin, J. H., Sandler, D. P. & Hofmann, J. N. (2020). Occupational pesticide use and risk of renal cell carcinoma in the agricultural health study. *Environmental Health Perspectives*, 128(6):067011. <https://doi.org/10.1289/EHP6334>
- ANVISA. (2019). Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamentação. Anvisa aprova novo marco regulatório para agrotóxicos. ANVISA, Brasília, DF.
- Barnett, J. A. & Gibson, D. L. (2020). Separating the empirical wheat from the pseudoscientific chaff: a critical review of the literature surrounding glyphosate, dysbiosis and wheat-sensitivity. *Frontiers in Microbiology*, 2269. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.556729>
- Boger, A. K. (2020). Momento fisiológico das plantas de trigo para a dessecação e seus efeitos no rendimento de grãos. *Engenharia Agrônômica*, 14-14.
- Bragagnolo, C. & Tateishi, H. R. (2022). Produtividade total dos fatores e emissões de dióxido de carbono na

- agricultura brasileira: uma medida de PTF ambientalmente sensível. *Economia Agrícola e do Meio Ambiente*. Disponível em: <https://www.anpec.org.br/encontro/2021/submissao/files_I/i11-ada5869d9745aab6993443767485980e.pdf>. Acesso em: Maio de 2022.
- Brauns, B., Jakobsen, R., Song, X. & Bjerg, P. (2018). Pesticide use in the wheat-maize double cropping systems of the North China Plain: Assessment, field study, and implications. *Science of the Total Environment*, 616:1307-1316. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.187>
- Brito, M. A. & Yada, M. M. (2019). Impactos do herbicida glifosato na saúde humana. *Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga*, 5(1):349-360.
- Brizola, J. & Fantin, N. (2016). Revisão da literatura e revisão sistemática da literatura. *Revista de Educação do Vale do Arinos*, 3(2):23-39. <https://doi.org/10.30681/relva.v3i2.1738>
- Castro, M. A. S., Hori, A. N. & Inoue, P. H. (2021). Dificuldades e desafios da comercialização de produtos orgânicos – um estudo na cidade de ourinhos – SP. *Revista de Gestão e Estratégia*, 1(3):01-10.
- CNA-Brasil. (2022). Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Notícias: segundo cereal mais produzido no mundo. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/noticias/dia-do-trigo-cereal-e-o-segundo-mais-produzido-no-mundo#:~:text=Segundo%20estimativa%20da%20Companhia%20Nacional,em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0%20C3%BAltima%20safra>>. Acesso em: Março de 2022.
- CONAB. (2022). Companhia Nacional de Abastecimento. Produção nacional de grãos é estimada em 269,3 milhões de toneladas na safra 2021/22. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4579-producao-nacional-de-graos-e-estimada-em-269-3-milhoes-de-toneladas-na-safra-2021-22>>. Acesso em: Maio de 2022.
- Daltro, E. M. F., Figueiredo e Albuquerque, M. C., França Neto, J. B., Guimarães, S. C., Gazziero, D. L. P. & Henning, A. A. (2010). Aplicação de dessecantes em pré-colheita: efeito na qualidade fisiológica de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, 32(1):111-122. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222010000100013>
- Fermam, R. K. S. & Antunes, A. M. S. (2009). Uso de defensivos agrícolas, limites máximos de resíduos e impacto no comércio internacional: estudo de caso. *Revista de Economia e Agronegócio*, 7(2):197-214. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.56853>
- Fipke, G. M., Ebone, A., Cunha, V dos S., Deak, E. A., Stecca, J. D. L., Pires, J. L. F., Arismendi, G. de A. & Martin, T. N. (2020). Produtividade e viabilidade econômica da antecipação da colheita de trigo pela aplicação de herbicidas. *In: Embrapa Trigo-Resumo em anais de congresso (ALICE)*. In: Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, 13. 2019, Passo Fundo. Ata e Resumos. Passo Fundo: Projeto Passo Fundo, 174-179.
- Folgado, C. (2013). A luta constante contra os agrotóxicos: país lidera ranking mundial de uso de venenos na agricultura, prática impulsionada pelo agronegócio. *Brasil de fato*. 11 jan. 2013. Disponível em:<<https://www.brasildefato.com.br/node/11533/>>. Acesso em: Outubro de 2021.
- Gaba, S., Gabriel E., Chadoeuf, J., Bonneau, F. & Bretagnolle, V. (2016). Herbicides do not ensure for higher wheat yield, but eliminate rare plant species. *Scientific Reports*, 6(1):1-10. <https://doi.org/10.1038/srep30112>
- Gauthier, J. R. & Mabury, S. A. (2020). The Environmental Degradation and Distribution of Saflufenacil, a Fluorinated Protoporphyrinogen IX Oxidase-Inhibiting Herbicide, on a Canadian Winter Wheat Field. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 39(10):1918-1928. <https://doi.org/10.1002/etc.4820>
- Ginsberg, A. & Venkatraman, N. (1985). Contingency perspective of organizational strategy: a critical review of the empirical research. *Academy of Management Review*, 10:421-34. <https://doi.org/10.5465/amr.1985.4278950>
- Giraldo, L. & Junia, R. (2021). Como o Brasil se tornou o maior consumidor mundial de agrotóxicos? EPSJV/Fiocruz. *Jornal Brasil de Fato*. Disponível em: <<https://agrototoxicos.wordpress.com/2011/03/02/como-o-brasil-se-tornou-o-maior-consumidor-mundial-de-agrotoxicos/>>. Acesso em: Maio de 2022.
- Haas, P., Hoehne, L. & Kuhn, D. (2018). Revisão: avaliação dos efeitos do glifosato no ecossistema agrícola e sua toxicidade para a saúde humana. *Revista Destaques Acadêmicos*, 10(4):82-90 <http://dx.doi.org/10.22410/issn.2176-3070.v10i4a2018.2014>

- Jardim do Mundo. (2022). Sustentabilidade. Experiências mostram impacto de agrotóxicos no organismo. Disponível em: <<https://jardimdomundo.com/experiencia-mostra-impacto-de-agrotoxicos-no-organismo>>. Acesso em: Abril de 2022.
- Joris, H. A. W., Penckowski, L. H., Kuhnem, P. & Rosa, A. R. (2022). Informações técnicas para trigo e triticale. Safra 2022. 14ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. Disponível em: <<https://www.conferencebr.com/conteudo/arquivo/informacoes-tecnicas-para-trigo-e-triticale--safra-2022-1649081250.pdf>>. Acesso em: Maio de 2022.
- Kitchenham, B. & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. School of Computer Science and Mathematics, Keele University, Technical Report, EBSE-2007-01.
- Lacerda A. L. S., Lazarini, E., Sá, M. E. & Valério Filho, W. V. (2005). Efeitos da dessecação de plantas de soja no potencial fisiológico e sanitário das sementes. *Tecnologia de Sementes*, 64(3):447-457. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000300015>
- Leite, H. T. (2013). Webartigos: A Revolução Verde na Agricultura. 07 mar. 2013. Disponível em: <<http://www.webartigos.com/artigos/a-revolucao-verde-na-agricultura/104949/>>. Acesso em: Setembro de 2021.
- Lévy, P. (2008). As tecnologias da inteligência: o futuro do pensamento na era da informática. Ed. 34, São Paulo.
- Li, C., Chen, Z., Qin, D., Liu, R., Li, L., Li, W., He, Y. & Yun, L. (2021). Simultaneous determination of the herbicide bixlozone and its metabolites in plant and animal samples by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Separation Science*, 44(4):822-832. <https://doi.org/10.1002/jssc.202000992>
- Liu, Y., Ma, L. Y., Lu, Y. C., Jiang, S. S., Wu, H. J. & Yang, H. (2017). Comprehensive analysis of degradation and accumulation of ametryn in soils and in wheat, maize, ryegrass and alfalfa plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 140:264-270. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.02.053>
- Magnoli, K. Carranza, C. S., Aluffi, M. E., Magnoli, C. E. & Barberis, C. L. (2020). Herbicides based on 2,4-D: its behavior in agricultural environments and microbial biodegradation aspects. A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(31):38501-38512. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10370-6>
- MAPA. (2016). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Produtos vegetais padronizados. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/produtos-vegetais-padronizados>>. Acesso em: Março de 2022.
- MAPA. (2022). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agrotóxicos: registros de agrotóxicos e afins. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos>>. Acesso em: Mai. 2022.
- Marcandalli, L. H., Lazarini, E. & Malaspina, I. G. (2011). Épocas de aplicação de dessecantes na cultura da soja: Qualidade fisiológica de sementes. *Revista Brasileira de Sementes*, 33(2):241-250. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222011000200006>
- Marcos Filho, J. (2004). Desenvolvimento (maturação) de sementes In: Marcos Filho, J. (Org.). *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba-SP: FEALQ, 12.
- Morandi, M. I. W. M. & Camargo, L. F. R. (2015). Revisão sistemática da literatura. In: Dresch, A., Lacerda, D. P. & Antunes Jr., J. A. V. *Design science research: método e pesquisa para avanço da ciência e da tecnologia*. Bookman, Porto Alegre.
- Muminov, M. A., Guo, L., Song, Y., Gu, X., Cen, Y., Meng, J. & Jiang, G. (2018). Comparisons of weed community, soil health and economic performance between wheat-maize and garlic-soybean rotation systems under different weed managements. *PeerJ*, 6:e4799.
- OLIVEIRA, A. M. (2019). Sensibilidade de trigo do Cerrado a herbicidas e à interferência de plantas daninhas. Bacharelado em Engenharia Agrônômica (Trabalho de Conclusão de Curso). 35f. Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo.
- Perboni, L. T., Agostinetto, D., Vargas, L., Cechin, J., Zandoná, R. R. & Farias, H. de S. (2018). Yield, germination and herbicide residue in seeds of pre harvest desiccated wheat. *Journal of Seed Science*, 40(3):304-312. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n3191284>
- Rizzardi, M. A. (2021a). A importância do Trigo no manejo de plantas daninhas no sistema. *Up. Herb. Academia*

- de plantas daninhas. Disponível em: <<https://www.upherb.com.br/int/a-importancia-do-trigo-no-manejo-de-plantas-daninhas-no-sistema>>. Acesso em: Maio de 2022.
- Rizzardi, M. A. (2021b). Dessecação do trigo. Up. Herb. Academia de plantas daninhas. Disponível em: <<https://www.upherb.com.br/int/dessecao-do-trigo>>. Acesso em: Maio de 2022.
- Salomão, P. E. A., Ferro, A. M. S. & Ruas, W. F. (2020). Herbicidas no Brasil: uma breve revisão. *Research, Society and Development*, 9(2):e32921990-e32921990. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i2.1990>
- Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. (2020). Secretaria da Agricultura publica nota técnica sobre proibição do uso do Paraquate a partir de hoje. Disponível em: <<https://www.agricultura.rs.gov.br/secretaria-da-agricultura-publica-nota-tecnica-sobre-proibicao-do-uso-do-paraquate-a-partir-de-hoje>>. Acesso em: Maio de 2022.
- Schlatter, D. C., Yin, C., Hulbert, S., Burke, I. & Paulitz, T. (2017). Impacts of repeated glyphosate use on wheat-associated bacteria are small and depend on glyphosate use history. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(22):e01354-17. <https://doi.org/10.1128/AEM.01354-17>
- SEEG. (2022). Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: <<https://plataforma.seeg.eco.br/sectors/agropecuaria>>. Acesso em: Maio de 2022.
- Seidler, E. P., Velho, J. P., Christofari, L. F., Almeida, P. S. G. & Andreatta, T. (2019). Dessecação em pré-colheita do trigo: nova preocupação para a qualidade do cereal no consumo humano. *Scientia Agraria Paranaensis*, 18(3):200-208. <https://doi.org/10.18188/sap.v18i3.21203>
- Tajai, P., Fedeles, B. I., Suriyo, T., Navasumrit, P., Kanitwithayanun, J., Essigmann, J. M. & Satayavivad, J. (2018). An engineered cell line lacking OGG1 and MUTYH glycosylases implicates the accumulation of genomic 8-oxoguanine as the basis for paraquat mutagenicity. *Free Radical Biology & Medicine*, 116:64-72. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2017.12.035>
- Tavares, L. C., Oliveira, S., Silva, B. M., Lemes, E. S., Villela, F. A., Vargas, L. & Agostinetto, D. (2018). Produtividade, qualidade fisiológica e resíduo em sementes de trigo em função da dessecação com herbicidas. *Colloquium Agrariae*, 14(3):132-143.
- Van Aken, J. (2001). Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules. Eindhoven University of Technology, Eindhoven Centre for Innovation Studies, Eindhoven.
- Vargas, L., Guarienti, E. M., Pires, J. L. F. & Tibola, C. A. (2016). Eficiência de herbicidas para dessecação pré-colheita do trigo e efeitos sobre rendimento de grãos, germinação e qualidade tecnológica. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1050830/1/ID437382016RCBPTT10LEANDRO10.PDF>>. Acesso em: Setembro de 2021.
- Yang, B., Liu, Y., Li, Y., Zhu, S., Li, Y., Yi, J., Ouyang, Z., Liu, B., Mehmood, K., Hussain, R., Pan, J., Hu, L., Tang, Z., Wang, G., Li, Y. & Zhang, H. (2021). Exposure to the herbicide butachlor activates hepatic stress signals and disturbs lipid metabolism in mice. *Chemosphere*, 283:131226. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131226>
- Wang, J., Mao, H., Zhao, H., Huang, D. & Wang, Z. (2012). Different increases in maize and wheat grain zinc concentrations caused by soil and foliar applications of zinc in Loess Plateau, China. *Field Crops Research*, 135:89-96. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.07.010>
- Zhang, G., Lu, F., Huang, Z. G., Chen, S. & Wang, X. K. (2016). Estimations of application dosage and greenhouse gas emission of chemical pesticides in staple crops in China. *The Journal of Applied Ecology*, 27(9):2875-2883, 2016. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201609.031>