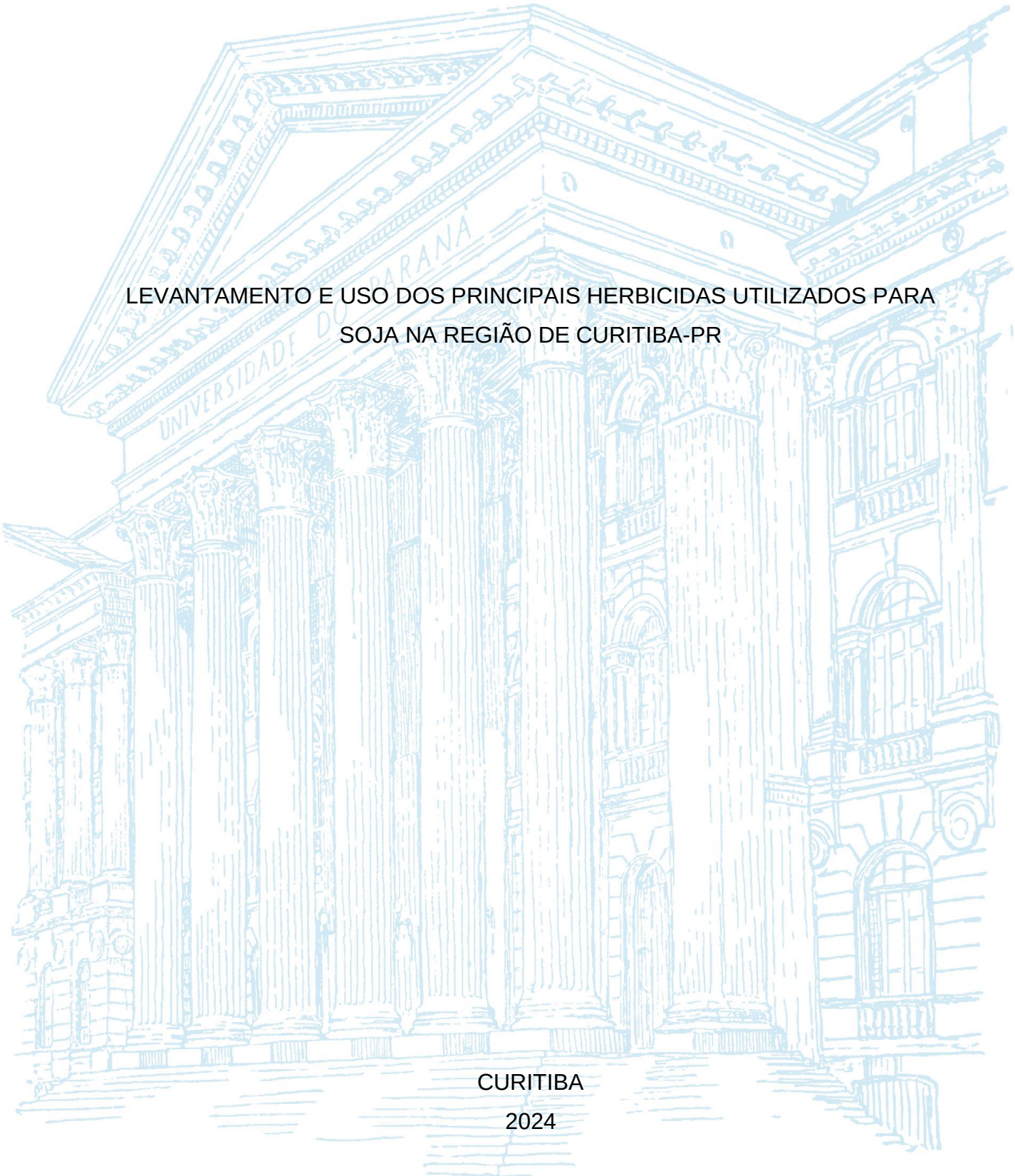
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL DE CASTRO DANIEL



LEVANTAMENTO E USO DOS PRINCIPAIS HERBICIDAS UTILIZADOS PARA SOJA NA REGIÃO DE CURITIBA-PR

CURITIBA

2024

RAFAEL DE CASTRO DANIEL

IMPACTO E USO DOS PRINCIPAIS HERBICIDAS UTILIZADOS PARA SOJA NA REGIÃO DE CURITIBA-PR

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Fitossanidade.

Orientador: Prof. Ms. William Felipe Larini

CURITIBA

2024

RESUMO

A soja é o cultivo agrícola que ocupa a maior parte do território nacional, em um país continental como o Brasil a grande variação de fatores climáticos e ambientais pode afetar diretamente o funcionamento de herbicidas. O objeto desta revisão foi verificar os herbicidas de maior importância utilizados na região de Curitiba-PR, aplicados em pré emergência de plantas daninhas e em pós emergência do cultivo de soja (*Glycine max)*, bem como os danos e problemas os quais estes podem ocasionar na cultura, visando o uso eficiente das moléculas por parte dos produtores. De acordo com os dados do Sistema de Monitoramento do Comércio e Uso de Agrotóxicos do Estado do Paraná (SIAGRO), os principais herbicidas a serem abordados foram o glifosato, cletodim, clorimuron, triclopir, S-metolacloro, diclosulam, imazetapir e flumioxazina. O glifosato foi o herbicida mais utilizado na região e sua eficiência pode variar principalmente de acordo com pH da calda, além de apresentar sintomas cloróticos quando aplicado sobre a soja em função do *yellow flashing,* não houve correlação entre este sintoma e deficiência de manganês nas plantas; o cletodim apresenta resultados distintos, mas pode apresentar fitotoxicidade em soja em alguns casos. O clorimurom pode apresentar sintomas de fitotoxicidade na soja quando aplicado em pré e pós-emergência da cultura. O triclopir e o S-metalocloro apresentam resultados variados de residual e ação de acordo com a umidade e tipo de solo. O diclosulam além de ser afetado por características ambientais também apresenta variação de seu residual de acordo com o sistema de plantio adotado. Todos os herbicidas estudados apresentaram algum tipo de variação em função de condições climáticas ou da calda de pulverização.

Palavras-chave: Herbicida; glifosato; pré-emergente; pós-emergência.

ABSTRACT

Soybean is the agricultural crop that occupies most of the national territory. In a continental country like Brazil, a large variation in climatic and environmental factors can directly affect the functioning of herbicides. The objective of this review was to verify the most important herbicides used in the region of Curitiba-PR, applied in pre-emergence of periodical plants and in post-emergence of soybean (Glycine max) crops, as well as the damages and problems that these can cause in the crop, the efficient use of molecules by producers has evolved. According to data from the Monitoring System for Trade and Use of Agrochemicals of the State of Paraná (SIAGRO), the main herbicides to be competitive were glyphosate, clethodim, chlorimuron, triclopyr, S-metolachlor, diclosulam, imazethapyr and flumioxazine. Glyphosate was the most widely used herbicide in the region and its efficiency can vary mainly according to the pH of the spray. It also presents chlorotic symptoms when applied to soybeans due to the yellow flashing. There was no correlation between this symptom and manganese deficiency in the plants. Clethodim presents different results, but may present phytotoxicity in soybeans in some cases. Chlorimuron may present symptoms of phytotoxicity in soybeans when applied pre- and post-emergence of the crop. Triclopyr and S-metallochlor present varied results of residual and action according to humidity and soil type. Diclosulam, in addition to being affected by environmental characteristics, also presents variation in its residue according to the planting system adopted. All herbicides studied evaluated some type of variation depending on the climatic conditions or the fluorescence spray.

Keywords: Herbicide; glyphosate; pre-emergent; post-emergence.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Estrutura molecular do glifosato.....19
FIGURA 2 – Espectros medidos em pecíolos de diferentes fontes de Mn e em conjunto com glifosato 21
FIGURA 3 – Efeito do pH da calda de pulverização sobre os níveis de controle das plantas daninhas aos 7 dias após a aplicação.....23
FIGURA 4 – Estrutura Molecular do Cletodim 23
FIGURA 5 – Estrutura Molecular do Clorimuron-etílico.....25
FIGURA 6 – Estrutura Molecular do Triclopir-butotílico (forma ácida).....27
FIGURA 7 – Estrutura Molecular do S-metolacloro 28
FIGURA 8 – Estrutura Molecular do Diclosulam 29
FIGURA 9 – Porcentagem de diclosulam remanescente.....30
FIGURA 10 – Estrutura Molecular do Imazetapir (forma ácida) 31
FIGURA 11 – Estrutura Molecular da Flumioxazina.....33

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – O pH ideal para diversos herbicidas 18
TABELA 2 – Intervalo entre aplicação e semeadura de soja para herbicidas 18
TABELA 3 – Tratamentos aplicados para controle de arroz vermelho (Oryza sativa) na cultura do arroz irrigado 32

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ACCase - acetil-CoA carboxilase
ALS - acetolactato sintase (ALS)
AMPA - ácido aminometilfosfônico
EPSPs - 5-enolpiruvil-shiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs)
IPA - sal de mono-isopropilamine
PC - plantio convencional
PD - plantio direto
PROTOX - protoporfirinogen oxidase
RR - Roundup Ready
SIAGRO - Sistema de Monitoramento do Comércio e Uso de Agrotóxicos do Estado do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

® - marca registrada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
1.1 JUSTIFICATIVA 15
1.2 OBJETIVOS 16
1.2.1 Objetivo geral 16
1.2.2 Objetivos específicos 16
1.3 METODOLOGIA 16
2 REVISÃO DE LITERATURA 17
2.1 GLIFOSATO 19
2.2 CLETODIM 23
2.3 CLORIMUROM 24
2.4 TRICLOPIR 26
2.5 S-METOLACLORO 27
2.6 DICLOSULAM 28
2.7 IMAZETAPIR 30
2.8 FLUMIOXAZINA 32
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS 34
3.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 34

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merril] é uma planta herbácea que pertence à família Fabaceae (NUNES, 2016). No Brasil a soja se destaca como o principal cultivo e *commoditie* agrícola ocupando uma área de cerca de 80 mil hectares (BRASIL, 2023). O abundante cultivo do grão se faz presente por todo o Brasil, bem como nas regiões próximas a Curitiba-PR as quais se destacam as cidades de Lapa, Contenda, Araucária, Balsa Nova, Campo Largo e Tijucas do Sul que juntas apresentam uma área plantada de aproximadamente 123 mil hectares (IBGE, 2022). A grande área de plantio unida ao elevado número de produtores torna um desafio a prestação de uma assistência técnica adequada e da correta instrução quanto aos aspectos técnicos dos agrotóxicos; dentre eles os herbicidas.

O glifosato em suas diversas formulações é ainda a principal ferramenta utilizada no manejo de plantas daninhas, no entanto anos consecutivos de uso da mesma molécula resultaram em perda de eficácia e na seleção de biótipos resistentes.

Como estratégia para manter níveis de controle adequados muitas moléculas antigas tem sido reformuladas ou comercializadas em misturas com outras moléculas também já existentes a anos, como por exemplo cletodim, triclopir, s-metolacloro, diclosulam, imazetapir, flumioxazina e clorimurom. Estas moléculas apresentam diferentes características físico-químicas que podem ser alteradas quando associadas a outros herbicidas, resultando em alterações na eficácia e segurança de acordo com as condições de solo, umidade, e intervalo para semeadura da cultura subsequente. O presente estudo visa reunir as indicações técnicas dos herbicidas mais utilizados no manejo da soja na região de Curitiba-PR, bem como eventuais problemas recorrentes do uso incorreto deles.

1.1 JUSTIFICATIVA

Dentre os agrotóxicos utilizados na agricultura os herbicidas em grande parte são os mais suscetíveis a interferências químicas, biológicas e físicas; fazendo com que ocorram diversos problemas quando seu uso ocorre em determinadas condições. Tendo em vista a complexidade para o uso correto dos herbicidas, faz-se necessário aprimorar os conhecimentos acerca das técnicas corretas, bem como o

uso de maneira racional destes visando a redução da pressão de seleção e o aumento da eficácia contra plantas daninhas ao passo que se diminua o dano na cultura da soja (*Glycine max)*.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Identificar os principais herbicidas utilizados na região de Curitiba-PR aplicados em pré emergência de plantas daninhas e em pós emergência do cultivo de soja (*Glycine max)*, bem como os danos e problemas os quais estes podem ocasionar na cultura, visando o uso eficiente das moléculas por parte dos produtores.

1.2.2 Objetivos específicos

- Levantamento das moléculas de grande importância na região;
- Analisar o dano que cada uma pode causar na cultura de interesse;
- Identificar os aspectos técnicos que podem interferir em cada herbicida;
- Identificar aspectos e instruções para amenizar o risco de efeitos indesejados.

1.3 METODOLOGIA

As informações constantes na presente revisão foram compiladas a partir de estudos científicos, teses, experimentos e publicações acerca do referido tema; podendo ser estes físicos ou digitais.

Os dados referentes aos volumes de herbicidas comercializados foram obtidos através do Sistema de Monitoramento do Comércio e Uso de Agrotóxicos do Estado do Paraná (SIAGRO).

2 REVISÃO DE LITERATURA

Dentre os herbicidas mais utilizados no Brasil estão o glifosato, 2,4-D, atrazina, cletodim e o S-metolacloro (SOUZA, 2023). Entretanto das moléculas acima citadas o 2,4-D e a atrazina não são utilizados diretamente sobre a soja ou em período próximo ao plantio devido ao fato destes não serem seletivos a cultura da soja e apresentarem efeito residual no solo o que pode gerar problemas na emergência da soja.

No Paraná os herbicidas mais utilizados no pré-plantio em pós emergência no ano de 2023 foram o glifosato e o cletodim; já em pré emergência foram triclopir-butílico, S-metolacloro, diclosulam e flumioxazina (PARANÁ, 2024).

De maneira geral os herbicidas costumam atuar melhor em caldas levemente ácidas devido ao próprio pH dos herbicidas, havendo algumas exceções de moléculas com pH alcalino (Tabela 1). Outros fatores podem agir de maneira conjunta ao pH e prejudicar o funcionamento do herbicida como a presença de cátions na água e o intervalo de tempo em que o produto é adicionado ao tanque até o momento da aplicação. Diante disto algumas empresas formuladoras de herbicidas adicionam ingredientes inertes que atuam realizando o efeito tampão na calda, fazendo com que independentemente do pH original da água utilizada o pH da calda se ajuste automaticamente para próximo do ideal para a ação do herbicida (NEGRISOLI, 2021).

Tabela 1 – O pH ideal para diversos herbicidas.

Princípio Ativo	pH Ideal	Princípio Ativo	pH Ideal
Acifluorfen Sódium	5.0	Imazethapyr	5.0
Acifluorfen + Bentazone	5.0	Flumetsulan	5.0
Alachlor	5.0	Fomesafen	5.0
Ametryne	5.0	Halosulfuron	5.0
Atrazine	5.0	Haloxifop	5.0
Bentazone	7.0	Lactofen	5.0
Chlorimuron - Etyl	5.0	Linuron	5.0
Clomazone	5.0	Metolaclor	5.0
Cyanazine	5.0	Metribuzin	5.0
Dicamba	5.0	Oryzalina	5.0
Diclorofenoxiacético	5.0	Oxyfluorfen	5.0
Diquat	5.0	Paraquat	4.0
Diuron	6.0 – 7.0	Pendimenthalin	5.0
Diuron-Hexazinone	6.0	Picloran	5.0
Fenoxaprop - P “Etil	5.0	Sethoxidim	5.0
Fluazipop – P-Butil	5.0	Simazine	5.0
Gliphosate	3.0 – 4.0	Sulfentrazone	5.0
Glufosinato	4.0	Sulfosate	5.0
Imazapyr	5.0	Trifluralina	5.0
Imazaquim	5.0		

Fonte: Adaptado de Negrisoli (2021).

Outro fator que pode ser distinto para cada molécula é o intervalo entre a aplicação e o plantio da cultura (Tabela 2).

Tabela 2 – Intervalo entre aplicação e semeadura de soja para herbicidas.

Herbicidas	Nome Comercial	Intervalo entre aplicação e semeadura de soja (em dias)
Cletodim	Select, Poquer	0
Clorimurom	Classic	0
Diclosulam	Spider	0
Flumioxazina	Flumyzin	0
Glifosato	Roundup	0
Imazetapir	Pivot, Vezir	0
S-metalocloro	Dual Gold	0
Triclopir	Triclon	20

Fonte: Adaptado de Giraldeli (2020).

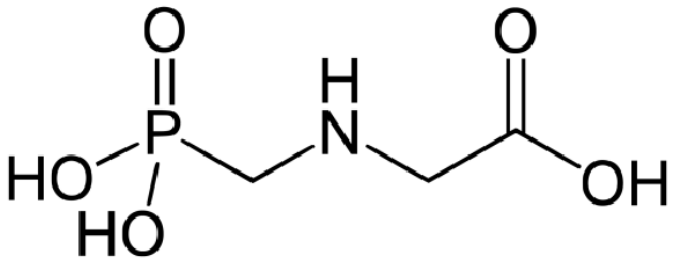
2.1 GLIFOSATO

Principal molécula de herbicida utilizada no Brasil, o glifosato apresenta diversas variações de formulações de acordo com o produto comercial; pois uma vez que o ácido glifosato tem baixa solubilidade em água, faz-se necessário que se realize a alteração de sua composição para a forma de sal visando melhorar a solubilidade e viabilizar a aplicação no campo; um exemplo disto é o glifosato sal de mono-isopropilamine (IPA) registrado como ROUNDUP® (TAVARES, 2005).

No ano de 2023, a soma de todas as formulações comerciais de glifosato correspondeu a cerca de 29% de todo o volume de agrotóxicos comercializados no estado do Paraná. Este valor representa um volume de cerca de 630 toneladas do herbicida para os principais municípios produtores de soja da Região de Curitiba-PR (PARANÁ, 2024).

O glifosato é um derivado da glicina (RODRIGUES E ALMEIDA, 2018) e sua estrutura molecular está representada na figura 1. A maior parte das formulações de glifosato se enquadra na categoria 5 (Produto Improvável de Causar Dano Agudo) da Classificação Toxicológica e, na maioria das vezes, se enquadra na classe III (Produto Perigoso ao Meio Ambiente) na Classificação Quanto ao Potencial de Periculosidade Ambiental (PARANÁ, 2024).

Figura 1 – Estrutura molecular do Glifosato



Fonte: Wikipedia, 2023.

O funcionamento do glifosato se dá através da inibição da enzima 5-enolpiruvil-shiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs), na síntese de aminoácidos aromáticos essenciais tais como a tirosina, fenilalanina e o triptofano; estes estão diretamente ligados a formação de outros compostos como fitoalexinas e

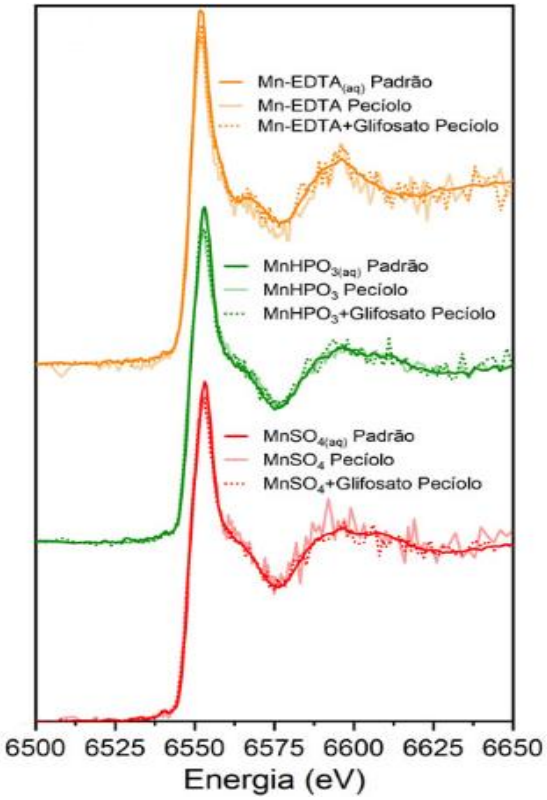
flavonoides, causando assim um efeito em cadeia no metabolismo da planta (SILVA, 2019).

A soja Roundup Ready (RR), apesar de amplamente utilizada por sua resistência ao glifosato, ainda sim, pode vir a apresentar sintomas de fitotoxidade por conta do herbicida, geralmente nos primeiros estágios do desenvolvimento. Em seus experimentos com soja RR, Reis *et al.* (2010), relatou que o glifosato apresentou sintomas pontuais de fitotoxidade com o uso de doses mais elevadas do agente, como a redução do número de folhas. Além disso, Zadinello *et al.* (2000), observaram alterações nutricionais e efeitos fenológicos na soja quando o herbicida foi aplicado em momento inoportuno e em dose elevada.

A campo os produtores rurais em sua maioria já tem o conhecimento da fitotoxidade causada pela aplicação de Glifosato em soja, entretanto há um senso comum de que de alguma forma exista relação com o micronutriente manganês (Mn) visto que o sintoma aparente nas plantas chamado de *yellow flashing* é semelhante ao observado em plantas com deficiência deste nutriente. Diante disto estudos foram realizados com o intuito de avaliar se o glifosato de alguma forma poderia causar efeitos adversos sobre a absorção e translocação de manganês em plantas de soja em estádio vegetativo R1 (florescimento); porém a avaliação de teor de manganês foliar revelou não haver diferença significativa entre as diferentes doses testadas ou em relação a testemunha (CARRARO *et al*, 2016).

Outra teoria seria a de que o glifosato poderia complexar com os átomos de manganês no meio intracelular da planta uma vez que isto de fato ocorre em soluções aquosas; entretanto experimentos realizados no Laboratório Nacional de Luz Sincroton (USP) constataram por meio de raios-x que o manganês aplicado via foliar em conjunto com glifosato não é transportado na sua forma complexada (Figura 2) (MACHADO, 2020).

Figura 2 – Espectros medidos em pecíolos de diferentes fontes de Mn e em conjunto com glifosato.



Fonte: Machado (2020).

Estudos demonstram que além de aparentemente não haver relação entre a aplicação de glifosato e a deficiência de manganês na planta, a aplicação de glifosato e certas fontes de manganês de forma simultânea pode prejudicar a eficiência do herbicida devido a quelação das moléculas de glifosato o que pode levar a precipitação do herbicida e prejudicar a penetração do mesmo pela cutícula da folha (DARAMOLA *et a*l,2022).

A principal causa da ocorrência de *yellow flashing* pode ser explicada pela formação de ácido aminometilfosfônico - AMPA que é o principal metabólito gerado a partir da degradação do glifosato na planta. O AMPA tem como característica a redução da clorofila nas plantas de soja o que gera o aspecto clorótico nas folhas; este sintoma costuma durar cerca de 22 dias período o qual a planta necessita para metabolizá-lo e reduzir sua concentração nas folhas (MACHADO, 2020).

De modo geral, a eficácia do glifosato pode variar dependendo de certos aspectos, geralmente ambientais. A temperatura em condições consideradas ótimas para a atividade metabólica da espécie, de condições quentes e até mesmo de

condições frias, é aliada da eficácia do glifosato, visto que auxilia na absorção e translocação da molécula pela planta. A umidade do ar superior a 65%, luz solar e um ambiente rico em nutrientes, também favorecem a ação do glifosato. Argila e outros componentes do solo, bem como a presença de poeira, podem atuar como barreiras físicas, afetando a eficácia do glifosato (VIDAL *et al.*, 2014).

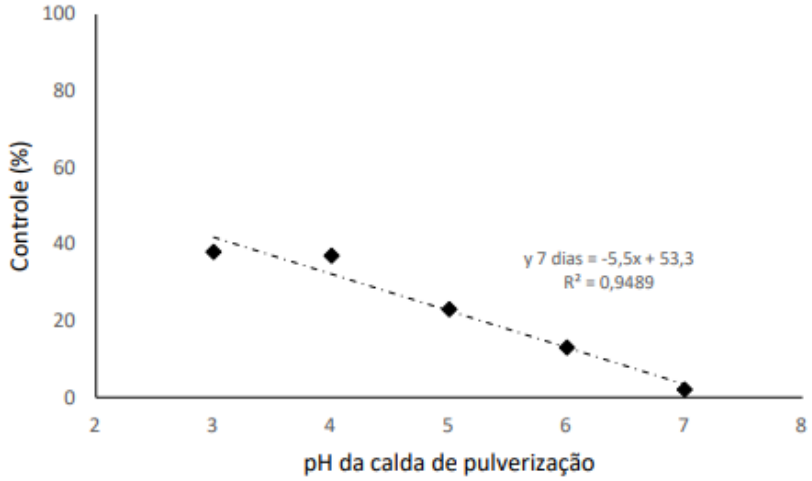
Outro fator a ser considerado na aplicação de diversos defensivos na agricultura, mas principalmente na aplicação de glifosato é a qualidade da água que pode se referir às características químicas, físicas e biológicas da água utilizada para essas aplicações. Uma variedade de fatores, incluindo pH da água, minerais dissolvidos, dureza e turbidez podem determinar a maneira como o produto utilizado irá se comportar desde o momento ao qual é adicionado a calda até sua eficiência a campo (TAVARES, 2023).

Conhecer o valor do pH da água utilizada para a aplicação de herbicidas é fundamental, pois alguns pesticidas podem reagir quimicamente em soluções ácidas ou alcalinas. Esse fenômeno, denominado hidrólise, pode diminuir a eficácia do ingrediente ativo. A velocidade com que o pesticida se decompõe varia de acordo com suas propriedades químicas como o pH da água utilizada e o tempo de permanência do herbicida em solução. Para herbicidas classificados como ácidos fracos como é o caso do glifosato, uma mistura com pH entre 8 e 9 provoca uma hidrólise acelerada, levando à reação química do produto e possivelmente comprometendo o controle do alvo (TAVARES, 2023).

Avaliações a campo comprovam que a eficiência do glifosato no controle de plantas daninhas pode variar de acordo com o pH da calda (figura 3).

Sendo assim, o pH de calda ideal para que o glifosato mantenha sua estrutura na calda e que apresente uma boa absorção foliar da molécula na planta varia de 3,5 a 5,0 (NEGRISOLI, 2021).

Figura 3 - Efeito do pH da calda de pulverização sobre os níveis de controle das plantas daninhas aos 7 dias após a aplicação.

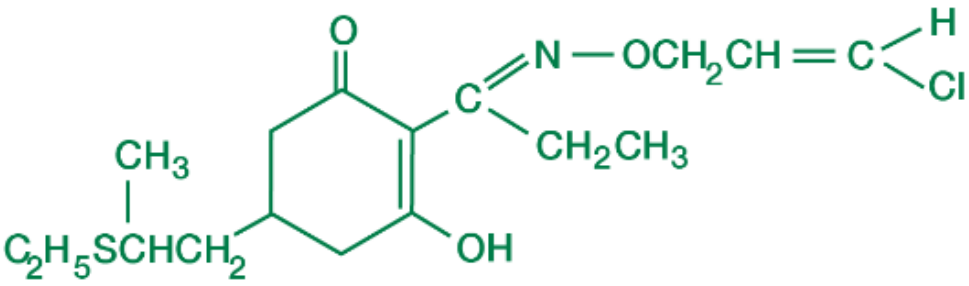


Fonte: Mazzeu *et al* (2021).

2.2 CLETODIM

O cletodim pertence ao grupo das ciclohexadionas, sua estrutura molecular está representada na figura 4; pertence a Categoria 5 (Produto Improvável de Causar Dano Agudo) da Classificação Toxicológica, e se enquadra na Classe III (Perigoso ao Meio Ambiente) na Classificação Quanto ao Potencial de Periculosidade Ambiental (ADAPAR, 2024).

Figura 4 – Estrutura Molecular do Cletodim



Fonte: Sipcam, 2024

É um herbicida que apresenta como característica ser um ácido fraco de pH em torno de 4,1; seletivo para a cultura da soja e para outras plantas de metabolismo C3 conhecidas popularmente pelo termo “folhas largas”, sua ação é quase que exclusiva em plantas de metabolismo C4 conhecidas como “folhas estreitas”; seu modo de ação é a inibição da síntese de lipídeos mais

especificamente a inibição a Acetil-CoA carboxilase (ACCase). A intervenção na rota da ACCase causa a não formação de fosfolipídeos e triacilgliceróis que juntos formariam camadas lipídicas que por sua vez servem como membrana celular. A formação de lipídeos ocorre principalmente nos meristemas das plantas; sem a formação destes lipídeos ocorre a paralisação do crescimento da planta. Os sintomas decorrentes do uso de cletodim podem demorar vários dias devido a sua ação em células novas (MARCHI *et al*, 2008).

A seletividade do cletodim às plantas de folha larga está relacionada a inibição seletiva da ACCase homomérica plastídica que é encontrada apenas em monocotiledôneas; plantas dicotiledôneas costumam apresentar as formas heteromérica plastídica e homomérica citosólica as quais não são afetadas pela ação do cletodim (TAKANO *et al*, 2019).

Apesar de ser seletivo para a cultura da soja existem relatos de sintomas de fitointoxicação em plantas após a aplicação de cletodim. Avaliações realizadas por Dario *et al* (2018) revelaram que apesar de não serem constadas redução no número de folhas e área foliar, houve sinal de fitointoxicação quando aplicado cletodim junto a óleo mineral em concentração de 1%; entretanto a aplicação isolada de óleo mineral e de cletodim não apresentou nenhum sintoma de fitotoxicidade.

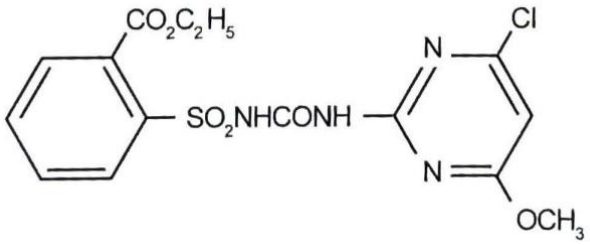
Em contrapartida Luckmann *et al* (2014) avaliou a aplicação de cletodim em pós emergência de soja junto a aplicação de adjuvante na dose de 1 l/ha e concluiu não haver sintomas de fitotoxicidade em até 42 dias após a aplicação. A explicação para a diferença de resultados pode estar relacionada ao produto utilizado junto ao cletodim na aplicação, visto que no estudo onde foi constatada ação do herbicida em soja foi utilizado produto comercial composto de óleo mineral 845,75 g/l, enquanto no outro experimento fora utilizado produto comercial composto de éster metílico de soja 720 g/l.

2.3 CLORIMUROM

O clorimuron-etílico é um herbicida de caráter seletivo e ação sistêmica, indicado para uso no controle de plantas daninhas de folhas largas ocorridas na cultura da soja, sendo seu modo de ação a inibição da enzima acetolactato sintase (ALS), enzima responsável pela síntese dos aminoácidos essenciais valina, leucina e isoleucina. A absorção ocorre pelas folhas e raízes e a translocação ocorre pelo

xilema e floema (RODRIGUES E ALMEIDA, 2018). A molécula pertence ao grupo químico das sulfonilúreias (estrutura molecular representada na figura 5); pertence a Categoria 5 (Produto Improvável de Causar Dano Agudo) da Classificação Toxicológica e a Classe III (Produto Perigoso ao Meio Ambiente) da Classificação Quanto ao Potencial de Periculosidade Ambiental (ADAPAR, 2022).

Figura 5 – Estrutura Molecular do Clorimuron-etílico



Fonte: Rodrigues e Almeida, 2018.

O pH de calda 5,0 é o ideal para uma boa eficácia do herbicida (NEGRISOLI, 2021), além disso, a eficácia geral da molécula depende de fatores como umidade relativa do ar, chuva, tipo de solo entre outros; sendo que essas características podem variar entre as marcas comerciais (ADAPAR, 2024).

O clorimuron apresenta uma taxa lenta de degradação microbiana, não variando de acordo com o pH do solo. A hidrólise não microbiana cliva a molécula na ponte sulfonluréia, ocasionando a liberação de CO2 e produzindo a aril sulfonil amina e a pirimidinil, que são metabólitos de amina. A hidrólise é lenta em pH alto quando o clorimuron é amplamente dissociado e carregado negativamente e é mais rápido em pH mais baixo quando a molécula é amplamente neutra (Herbicide Handbook, 2014).

Segundo dados do Sistema de Monitoramento do Comércio e Uso de Agrotóxicos do Estado do Paraná o volume comercializado no ano de 2023 deste herbicida foi correspondente a 0,24% do volume total de defensivos (PARANÁ, 2024).

Em um primeiro momento o volume comercializado pode levar a crer que praticamente não há uso desta molécula por parte dos produtores se comparado ao de outros herbicidas; entretanto vale destacar que a dose recomendada dos

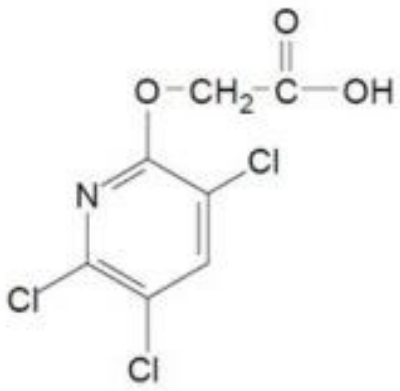
produtos à base de Clorimuron é drasticamente menor se comparado ao glifosato por exemplo; esta diferença pode ser observada em diversos experimentos onde os produtos comerciais formulados com glifosato apresentam a dose utilizada entre 1,0 a 3,0 litros por hectare enquanto o clorimuron 40 a 80 gramas por hectare (PROCOPIO et al, 2007).

Apesar de apresentar recomendação de uso em pós-emergência da cultura da soja, o uso da molécula em pós-emergência pode causar sintomas visuais de fitotoxicidade nas plantas conforme aumento na dose utilizada (FALCADE ET AL., 2012). Além disso, o uso de óleo mineral combinado com o herbicida pode levar a uma leve clorose na soja, que desaparece conforme o desenvolvimento do planta (RODRIGUES E ALMEIDA, 2018; ADAPAR, 2024).

2.4 TRICLOPIR

O Triclopir-butotílico é um herbicida pós-emergente, seletivo, sistêmico, pertencente ao grupo das piridinas (estrutura molecular representada na figura 6) que atua contra ervas daninhas, geralmente de folhas largas (SILVA, 2023) e mimetiza o hormônio vegetal auxina (PERIPOLLI *et al*., 2020). Na maioria das formulações, pertence a Categoria 4 (Produto Pouco Tóxico) na Classificação Toxicológica, e a Classe II (Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente) quanto a Classificação do Potencial de Periculosidade Ambiental (ADAPAR, 2023).

Figura 6 – Estrutura Molecular do Triclopir-butotílico (forma ácida)



Fonte: Silva, 2023.

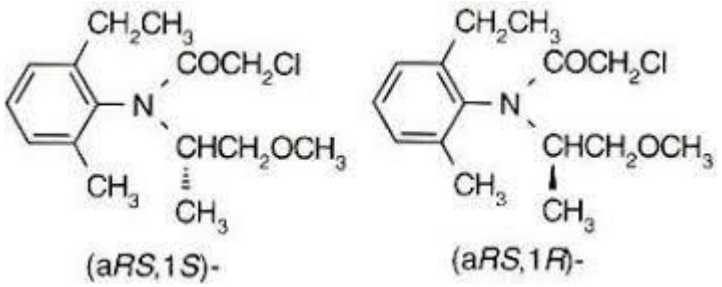
De acordo com o SIAGRO (2023) a porcentagem de uso desse herbicida foi de 0,57% e sua dose de uso é de 120 a 960 g i.a./ha. A sintomatologia das plantas expostas a essa molécula pode incluir epinastia de caules e pecíolos, alteração do padrão de nervura, clorose, estagnação de crescimento, murcha e morte em poucas semanas. O herbicida apresenta fraca adsorção no solo e possui rápida fotodegração em água, podendo também ser degradado por microrganismos (RODRIGUES E ALMEIDA, 2018).

Fatores como umidade relativa do ar, velocidade média do vento, temperatura e direção do vento, podem interferir na eficácia do herbicida, sendo que tais características variam de acordo com as marcas comerciais (ADAPAR, 2023). Em condições laboratoriais, o triclopir apresentou meia-vida de 138 dias e teve maior degradação em 30°C em comparação com 15°C (JOHNSON *et al*., 2017). Um outro estudo demonstrou que o herbicida aplicado nos intervalos de 34, 24, 14 e zero dias antes da semeadura da soja, não apresentou fitotoxidade nem teve interferência na altura, estande e/ou produtividade da cultura (PENCKOWSKI *et al*., 2016).

2.5 S-METOLACLORO

O S-Metolacloro é um herbicida seletivo, sistêmico, pré-emergente, pertencente ao grupo das acetamidas (estrutura molecular representada na figura 7) e é utilizado no controle de monocotiledôneas e dicotiledôneas indesejadas em culturas de soja. Atua na inibição de ácidos graxos de cadeia longa, limitando o crescimento de brotos e raízes (CARMO *et al*., 2023). A absorção do herbicida ocorre através do coleóptilo das gramíneas e hipocótilo das folhas largas (RODRIGUES E ALMEIDA, 2018). Segundo o SIAGRO em 2023 o herbicida teve uma porcentagem de uso de 0,28% no Paraná, e sua dose recomendada de uso é de 960 a 2880g i. a./ha (SILVA, 2023).

Figura 7 – Estrutura Molecular do S-metolacloro



Fonte: Ibama, 2019.

A maioria das formulações pertence a Categoria 4 (Produto Pouco Tóxico) na Classificação Toxicológica, e a Classe II (Produto Muito Perigoso ao Meio Ambiente) na Classificação do Potencial de Periculosidade Ambiental (ADAPAR, 2024).

A sintomatologia das plantas expostas a essa molécula envolve plântulas malformadas e torcidas onde as folhas são enroladas na espiral e não podem desenrolar-se de maneira adequada. Possui adsorção em solo moderada, podendo ser fotodegradado ou biodegradado por microrganismos (SILVA, 2020).

Em condições como chuvas fortes e plantios rasos, o S-metolacloro pode apresentar fitotoxidade com os sintomas desaparecendo rapidamente (RODRIGUES E ALMEIDA, 2018). Na cultura da soja, os sintomas de fitotoxidade podem aparecer em situações extremas como altas doses associadas à alta pluviosidade, ocorrendo encarquilhamento das folhas e inibição temporária no crescimento (ADAPAR, 2024).

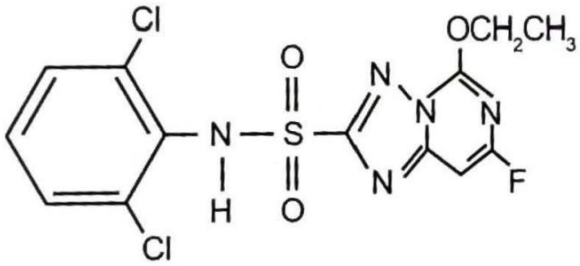
Um estudo avaliando a eficácia do S-metolacloro no controle de *Urochloa decumbens* demonstrou que aspectos do solo, como saturação de bases e teor de matéria orgânica, estão diretamente ligados com a eficácia do herbicida (CARMO *et al.*, 2023).

2.6 DICLOSULAM

O diclosulam (estrutura molecular representada na figura 8) é um herbicida pré-emergente que faz parte do grupo químico das triazolopirimidinas, sendo a dose recomendada de uso de 0,05 a 105g i. a./ha (SILVA, 2023). Segundo dados do SIAGRO, em 2023, a porcentagem de uso do ativo foi de 0,27% (PARANÁ, 2023). A maior parte das formulações pertence a Categoria 5 (Produto Improvável de Causar

Dano Agudo) na Classificação Toxicológica e a Classe III (Produto Perigoso ao Meio Ambiente) na Classificação do Potencial de Periculosidade Ambiental (ADAPAR, 2024).

Figura 8 – Estrutura Molecular do Diclosulam



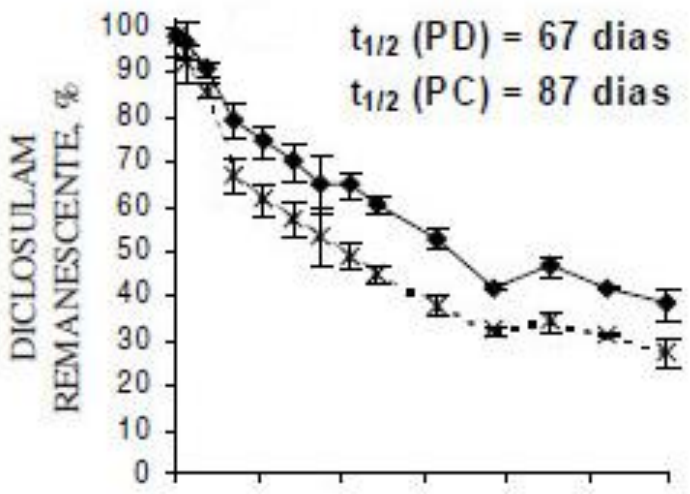
Fonte: Rodrigues e Almeida, 2018.

É absorvido pela planta pela radícula e pelo caulículo, sendo translocado para os locais de crescimento ou meristemas apicais. Seu método de ação consiste na inibição da enzima acetolactatosintase (ALS) que é utilizada na síntese de aminoácidos como valina, leucina e isoleucina. A maioria das plantas são controladas antes da emergência, e as que conseguem emergir, logo apresentam sintomas de adoecimento, com necrose nos pontos de crescimento onde o herbicida se acumula. Essas plantas morrem em alguns dias ou apresentam crescimento interrompido não disputando com a cultura (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

Os teores de umidade e de matéria orgânica do solo são os principais fatores que influenciam na adsorção desse herbicida, sendo que a principal forma de degradação do diclosulam é microbiana, sendo a fotodegração e a volatilização consideradas insignificantes. O tempo de meia-vida do diclosulam no campo é de cerca de 22 a 43 dias (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

Estudos mostram que o tempo de meia-vida pode variar de acordo com diversas condições, até mesmo o tipo de manejo adotado para o plantio em um local pode trazer grande variação no tempo de meia vida deste herbicida; a aplicação de diclosulam sobre o sistema de plantio direto – PD ou sobre o sistema de plantio convencional – PC pode alterar os níveis remanescentes de produto no solo de acordo com o intervalo de tempo (figura 9) (LAVORENTI *et al*, 2003).

Figura 9 – Porcentagem de diclosulam remanescente.



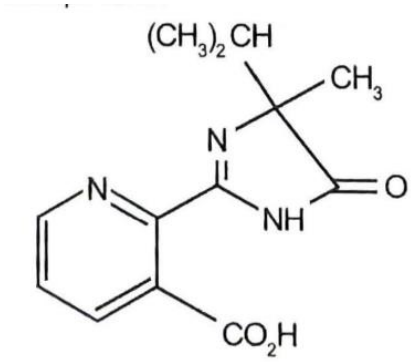
Fonte: Lavorenti *et al* (2003).

Em solos cultivados no sistema de plantio direto o nível de ação microbiana tende a ser maior e como dito anteriormente a principal forma de degradação da molécula de diclosulam no solo é por ação microbiana o que pode justificar os resultados encontrados.

2.7 IMAZETAPIR

O imazetapir (estrutura molecular representada na figura 10) é um herbicida sistêmico, pós-emergente, do grupo das imidazolinonas e sua dose de uso recomendada é de 30 a 800 g i.a./ha (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018). No Paraná, em 2023, o uso do ativo correspondeu a 0,18% do total (PARANÁ, 2023). Pertence a Categoria 5 (Produto Improvável de Causar Dano Agudo) da Classificação Toxicológica, e a Classe III (Produto Perigoso ao Meio Ambiente) da Classificação do Potencial de Periculosidade Ambiental (ADAPAR, 2023).

Figura 10 – Estrutura Molecular do Imazetapir (forma ácida)



Fonte: Rodrigues e Almeida, 2018.

A absorção pela planta é mais rápida através da folha do que pela radícula, e varia de 20 a 90% num período de 24 horas. A translocação é principalmente pelo floema. O mecanismo de ação do imazetapir consiste na inibição da enzima acetolactato sintase (ALS), utilizada na síntese dos aminoácidos valina, leucina e isoleucina, o que ocasiona na interrupção da síntese proteica, afetando a síntese do DNA e o crescimento celular. A sintomatologia inclui interrupção do crescimento dentro de 48 horas após a aplicação, bem como clorose foliar, morte do ponto de crescimento e morte das plantas daninhas entre 10 e 20 dias após a aplicação (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

É um herbicida pouco adsorvido pelos colóides do solo e apresenta lixiviação baixa. A degradação é principalmente microbiana, não ocorrendo degradação anaeróbica. A fotodegradação é limitada e a volatilização é mínima. A meia-vida da molécula no campo é de 60 a 90 dias (RODRIGUES & ALMEIDA, 2018).

A molécula de imazetapir também pode sofrer perda de eficiência no controle de plantas daninhas de acordo com o pH e os níveis de sais presentes na água para pulverização. Avalições realizadas visando o controle de arroz vermelho em meio ao cultivo de arroz irrigado utilizando imazetapir + imazapic mostraram diminuição da taxa de controle do alvo de acordo com o aumento do pH da calda (SANCHOTENE *et al,* 2007).

Tabela 3 - Tratamentos aplicados para controle de arroz-vermelho (Oryza sativa) na cultura do arroz irrigado.

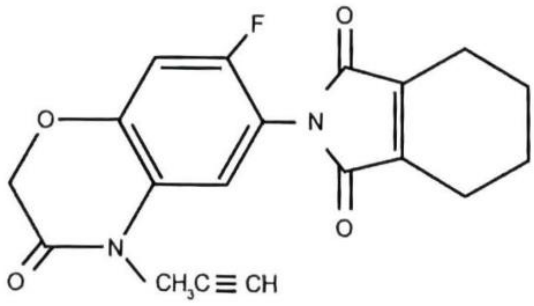
Tratamento	Dose (mL ha^{-1})	Controle (%)			Intoxicação (%)		
		10 DAA[6]	20 DAA	30 DAA	10 DAA	20 DAA	30 DAA
1. (imazethapyr+imazapic)[1/]+DASH[2/]+água de fonte mineral com 188,2 ppm de $CaCO_3$ e pH 9,4	1000 +0,5%[3/]	85c[4]	90c[4]	89c	16b	8b	0c
2. (imazethapyr+imazapic)+DASH+água com 188,2 ppm de $CaCO_3$ acidificada até pH 4,5	1000 + 0,5%	92b	98a	99a	25a	14a	5b
3. (imazethapyr+imazapic)+DASH+água de açude com 19,3 ppm de $CaCO_3$ e pH 5,1	1000 + 0,5%	84c	88c	90c	18b	4c	0c
4. (imazethapyr + imazapic)+DASH+água de açude com 19,3 ppm de $CaCO_3$ acidificada até pH 4,5	1000 + 0,5%	90b	95b	97ab	26a	12a	7a
5. (imazethapyr+imazapic)+DASH+água de poço artesiano com 84,7 ppm de $CaCO_3$ e pH 8,7	1000 + 0,5%	79d	86c	88c	15b	3c	0c
6. (imazethapyr+imazapic)+DASH+água de poço artesiano com 84,7 ppm de $CaCO_3$ acidificada até pH 4,5	1000 + 0,5%	89b	96ab	95b	25a	15a	5b
7. Testemunha capinada	-	100a	98a	98a	0c	0d	0c
8. Testemunha infestada		0d	0d	0d	0c	0d	0c
CV (%)	-	3,08	4,29	3,56	8,19	18,20	20,17

Fonte: Sanchotene *et al* (2007).

2.8 FLUMIOXAZINA

A molécula flumioxazina (estrutura molecular representada na figura 11) pertence ao grupo químico das ftalimidas (RODRIGUES E ALMEIDA, 2018) e sua dose recomendada de uso é de 25 a 125 g i.a./h.a. (SILVA, 2023). Em 2023, a flumioxazina representou 0,23% do total de ativos utilizados no Paraná (PARANÁ, 2024). A maioria das formulações pertence a Categoria 5 (Produto Improvável de Causar Dano Agudo) da Classificação Toxicológica e a Classe III (Produto Perigoso ao Meio Ambiente) da Classificação do Potencial de Periculosidade Ambiental (ADAPAR, 2023).

Figura 11 – Estrutura Molecular da Flumioxazina



Fonte: Rodrigues e Almeida, 2018.

Na planta alvo, o herbicida é absorvido via foliar e radicular e atua na inibição da enzima protoporfirinogen oxidase (PROTOX), induzindo uma concentração maciço de porfirinas. Então, a ação fotossensível das porfirinas acumuladas provoca a peroxidação dos lipídios de membrana e as plantas que emergem do solo tratado com flumioxazina tornam-se necróticas e morrem após a exposição à luz do sol (RODRIGUES & ALMEIDA, 2023).

Possui baixa lixiviação, a degradação é principalmente microbiana, é suscetível à fotodecomposição e não é persistente no solo (RODRIGUES & ALMEIDA, 2023).

A eficácia da flumioxazina no controle de diversas plantas daninhas de folhas larga é bem documentada, mas esta substância pode ser degradada em condições alcalinas. Em pH 5, a flumioxazina demonstra alta estabilidade e pode permanecer ativa na água por vários dias. No entanto, conforme o pH sobe para 7, sua meia-vida reduz para aproximadamente 24 horas, e em pH 9, a meia-vida cai para apenas 15 minutos. Isso significa que misturar flumioxazina com água de pH elevado pode resultar na degradação do herbicida, fazendo com que ele perca sua eficácia antes da aplicação. Portanto, ao utilizar flumioxazina, é essencial verificar se a água precisa ser acidificada para manter a eficácia do produto. Caso contrário, a eficácia do herbicida pode ser comprometida se água com pH alto for utilizada para a aplicação (FISHEL & FERRELL,2019).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os herbicidas estudados apesar de seletivos para a cultura da soja podem levar ao aparecimento de sintomas de fitotoxicidade nas plantas; seja em pré emergência como o clorimurom e o S-metolacloro ou em pós emergência como o glifosato e o cletodim.

O uso de água com pH acima de 7 na calda de pulverização pode levar a perda de estabilidade das moléculas herbicidas e diminuir sua eficácia.

O resultado e eficiência de todos os herbicidas estudados apresentaram variação de acordo com características climáticas, qualidade da água e uso de adjuvante ou óleo.

3.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Comparar o comportamento e eficiência de uma molécula entre diferentes marcas comerciais.

Comparar o nível de fitotoxicidade de herbicidas de acordo com o adjuvante ou óleo utilizado junto com a calda.

REFERÊNCIAS

ADAPAR. Agrotóxicos - Herbicidas. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/Pagina/Agrotoxicos-Herbicidas. Acesso em: 16 ago. 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Agropecuária. **Projeções do Agronegócio - Brasil 22/23 a 2032/33**. Brasília, DF, 2023.

CARMO, M. S. do; *et al*. Eficácia do herbicida S-metolacloro no controle de Urochloa decumbens em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 53, p. e76359, 2023. Disponível em: https://revistas.ufg.br/pat/article/view/76359. Acesso em: 18 jun. 2024.

DARAMOLA, O. S. et al. Spray water quality and herbicide performance: a review. **Weed Technology**, v. 36, p. 758-767, Dez. 2022. doi: 10.1017/wet.2022.97.

DARIO, G. et al. **Fitointoxicação do herbicida cletodim associado a diferentes concentrações de óleo mineral em soja.** XXXI Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas, Rio de Janeiro, 2018.

FALCADE, A.; BONETTI, L. P.; SPERLING, S. **Avaliação da fitotoxicidade do herbicida clorimuron-etílico (Classic) em duas cultivares de soja.** XVII Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão. Unicruz, 2020.

FISHEL, F. M.; FERRELL, J. A. **Water pH and the Effectiveness of Pesticides**. IFAS Extension, University of Florida, 2019.

GIRALDELI, A. L. **Veja como evitar residual de herbicidas na sua lavoura**. Aegro, 2020. Disponível em: https://blog.aegro.com.br/residual-de-herbicidas/. Acesso em: 12 ago. 2024.

HERBICIDE Handbook. Weed Science Society of America. Tenth Edition, 2014.

IBGE. Produção Agrícola - Lavoura Temporária. Paraná, 2022.

JOHNSON, W. G.; LAVY, T. L.; GBUR, E. E. Sorption, Mobility and Degradation of Triclopyr and 2,4-D on Four Soils. **Weed Science**, v. 43, n. 4, p. 678-684, 1995. doi:10.1017/S0043174500081820.

LAVORENTI, A. et al. Comportamento do diclosulam em amostras de um latossolo vermelho distroférrico sob plantio direto e convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 27, p. 183-190, 2003.

LUCKMANN, M. J. et al. **Controle de plantas daninhas em pós-emergência da soja com herbicidas inibidores da accase**. Ano 2014.

MACHADO, B. de A. **Interação manganês e glifosato na soja**. Agroadvance, 2020. Disponível em: https://agroadvance.com.br/blog-interacao-manganes-e-glifosato/. Acesso em: 14 ago. 2024.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. **Herbicidas mecanismos de ação e uso**. EMBRAPA Cerrados. Planaltina-DF 2008.

MAZZEU, L. D.; OLIVEIRA, I. A.; ANDRADE, P. P. Efeito do pH da calda de pulverização do herbicida glifosato no controle de plantas daninhas do cafeeiro. **Revista Agroveterinária do Sul de Minas**, Varginha, MG, v. 3, n. 1, p. 94-109, 2021, ISSN: 2674-9661.

NEGRISOLI, R. M. **pH de calda ideal para herbicidas e seus efeitos.** Agroadvanced, 2021. Disponível em: https://agroadvance.com.br/blog-ph-de-calda-na-eficacia-de-herbicidas/. Acesso em: 12 ago. 2024.

NUNES, J. L. S. **Características da soja**. Agrolink, 2016. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/informacoes/caracteristicas_361509.html. Acesso em: 12 ago. 2024.

PARANÁ. Secretária da Agricultura e do Abastecimento. Sistema de Monitoramento do Comércio e Uso de Agrotóxicos do Estado do Paraná (SIAGRO). Curitiba, 2024.

PENCKOWSKI, L. H.; BORSATO, E. F.; ROSCOSZ JR, F. **Intervalo entre a aplicação e a semeadura da soja para os herbicidas 2,4-D, MCPA, dicamba, fluroxypyr e triclopir em ano de excesso hídrico.** XXX Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas. Curitiba, 2016.

PERIPOLLI, M. *et al*. Controle de *Cyperus difformis* L. por herbicidas als mimetizadores de auxinas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, vol. 19, n. 02, p. 1-8, 2020. DOI: https://doi.org/10.7824/rbh.v19i2.697. Disponível em: https://doi.org/10.7824/rbh.v19i2.697. Acesso em: 17 jun. 2024.

PROCÓPIO, S. O. et al. Utilização de chlorimuron-ethyl e imazethapyr na cultura da soja Roundup Ready®**. Planta Daninha**,Viçosa-MG, v.25, n. 2, p. 365-373, 2007.

REIS, T. C. *et al*. Efeitos de fitotoxidade na soja RR tratada com formulações e dosagens de Glifosato. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 10, n. 1, p.34-43, 2010. Disponível em: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50016930003. Acesso em: 31 jul. 2024.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de Herbicidas**. 7° Edição. Londrina, 2018.

SANCHOTENE, D. M. Influência de sais e do pH da água na eficiência de imazethapyr + imazapic no controle de arroz-vermelho. **Planta Daninha**,Viçosa-MG, v.25, n. 2, p. 415-419, 2007.

SILVA, D. A. I. **Avaliação de diferentes doses de S-Metolacloro na cultura da soja.** Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso de Especialização em Produção Vegetal, Unidade em Vacaria, 2020. Disponível em: https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/handle/123456789/1253. Acesso em: 18 jun. 2024.

SILVA, K. S. **Aplicações tardias de glifosato afetam o desempenho da soja RR?** WeedOut, 2019. Disponível em: https://weedout.com.br/aplicacoes-tardias-glifosato/. Acesso em: 18 jun. 2024.

SILVA, K. S. **Diclosulam**. WeedOut. 2023. Disponível em: https://weedout.com.br/diclosulam/. Acesso em 18 jun. 2024.

SILVA, K. S. **Flumioxazina**. WeedOut. 2023. Disponível em: https://weedout.com.br/flumioxazina/. Acesso em 22 jul. 2024.

SILVA, K. S. **S-metolacloro.** WeedOut. 2023. Disponível em: https://weedout.com.br/s-metolacloro/. Acesso em: 18 jun. 2024.

SILVA, K. S. **Triclopir-butotílico.** WeedOut. 2023. Disponível em: https://weedout.com.br/triclopir-butotilico/ Acesso em: 17 jul. 2024.

SIPCAM Oxon. **Clethodim.** 2024. Disponível em: https://www.sipcam-oxon.com/en/products/plant-protection/herbicides/clethodim. Acesso em: 16 ago. 2024.

SOUZA, J. L. **Principais ingredientes ativos dos agroquímicos**: aplicação e uso no Brasil. 35 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Agronômica). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2023.

TAKANO, H. K. et al. ACCase-inhibiting herbicides: mechanism of action, resistance evolution and stewardship. **Scientia Agricola**. v.78, n.1, 2021. doi: http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0102.

TAVARES, A. A. C. DODDS, D.; SPEIGHTS, C. **Water quality and herbicide efficacy**. Mississipi State University. 2023.

TAVARES, C. R. de O. **Síntese do glifosato marcado com nitrogênio-15**. 86 f. Tese (Doutorado em Ciências). Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

VIDAL, R. A. et al. **Fatores ambientais que afetam a eficácia de glifosato: síntese do conhecimento**. Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente, v. 24, p. 43-52, jan./dez. 2014.

ZADINELLO, R. **Influência da aplicação de Glifosato na produtividade da soja.** Acta Iguazu, Cascavel, v. 1, n. 4, p. 1-8, 2000. DOI: 10.48075/actaiguaz.v1i4.7712.

Disponível em: https://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/7712. Acesso em: 31 jul. 2024.