



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

EDSON ARAÚJO DE AMORIM

**SELETIVIDADE DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES EM
CULTIVARES DE SOJA E NO CULTIVO DE MILHO
PLANTADO EM SUCESSÃO**

Londrina
2023

EDSON ARAÚJO DE AMORIM

**SELETIVIDADE DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES EM
CULTIVARES DE SOJA E NO CULTIVO DE MILHO
PLANTADO EM SUCESSÃO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do Título de MESTRE em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Giliardi Dalazen

Londrina
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

A524s Amorim, Edson Araújo de.
Seletividade de herbicidas pré-emergentes em cultivares de soja e no cultivo de milho plantado em sucessão / Edson Araújo de Amorim. - Londrina, 2023. 75 f. : il.

Orientador: Giliardi Dalazen.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023. Inclui bibliografia.

1. Fitointoxicação - Tese. 2. Glycine max - Tese. 3. Herbicidas Residuais - Tese. 4. Zea mays - Tese. I. Dalazen, Giliardi . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

EDSON ARAÚJO DE AMORIM

**SELETIVIDADE DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES EM
CULTIVARES DE SOJA E NO CULTIVO DE MILHO
PLANTADO EM SUCESSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual de
Londrina - UEL, como requisito parcial para
a obtenção do título de Mestre em
Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Giliardi Dalazen

Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Marcelo Augusto de Aguiar e Silva

Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dra. Ana Lígia Giraldeli

Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 28 de julho de 2023.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças e determinação para encarar uma nova realidade, de vida, cultura e amigos.

À minha família por ter me apoiado nessa decisão de sair do meu estado natal para o outro lado do país. Agradeço aos meus amigos que fiz no Maranhão, em destaque, Rafael Guimaraes, Elton Lima, Gabrielle Cruz, Layane Santos, Diogo Zonin, que foram pessoas que marcaram minha vida e contribuíram de alguma forma nas minhas conquistas.

Ao Prof. Dr. Giliardi Dalazen, meu orientador, que considero como um amigo e me ajudou em todas as etapas do mestrado, seja no âmbito profissional/técnico assim como pessoal. Que não deixou a desejar em nenhum aspecto, orientador por excelência, que hoje é uma das minhas principais referências profissionais e como pessoa.

Ao meu amigo Abílio, que foi meu primeiro contato no Paraná, e me auxiliou em todas as etapas de minha vinda e durante o mestrado, sou eternamente grato, assim como à Amanda, sua namorada. Ao Victor Volante também por toda ajuda na condução dos experimentos.

Agradeço ao grupo de pesquisa em herbologia da UEL, que conta com uma equipe super prestativa, que não media esforços na hora de ajudar, em especial Giovanna Nascimento, João Endi, Sergio Faraum, Sartori, José Flavio e Arthur Firmani, e todos os outros que deixei de mencionar.

Agradeço também aos meus colegas de pensão que fiz em Londrina, tendo como destaque minha querida amiga Cintia Berci, Salvador Muniz e Esdras, que me ajudaram muito a ter forças em momentos desafiadores.

Também não deixaria de agradecer a minha amada Flávia Nunes, que foi uma amiga que me ajudou a superar muitos problemas, mesmo sem ela saber, e que posteriormente acabou se tornando minha companheira de vida, e hoje continua me apoiando e torcendo para que eu busque sempre melhorar, tanto como profissional, como quanto pessoa.

Agradeço à CAPES, pois tal fundação foi meu alicerce financeiro e me deu condições de vir para Londrina e permanecer no mestrado.

Agradeço à Universidade Estadual de Londrina, pela estrutura e oportunidade de concluir essa importante etapa de minha vida.

“Nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o que, com frequência, poderíamos ganhar, por simples medo de arriscar”.
William Shakespeare

..

RESUMO

AMORIM, Edson Araújo. **Seletividade de herbicidas pré-emergentes em cultivares de soja e no cultivo de milho plantado em sucessão**. 2023. 75 páginas. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

A utilização de herbicidas pré-emergentes tem sido difundida como uma ferramenta importante na prevenção e no manejo de plantas daninhas, entretanto pouco se sabe sobre a seletividade desses produtos nas cultivares atuais. Com o objetivo de avaliar a seletividade de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja foram realizados dois experimentos. O primeiro foi conduzido em condições de campo com o fim de avaliar a seletividade de herbicidas pré-emergentes na soja aplicados antes e após a semeadura da cultura. O experimento foi realizado na área experimental da Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina-PR. Foram avaliadas cinco misturas de herbicidas (metribuzim + s-metolaclor, fomesafen + s-metolaclor, Sulfentrazone + diuron, imazetapir + flumioxazina e piroxasulfona + flumioxazina) em dois momentos de aplicação na cultura da soja (aplique-plante e plante-aplique). Foram avaliados a fitotoxicidade na cultura (eficiência quântica e efetiva do fotossistema II, taxa relativa de transporte de elétrons e teor de clorofila) e produtividade de grãos. Após a colheita da soja foi realizada a semeadura de milho para avaliar possíveis efeitos de *carryover*, tendo sido realizadas as mesmas avaliações de fitotoxicidade realizadas na soja. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Para a soja, aos 21 DAS todos os parâmetros fisiológicos foram afetados pelos herbicidas testados, tanto a eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) quanto o teor de clorofila (SPAD). Já a taxa relativa de transporte de elétrons e eficiência efetiva do fotossistema II (Y_{II}) foram afetadas pelos herbicidas e pelos momentos de aplicação, mostrando uma interação dos fatores. Foi observada maior fitointoxicação das plantas quando o herbicida foi aplicado no sistema plante-aplique. No entanto, aos 42 DAS todos os parâmetros fisiológicos mostraram recuperação. A produtividade foi afetada negativamente, tendo como destaque positivos as misturas de metribuzim + s-metolaclor e Sulfentrazone + diuron. Na cultura do milho, não houve resposta significativa para nenhum dos parâmetros avaliados. O segundo experimento teve como objetivo avaliar a sensibilidade de cultivares de soja à mistura comercial de sulfentrazone + diuron. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em fatorial 20×3 . O fator A foi composto por 20 cultivares de soja. O fator B foi composto por três doses da mistura de sulfentrazone + diuron, sendo as doses zero, $175 + 350 \text{ g i.a ha}^{-1}$ e $350 + 700 \text{ g i.a ha}^{-1}$. As variáveis avaliadas foram fitotoxicidade, atividade do FSII, taxa relativa de transporte de elétrons (ETR), comprimento de parte aérea e massa seca da parte aérea (MSPA). A mistura de sulfentrazone + diuron provocou alterações negativas nas características fisiológicas e de crescimento das plantas, evidenciando a fitotoxicidade do produto, principalmente na maior dose avaliada. No entanto, foi observada variabilidade na sensibilidade das cultivares estudadas. As cultivares HO Amambay, HO Iguaçu, HO Paraguaçu, HO Pirapó, Lança IPRO, Lótus IPRO, M6410 IPRO, TMG 2356 IPRO, TMG 2359 IPRO e TMG 2364 IPRO se mostraram mais sensíveis. Sendo assim, conclui-se que a seletividade da mistura sulfentrazone + diuron é dependente da dose aplicada e da cultivar de soja.

Palavras-chave: Fitointoxicação; *Glycine max*; Herbicidas Residuais; *Zea mays*.

ABSTRACT

AMORIM, Edson Araújo. **Selectivity of pre-emergent herbicides in soybean cultivars and corn crop planted in succession.** 2023. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

The use of pre-emergent herbicides has been widespread as an important tool in the prevention and management of weeds, however little is known about the selectivity of these products in current cultivars. With the objective of evaluating the selectivity of pre-emergent herbicides in the soybean crop, two experiments were carried out. The first was carried out under field conditions in order to evaluate the selectivity of pre-emergent herbicides in soybean applied before and after sowing the crop. The experiment was carried out in the experimental area of the Farm School of the State University of Londrina-PR. Five mixtures of herbicides (metribuzim + s-metolachlor, fomesafen + s-metolachlor, sulfentrazone + diuron, imazethapyr + flumioxazin and pyroxasulfone + flumioxazin) were evaluated at two times of application in the soybean crop (apply-plant and plant-apply). Phytotoxicity in the crop (quantum and effective efficiency of photosystem II, relative rate of electron transport and chlorophyll content) and grain yield were evaluated. After the soybean harvest, corn was sown to assess possible carryover effects, with the same phytotoxicity assessments carried out for soybeans. Data were subjected to analysis of variance, and means were compared using Tukey's test ($p < 0.05$). For soybean, at 21 DAS all physiological parameters were affected by the tested herbicides, both photosystem II quantum efficiency (F_v/F_m) and chlorophyll content (SPAD). On the other hand, the relative rate of electron transport and the effective efficiency of photosystem II (Y_{II}) were affected by the herbicides and by the times of application, showing an interaction of the factors. Greater phytointoxication of the plants was observed when the herbicide was applied in the plant-apply system. However, at 42 DAS all physiological parameters showed recovery. Productivity was affected, with the positive highlights being the mixtures of metribuzin + s-metolachlor and sulfentrazone

+ diuron. In the corn crop, there was no significant response for any of the evaluated parameters. The second experiment aimed to evaluate the sensitivity of soybean cultivars to the commercial mixture of sulfentrazone + diuron. The experiment was carried out in a greenhouse in a 20 x 3 factorial. Factor A was composed of 20 soybean cultivars. Factor B was composed of three doses of the mixture of sulfentrazone + diuron, with doses zero, 175 + 350 g i.a ha⁻¹ and 350 + 700 g i.a ha⁻¹. The variables evaluated were phytotoxicity, PSII activity, relative electron transport rate (RET), shoot length and shoot dry mass (MSPA). The mixture of sulfentrazone + diuron caused negative changes in the physiological and growth characteristics of the plants, evidencing the phytotoxicity of the product, mainly at the highest evaluated dose. However, variability was observed in the sensitivity of the studied cultivars. The cultivars HO Amambay, HO Iguçu, HO Paraguaçu, HO Pirapó, Tecla IPRO, Lótus IPRO, M6410 IPRO, TMG 2356 IPRO, TMG 2359 IPRO and TMG 2364 IPRO were more sensitive. Thus, it is concluded that the selectivity of the sulfentrazone + diuron mixture is dependent on the applied dose and the soybean cultivar.

Key-words: *Glycine max*; Phytotoxication; Residual herbicides; *Zea Mays*.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Condições meteorológicas desde a semeadura da cultivar de soja em experimento conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.
- Figura 2** – Eficiência quântica do Fotossistema II (F_v/F_m) avaliados aos 21 (A) e 28 (B), após semeadura (DAS), submetidos ao efeito de herbicidas pré-emergentes em duas formas de aplicação (FA), Londrina –PR.
.....35
- Figura 3** – Eficiência efetiva do Fotossistema II (YII) (A) e Taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) (B) avaliados aos 21, após semeadura(DAS), submetidos ao efeito de herbicidas pré-emergentes em duas formas de aplicação (FA), Londrina – PR.
.....38
- Figura 4** – Eficiência efetiva do Fotossistema II (YII) (A) e Taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) (B) avaliados aos 35 dias após semeadura (DAS), submetidos ao efeito de herbicidas pré-emergentes em duas formas de aplicação (FA), Londrina – PR.
.....39
- Figura 5** – Teor de clorofila das plantas de soja avaliadas aos 31 dias após semeadura (DAS), submetidos ao efeito de herbicidas pré-emergentes em duas formas de aplicação (FA), Londrina –PR. 40
- Figura 6** – Produtividade da cultura da soja sob efeito de herbicidas pré-emergentes em duas formas de aplicação (FA), Londrina –PR.
.....41
- Figura 7** – Eficiência quântica (F_v/F_m) (A) e efetiva (YII) (B) do fotossistema II aos 15 dias após a aplicação (DAA) de sulfentrazone + diuron nas cultivares de soja, Londrina-PR, 2022.....53
- Figura 8** – Taxa relativa de transporte de elétrons aos 15 (A) e 45 (B) dias após a aplicação (DAA) de sulfentrazone + diuron nas cultivares de soja, Londrina-PR, 2022..... 55

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Herbicidas pré-emergentes utilizados no experimento, Londrina-PR. 30
- Tabela 2** – Tabela de escala visual para avaliação de fitotoxicidade. 31
- Tabela 3** – Eficiência quântica do Fotossistema II (F_v/F_m), Eficiência Efetiva do Fotossistema II (Y_{II}), Taxa Relativa de Transporte de Elétrons (ETR), Teor de Clorofila (SPAD) avaliados aos 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a semeadura (DAS), e Produtividade (kg ha^{-1}) e Peso de Mil Grãos (PMG) de soja submetidos ao efeito de herbicidas pré-emergentes em duas formas de aplicação (FA), Londrina – PR. 34
- Tabela 4** – Relação das cultivares de soja submetidas ao efeito dos herbicidas sulfentrazone + diuron aplicados na pré-emergência da cultura. Londrina - PR, 2023. 47
- Tabela 5** – Escala de avaliação visual de fitotoxicidade utilizada no experimento. Londrina-PR, 2023. 49
- Tabela 6** – Porcentagem de fitointoxicação de plantas de soja aos 15 e 45 dias após a aplicação (DAA) de sulfentrazone + diuron. Londrina-PR, 2023. 51
- Tabela 7** – Eficiência quântica (F_v/F_m) e efetiva (Y_{II}) do fotossistema II aos 45 dias após a aplicação (DAA) de Sulfentrazone + Diuron nas cultivares de soja, Londrina-PR, 2023. 54

Sumário

<u>1</u>	<u>INTRODUÇÃO</u>	13
<u>2</u>	<u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	16
<u>2.1</u>	<u>A Cultura da Soja</u>	16
<u>2.2</u>	<u>Importância Econômica da Soja</u>	16
<u>2.3</u>	<u>Milho</u>	17
<u>2.4</u>	<u>Importância econômica do milho</u>	18
<u>2.5</u>	<u>Cultivo em sucessão soja-milho</u>	18
<u>2.6</u>	<u>Manejo integrado de plantas daninhas</u>	20
<u>2.7</u>	<u>Características de herbicidas residuais (pré-emergentes)</u>	22
<u>2.8</u>	<u>Seletividade de Herbicidas</u>	24
<u>2.9</u>	<u>Sistema de aplicação (Plante-aplique x Aplique-plante)</u>	25
	<u>REFERÊNCIAS</u>	27
<u>ARTIGO 1 - SELETIVIDADE DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NA CULTURA</u>		
	<u>DA SOJA E DO MILHO CULTIVADO EM SUCESSÃO</u>	31
<u>3</u>	<u>INTRODUÇÃO</u>	33
<u>4</u>	<u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	36
<u>4.1</u>	<u>Local e condições experimentais</u>	36
<u>4.2</u>	<u>Delineamento experimental e tratamentos</u>	37
<u>4.3</u>	<u>Avaliações na cultura da soja e do milho</u>	38
<u>3.3.1</u>	<u>Fitotoxicidade de Herbicidas – Estabelecimento e Desenvolvimento Inicial</u>	38
<u>4.3.3</u>	<u>Fitotoxicidade de Herbicidas - Avaliações Fisiológicas</u>	39
<u>4.3.4</u>	<u>Componentes de Rendimento e Produtividade de Grãos</u>	40
<u>4.4</u>	<u>Análise dos dados</u>	40
<u>5</u>	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	41
<u>6</u>	<u>CONCLUSÕES</u>	50
	<u>REFERÊNCIAS</u>	51
<u>ARTIGO 2 - SENSIBILIDADE DE CULTIVARES DE SOJA À MISTURA DE</u>		
	<u>SULFENTRAZONE + DIURON APLICADO EM PRÉ-EMERGÊNCIA</u>	54
<u>7</u>	<u>INTRODUÇÃO</u>	56
<u>8</u>	<u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	58
<u>8.1</u>	<u>DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS</u>	58

		13
<u>8.2</u>	<u>INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO E APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS</u>	59
<u>8.3</u>	<u>Avaliações</u>	59
<u>8.3.1</u>	<u>Fitotoxicidade</u>	59
<u>8.3.2</u>	<u>Avaliações fisiológicas</u>	60
<u>8.3.3</u>	<u>Análises biométricas</u>	61
<u>8.3.4</u>	<u>Análise dos dados</u>	61
9	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	62
<u>9.1</u>	<u>Fitotoxicidade</u>	62
<u>9.2</u>	<u>Análises fisiológicas</u>	64
<u>9.2.1</u>	<u>Eficiência quântica e efetiva do fotosistema II</u>	64
<u>9.3</u>	<u>Análises biométricas</u>	67
10	<u>CONCLUSÕES</u>	70
	<u>REFERÊNCIAS</u>	71

1 INTRODUÇÃO

No cenário mundial, a soja e o milho se apresentam como uma grande fonte de renda, tendo como destaque em produção o Brasil e Estados Unidos. No Brasil, a soja é o grão mais plantado de norte a sul do país, gerando emprego e renda para a população. A cada safra inúmeros são os novos investimentos feitos na agricultura e na indústria, sempre em busca de inovação e sustentabilidade. Empresas de melhoramento vem continuamente buscando novas cultivares ou híbridos que se adequem às mais variadas regiões do país, sejam elas de âmbito climático ou fitossanitário.

Entretanto, mesmo com todos os avanços em tecnologia, algumas adversidades comprometem o sucesso de novos materiais. Um exemplo clássico são as plantas geneticamente modificadas com a tecnologia Roundup Ready (RR), que as conferem a capacidade de tolerar o herbicida glifosato, herbicida mais utilizado na agricultura brasileira.

A introdução de culturas resistentes ao glifosato fomentou uma modificação sistema de manejo de plantas daninhas na agricultura. A principal modificação foi a diminuição da rotação de mecanismos de ação, pois era confortável aplicar um herbicida de amplo espectro antes e após o plantio da cultura. No entanto, o uso demasiado do glifosato provocou uma forte pressão de seleção em plantas daninhas, agravando problemas de resistência a esse mecanismo de ação.

Uma forma de contornar essa situação é através da realização do manejo integrado de plantas daninhas (MIPD). O MIPD visa a integração de vários métodos de controle, como métodos preventivos, culturais, mecânicos, físicos e químicos, essenciais para uma produção agrícola sustentável, com redução de custos de produção e menor impacto ambiental. O controle químico é atualmente o método mais empregado nos sistemas de produção, em virtude principalmente da facilidade e do baixo custo de aplicação, principalmente em grandes extensões de áreas. Todavia, dentro do contexto de manejo químico pode-se ter uma melhor eficiência de manejo, através da rotação de mecanismos de ação.

Devido aos problemas atuais no que diz respeito às plantas daninhas, as empresas vêm cada vez mais lançando novos produtos no mercado. Mas, diante da dificuldade de se encontrar novas moléculas, estão focando em misturas de

ingredientes ativos já conhecidos, a fim de aumentar o controle e espectro de ação sobre a comunidade infestante. São exemplos as misturas de metribuzim + s-metolaclor, fomesafen + s-metolaclor, Sulfentrazone + diuron e imazetapir + flumioxazina e piroxasulfona + flumioxazina. Estes herbicidas incluem inibidores de fotossistema II (metribuzim e diuron), inibidores da protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) (sulfentrazone, flumioxazina e fomesafen), inibidores de ácidos graxos de cadeia muito longa (s-metolachlor e piroxasulfona) e inibidores da ALS (imazetapir).

Dentro desse contexto, destacam-se as misturas de herbicidas com ação pré-emergente, outrora esquecidos após a introdução dos cultivos RR.

Os pré-emergentes se apresentam como fortes aliados no manejo, pois possibilitam controlar plantas daninhas antes mesmo delas competirem com a cultura, evitando a emergência de sementes ou controlando plântulas. Os herbicidas pré-emergentes também promovem controle de novos fluxos de plantas daninhas, devido ao seu residual. Diante disto, promovem um melhor desenvolvimento da cultura, aumentando o período de entrada na lavoura para aplicação de um pós-emergente, como glifosato, controlando plantas menores ou até mesmo eliminando uma aplicação.

Contudo, a seletividade dos pré-emergentes é uma característica condicional. Ou seja, depende de vários fatores, como época de aplicação, dose, cultivar, cultura, solo, clima, entre outras. A aplicação de pré-emergentes pode ser realizada em dois sistemas: aplique-plante e plante-aplique. Hipotetiza-se que exista diferença na seletividade dos herbicidas pré-emergentes, e que o sistema de aplicação, se antes ou após a semeadura da soja, pode influenciar na seletividade. Ainda, hipotetiza-se que a seletividade depende da cultivar de soja, dadas as diferentes bases genéticas e capacidades metabólicas dos materiais.

Outro ponto importante é que nas regiões mais quentes do Brasil, após a colheita da soja ocorre a semeadura do milho segunda safra. Alguns herbicidas pré-emergentes possuem mais tempo de meia-vida, não sendo seletivos para o milho. Dessa forma, o trabalho tem como hipótese também que a aplicação de pré-emergentes na soja pode influenciar no desenvolvimento inicial do milho segunda safra.

Nesse sentido, os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar a seletividade de misturas de pré-emergentes na cultura da soja em resposta ao

sistema de aplicação (aplique-plante x plante-aplique); (ii) avaliar o efeito de pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o desenvolvimento inicial de milho cultivado na segunda safra; (iii) avaliar a tolerância de diferentes cultivares de soja ao herbicida sulfentrazone + diuron em diferentes doses.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DA SOJA

A origem mais provável da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a região ao longo do Vale do Rio Amarelo na China, a qual possui expressiva diversidade genética e, dessa forma, acredita-se que seja seu centro de origem primário. A região da Manchúria (noroeste da China), por sua vez, é o centro secundário, onde ocorreu a domesticação da planta (CHUNG; SINGH, 2008). No Oriente, a soja é cultivada há mais de 5.000 anos para consumo humano e animal, além de ser considerada como um dos cinco grãos sagrados, juntamente com arroz, trigo, cevada e milho (SEDIYAMA, 2016).

A soja foi levada da China para Europa em 1740 e em 1804 introduzida nos Estados Unidos da América (SEDIYAMA, 2009). No Brasil, a primeira referência data de 1882, quando ocorreu o cultivo experimental de soja no Recôncavo Baiano. A iniciativa não teve êxito, pois o material genético testado não era adaptado à região. Nessa época, a produção comercial de soja no mundo estava restrita à região leste da Ásia, em latitudes próximas a 40°N, onde o clima é temperado, em contraste com o clima tropical e a baixa latitude (12°S) da Bahia (DALL'AGNOL, 2016). A soja somente teve êxito no Brasil a partir dos anos 1940, quando foi semeada no estado do Rio Grande do Sul (RS), localizado entre as latitudes de 27°S e 34°S (DALL'AGNOL, 2016). No Sul do Brasil a cultura encontrou condições para se desenvolver e expandir, dadas às semelhanças climáticas do ecossistema de origem. Na década de 1970 a soja já era a principal cultura do agronegócio nacional (EMBRAPA, 2013; DALL'AGNOL, 2016).

Grande parte da área mundial cultivada com soja está localizada em latitudes maiores que 30°, onde prevalecem condições de clima temperado. O Brasil representa uma exceção dentro desse contexto, pois cerca de metade da produção brasileira é colhida em latitudes menores que 20° (ROCHA et al., 2012).

2.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA SOJA

A soja é cultivada em larga escala ao redor do mundo e representa importante fonte proteica na alimentação animal e humana, esta última sendo

principalmente de forma indireta. Segundo dados da WWF-Brasil (2023), aproximadamente 79% da produção mundial de soja é destinada à alimentação animal, e 18% é destinado à produção de óleo de soja.

No Brasil, na safra 2022/2023 a soja representa grande parte da produção de grãos e espera-se um crescimento de 3,3%, na área plantada, o que corresponde à incorporação de 2,5 milhões de hectares, chegando a 77 milhões de hectares. Em relação à produção no Brasil no ciclo 2022/2023, estima-se chegar a 312,5 milhões de toneladas, o que representa um acréscimo de 40,1 milhões de toneladas quando comparada a safra de 2021/2022, incrementando uma alta de 15% (CONAB, 2023).

A perspectiva para produção da cultura é de crescimento em área e produtividade ao longo das safras, porém, diversos desafios são encontrados em campo, incluindo fatores bióticos e abióticos que causam redução de produtividade. Dentre os desafios de alcance de alta performance encontra-se o manejo de plantas daninhas, ou seja, plantas que crescem espontaneamente em locais de atividade humana e cause prejuízos a essa atividade (CARVALHO, 2013).

2.3 MILHO

O milho (*Zea mays* L.), pertence à família das Poáceas e acredita-se que tenha sua origem na América, sendo os primeiros relatos datados a cerca de 7.300 anos, encontrado em ilhas do litoral mexicano. Para alguns historiadores, o milho foi originando de uma gramínea anual originária do México e da Guatemala, conhecida com Teosinte (*Zea mexicana* L.), por meio de seleção antrópica. No entanto, alguns defendem a ideia de que o milho e o Teosinte se diferem há mais tempo de um ancestral comum (OKUMURA et al., 2011).

Após o descobrimento do milho, ele foi direcionado para a Europa, onde primeiramente foi cultivado em jardins até que seu valor alimentício fora conhecido (OKUMURA et al., 2011). Nos dias atuais, devido à sua alta resiliência aos diferentes ambientes de cultivo, decorrente da grande variedade de genótipos existentes, é plantado em todos os continentes e sua produção mundial só fica atrás da produção de trigo e de arroz (PEIXOTO, 2002; SILVA, 2013).

Com grande capacidade de diversificação no seu uso, o milho é um dos alimentos mais nutritivos que existem. In natura, derivados ou ingrediente de

outros produtos, se destaca como uma importante fonte energética. Diferentemente do trigo e do arroz, refinados durante seus processos de industrialização, o milho conserva sua casca, que é rica em fibras, essencial para a supressão das toxinas encontradas no organismo humano. Além de fibras, o grão de milho possui em sua composição cerca de 60% de carboidratos, 10% de proteína e 4% de lipídios, assim como ferro, fósforo, potássio, cálcio e vitaminas do complexo A e B (OKUMURA et al., 2011).

2.4 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO MILHO

Atualmente, o maior produtor de milho grão são os Estados Unidos, com uma estimativa de produção para safra 2022/23 de aproximadamente 348,8 milhões de toneladas de milho. Logo em seguida vem a China, com uma produção estimada de 277 milhões de toneladas, enquanto o Brasil ocupa a terceira posição, com 125 milhões de toneladas (FIESP, 2023). No Brasil, a Conab prevê uma produção total de 125,8 milhões de toneladas na safra 2022/23, com aumento esperado de 11,2% comparado à safra anterior, já área plantada também apresentou um acréscimo de 1,8%, sendo estimado em 21,97 milhões de hectares (CONAB, 2023).

A importância econômica do milho grão é destacada pelas suas diversas formas de utilização, principalmente na alimentação animal, em forma de forragem para o período de seca e na fabricação de farelos. Na indústria é utilizado como matéria prima de uma gama de produtos alimentícios, como amido, farinhas e óleo, além de outros produtos, que o faz ser o cereal mais produzido no mundo (CAZETTA, 2010; OKUMURA et al., 2011). Na dieta animal se destaca como a maior parte do consumo desse cereal, representando cerca de 70% no mundo. Nos Estados Unidos, cerca de 50% são direcionados para esse fim, já no Brasil tem uma variação de 60 a 80% (CAZETTA, 2010; GALVÃO, 2014).

2.5 CULTIVO EM SUCESSÃO SOJA-MILHO

A agricultura vem passando por intensificações em seus sistemas produtivos, a fim de promover maior eficiência agrícola e lucratividade financeira. Nesse sentido, salienta-se o processo de sucessão soja - milho, nas contínuas safras, com destaque para regiões do estado Paraná, e os estados de Mato Grosso,

Mato Grosso do Sul e Goiás (PETTER et al., 2015).

No Brasil, a semeadura do milho como segunda safra, após a colheita da soja, também conhecido como milho "safrinha" é uma realidade que ocupa áreas expressivas de produção (ARTUZI; CONTIERO, 2006; PETTER et al., 2015). Esse tipo de sistema permite o aumento de renda da propriedade no mesmo ano e evita que a área agrícola permaneça em pousio, caracterizado em diversas áreas do país como um modelo de sucessão de culturas ou de semeadura direta (NÓBREGA, 2016).

No entanto, a sucessão entre soja e milho também afeta as estratégias de aplicação de herbicidas. Em estudo realizado por Santos et al. (2018), destaca que a seleção adequada de herbicidas e momentos de aplicação é essencial para maximizar a eficácia e minimizar os impactos ambientais. A rotação permite ajustar a escolha dos herbicidas com base nas características das culturas e das plantas daninhas presentes.

Outro fator que colaborou com a sucessão soja-milho foram os programas de melhoramento genético de plantas, que potencializaram a produtividade das culturas e minimizaram impactos de efeitos adversos. Isso foi possível através do lançamento de diversas cultivares de soja e híbridos de milho superprecoces, uma característica muito importante para determinar o sucesso deste arranjo produtivo. Estes materiais de soja precoce permitem a colheita antecipada, possibilitando o cultivo do milho safrinha (JUNIOR, 2020).

No Brasil, com a introdução de novas tecnologias na agricultura, o cultivo de soja e milho sofreu diversas alterações. Um exemplo é a introdução de materiais transgênicos que possibilitam o controle de plantas daninhas em soja e milho com a utilização do glifosato. O glifosato é um herbicida pós-emergente, não seletivo, sem residual no solo. O seu uso proporcionou inicialmente aumento na produtividade de grãos e conseqüentemente maior lucratividade financeira, intensificando os sistemas de produção (PETTER et al., 2015). Contudo, seu uso demasiado no sistema de sucessão soja-milho, ambos com a tecnologia Roundup Ready (RR), levou à seleção de plantas daninhas resistentes (HEAP, 2023).

E devido ao grande aumento das espécies de plantas daninhas resistentes, a agricultura passou a fomentar a utilizar de outros herbicidas, como os pré emergentes, no entanto, estes herbicidas podem comprometer a cultura a ser plantada posteriormente. Após o contato com o solo, os herbicidas são submetidos a

uma série de processos físico-químicos. Estes englobam degradação em níveis físicos, químicos e/ou biológicos, além de fotólise, lixiviação, retenção, volatilização e escoamento superficial, conforme descrito por Oliveira Jr. et al. (2011).

A interação entre esses processos, aliada às variáveis edafoclimáticas, regula a trajetória dos herbicidas no ecossistema. A resultantedessa interação exerce influência direta na persistência das moléculas dos referidos agentes ativos, dando origem a danos subsequentes em culturas sensíveis, um fenômeno designado como efeito residual ou carryover, conforme apresentado por Melo et al. (2013). A expressão de injúrias provenientes do resíduo de herbicidas no solo é multifatorial e está sujeita a uma gama de fatores, incluindo a cultura subsequente e sua suscetibilidade, o princípio ativo empregado, a concentração de aplicação, as características do solo e o contexto climático (GRICHAR et al., 2016).

2.6 MANEJO INTEGRADO DE PLANTAS DANINHAS

O manejo integrado de plantas daninhas (MIPD) deve ser conceituado pela seleção e a interação de métodos de controle que englobam um conjunto de parâmetros para seu aproveitamento, para que os resultados sejam pertinentes do ponto de vista agrônomo, econômico, ecológico e social (ADEGAS et al., 2020). Para obter êxito no manejo de plantas daninhas é necessário ter o conhecimento das características biológicas destas plantas assim como da cultura, ea capacidade de interferência das plantas infestantes, além dos diferentes métodos de controle que podem ser utilizados em diferentes condições (MOROTA et al., 2020).

As espécies de plantas daninhas, na maioria dos casos, possuem vantagem competitiva sobre as culturas, devido algumas características como crescimento rápido, alta capacidade reprodutiva e elevada capacidade de exploração de nutrientes do solo e da luminosidade, configurando seu sucesso em locais variados (BRAZ et al., 2016).

Diante disto, o manejo envolve um conjunto de estratégias, que se aplicam a situações diversas, sempre buscando evitar a introdução e disseminação de plantas daninhas, através de técnicas preventivas, como limpeza dos implementos agrícolas, instalações de barreiras físicas, aquisição de sementes e mudas isentas de contaminantes, inspeção dos substratos e adubos utilizados na

propriedade são essenciais no manejo preventivo (MELO; FERREIRA; FREITAS, 2013).

A cultura também se apresenta como uma forma de minimizar problemas, através da escolha de cultivares mais competitivos e com melhores arranjos espaciais. Segundo Balbinot Junior et al. (2005) a adoção de espaçamentos reduzidos entre fileiras na cultura de milho, com maior grau de equidistância entre plantas, em conjunto com a utilização de cultivares mais competitivos, pode reduzir a interferência de plantas daninhas e diminuir a utilização de herbicidas, mantendo o potencial de produtividade de grãos.

O desenvolvimento das plantas está intimamente ligado aos fatores ambientais, o clima e o solo constituem-se como os elementos de maior interferência nesse desenvolvimento. A introdução de cobertura na área, com resíduos vegetais, afeta diretamente o desenvolvimento das plantas daninhas, influenciando diversas etapas do seu ciclo de vida, inclusive a germinação das sementes a baixa incidência de luz, a quantidade de água, a temperatura e a fertilidade do solo (TREZZI; VIDAL, 2004).

Com isso, a introdução do plantio direto contribui significativamente no manejo de plantas daninhas, pois com a formação de camada de palha em quantidade adequada e distribuição uniforme sobre o solo, a densidade populacional de plantas daninhas emergidas tende a ser menor. Assim, o uso de herbicidas em pós-emergência da cultura pode ser reduzido, sendo recomendado apenas para o controle pontual de plantas (NUNES et al., 2010).

Entretanto, nesse sistema de cultivo, o uso de herbicidas é indispensável para o manejo de plantas daninhas. O controle químico apresenta elevada eficácia e custo reduzido, por demandar pouca mão de obra e abranger grandes extensões de área. Nesse sentido, é necessário conhecer a seletividade dos herbicidas para as culturas, principalmente quando aplicados para o controle em pré-emergência das plantas daninhas, uma vez que esses herbicidas atuam no solo (MOROTA et al., 2020).

Um dos riscos da frequente utilização do controle químico é a contínua aplicação de produtos com mesmo mecanismo de ação em uma mesma área, o que favorece a seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes, devido a pressão de seleção gerada sobre a população. Outro risco é a utilização de herbicidas com maior persistência no solo, causando efeito residual (*carryover*) nas

culturas instaladas posteriormente (CARVALHO, 2013). Nesse sentido, métodos integrados de controle são mais eficientes que o emprego de apenas um tipo de prática.

2.7 CARACTERÍSTICAS DE HERBICIDAS RESIDUAIS (PRÉ-EMERGENTES)

A utilização de herbicidas em pré-emergência tem como premissa, além do controle das plantas daninhas, o potencial residual no início do desenvolvimento das culturas, visando desfavorecer novos fluxos de plantas daninhas. Isso permite à cultura de interesse emergir num ambiente limpo, evitando interferência em estádios iniciais, até que outro manejo visando o controle seja utilizado. Entretanto, conforme a dose aplicada, as propriedades físico-químicas das moléculas, além das condições de solo e climáticas do local, esses herbicidas podem prolongar seu período residual no solo, afetando a cultura plantada em sequência (HINZ, 2001), assim como também a cultura principal.

Vale ressaltar que para o bom funcionamento dos pré-emergentes há necessidade de umidade no solo para a aplicação, sendo o suficiente para que ocorra a germinação das plantas daninhas, uma vez que o mecanismo de ação de vários herbicidas aplicados ao solo depende do processo de embebição de água pelas sementes ou da absorção radicular ou por outras estruturas jovens (OLIVEIRA JR, 2011).

Outro fator que pode dificultar a aplicação dos herbicidas é a presença de barreiras entre as gotas pulverizadas e o solo, sendo o plantio direto, o mais comum devido à presença da palha. Alguns herbicidas possuem fatores químicos e físicos específicos que dificultam a passagem pela palha, como baixa solubilidade em água e alta lipofilicidade (ROSSI et al., 2013, SILVA; MONQUERO, 2013).

A solubilidade e a polaridade são atributos físico-químicos cruciais que influenciam a mobilidade e a persistência dos herbicidas no ambiente. Herbicidas com alta solubilidade em água têm maior probabilidade de serem lixiviados para camadas mais profundas do solo, podendo alcançar aquíferos subterrâneos (HAGGAG et al., 2018). Além disso, a polaridade das moléculas afeta sua aderência às superfícies do solo e sua capacidade de serem arrastadas pelo escoamento superficial (LAKIN et al., 2015).

Sendo assim, o processo de dissipação e degradação de um herbicida aplicado ao solo é dinâmico e único para cada relação molécula-solo (ROCHA et al., 2013). Os processos no solo podem ser químicos, físicos ou biológicos, resultando na mineralização total do herbicida ou na sua conversão em outros processos (NAKAGAWA; ANDRÉA, 2000). A persistência é dada pelo período em que a molécula consegue se manter ativa, conjecturada pelo tempo de meia vida, sendo influenciado pela sorção da molécula nos coloides e pela degradação por microrganismos (FERRI; VIDAL, 2003).

A meia-vida dos herbicidas é um parâmetro chave que indica a velocidade com que esses compostos se degradam no ambiente. Herbicidas com meia-vida curta sofrem rápida degradação, muitas vezes devido à ação de microorganismos no solo (HUANG et al., 2017). Em contrapartida, herbicidas com meia-vida longa podem persistir por períodos prolongados, apresentando potencial para acumulação em ecossistemas (KRUTSCH et al., 2014).

Contudo, as condições ambientais, textura do solo, volume de palha e as particularidades de cada molécula em questão desencadeiam resultados diferentes, reforçando a necessidade de estudar cada situação separadamente, para assim fazer uma recomendação mais coerente (MANCUSO et al., 2011).

A adsorção e a lixiviação têm forte influência na permanência de herbicidas no solo. A textura do solo, sua capacidade de troca catiônica e pH influenciam a retenção dos herbicidas. Herbicidas com maior carga elétrica e afinidade por partículas de argila têm maior probabilidade de serem retidos na matriz do solo (ARAUJO et al., 2016). Além disso, a presença de matéria orgânica no solo pode formar complexos com os herbicidas, afetando sua mobilidade e biodisponibilidade (BARROS et al., 2019).

A lixiviação dos herbicidas é determinada pela interação entre suas propriedades físico-químicas e as características hidrogeológicas do solo. Herbicidas com alta solubilidade em água e baixa adsorção têm maior probabilidade de se moverem com a água percolante e atingirem camadas mais profundas do solo (SHARPLEY et al., 2017). A mobilidade desses compostos pode ser amplificada em solos arenosos, onde a taxa de infiltração é maior, aumentando o risco de contaminação de aquíferos subterrâneos (ALLRED et al., 2015).

Ainda que as aplicações em pré-emergência necessitem de um adequado nível técnico, essa forma de aplicação possui vários benefícios, como a

eficiência de controle durante o período crítico de competição com a cultura, evitando interferência inicial (MONQUERO et al., 2008). Segundo Inoue et al. (2011), a persistência no solo favorece o controle contínuo até o fechamento da cultura e na redução da emergência de plantas daninhas proporcionando melhor controle em pós-emergência.

2.8 SELETIVIDADE DE HERBICIDAS

Um herbicida é considerado seletivo quando é mais tolerado por determinada espécie ou variedade cultivada do que por outras. Entretanto, a seletividade será sempre relativa, dependendo do espectro, estágio de desenvolvimento das plantas, das condições climáticas, do tipo de solo, da dose, da modalidade de aplicação, entre outros (SILVA et al., 2009).

A seletividade não pode ser determinada apenas pela simples verificação de sintomas visuais de intoxicação, pois são conhecidos exemplos de herbicidas que podem reduzir a produtividade das culturas sem produzir-lhes efeitos visualmente detectáveis. Por outro lado, há também exemplos de herbicidas que provocam injúrias bastante acentuadas, mas que permitem às plantas manifestarem seus potenciais produtivos (NEGRISOLI et al., 2004).

A seletividade está intrinsecamente relacionada ao fato de que as espécies vegetais respondem de maneira diferente ao mesmo herbicida (DEVINE et al., 1993). Portanto, a seletividade deve ser vista como a consequência conjunta de vários fatores de proteção fitossanitária para amenizar ou eliminar lesões. Dentre os fatores de seletividade associados às características das plantas, o metabolismo diferencial dos herbicidas é um dos mais importantes (DEVINE et al., 1993; COLE, 1994; HATTON et al., 1996).

No caso da soja, muitos dos herbicidas aplicados são metabolizados pela cultura rapidamente, como ocorre com inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS) e inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX) (NETO et al., 2009). Para produtos aplicados ao solo, muitas vezes a molécula fica posicionada na camada superficial, enquanto as sementes da cultura ficam localizadas em maiores profundidades, consistindo no conceito de seletividade por posição (OLIVEIRA JR. & INOUE, 2011).

Segundo Freitas et al. (2012), para determinados herbicidas, as

características físico-químicas do solo, como pH, teor de matéria orgânica e textura, interferem na dinâmica do herbicida no solo, podendo influenciar tanto na eficácia no controle das plantas daninhas quanto na seletividade para a cultura.

2.9 SISTEMA DE APLICAÇÃO (PLANTE-APLIQUE X APLIQUE-PLANTE)

As aplicações de herbicidas em plante-aplique e applique-plante são estratégias amplamente utilizadas na agricultura para o controle eficiente de plantas daninhas. Essas abordagens envolvem a aplicação do herbicida antes da sementeira das culturas (aplique-plante) ou após a sementeira da cultura (plante-aplique). Ambas têm como objetivo principal reduzir a competição das plantas daninhas com as culturas, garantindo seu desenvolvimento e produtividade.

No caso da cultura da soja, o uso do plante-aplique tem se mostrado eficaz no controle de plantas daninhas de ciclo longo, como a buva (*Conyza* spp.) e o capim-amargoso (*Digitaria insularis*). A aplicação prévia dos herbicidas antes do plantio da soja reduz a emergência e o crescimento dessas plantas daninhas, evitando a competição inicial com as plantas cultivadas. Estudos mostram que essa estratégia de manejo de plantas daninhas resulta em maiores rendimentos na cultura da soja (BIANCHI et al., 2017).

A aplicação de herbicidas pré-emergentes, como o metribuzin, é uma prática comum para controlar um amplo espectro de plantas daninhas e reduzir a competição durante o estágio inicial de crescimento da soja (BUHLER et al., 2020). O diuron é frequentemente utilizado como herbicida pré-emergente em plante-aplique. Ele age controlando uma ampla gama de plantas daninhas de folhas largas e gramíneas, ajudando a minimizar a competição inicial com as plantas de soja (BUHLER et al., 2020).

Já a flumioxazina é outro herbicida pré-emergente utilizado em plante-aplique na cultura da soja. Ela possui atividade residual prolongada e age principalmente no controle de plantas daninhas de folhas largas, como picão-preto e caruru-de-mancha-roxa (NORSWORTHY et al., 2020).

No caso do milho, o s-metolachlor é frequentemente utilizado em plante-aplique. Esse herbicida pré-emergente é eficaz no controle de uma ampla variedade de plantas daninhas anuais gramíneas e de folhas largas, ajudando a reduzir a competição inicial com as plantas de milho (HARTZLER et al., 2019).

Na estratégia de plante-aplique, o diuron, flumioxazina e s-metolachlor também podem ser aplicados após o plantio das culturas, mas antes da emergência das plantas. Isso permite o controle precoce das plantas daninhas antes que elas possam causar danos significativos às culturas. Os herbicidas pré-emergentes têm ação residual no solo, ajudando a prevenir a germinação e o crescimento das plantas daninhas emergentes (NORSWORTHY et al., 2020).

Na cultura do milho, o applique-plante é comumente utilizado, onde a aplicação pré-emergente dos herbicidas logo é essencial para controlar as plantas daninhas antes que elas prejudiquem o desenvolvimento inicial da cultura. Plantas daninhas como o capim-colchão (*Digitaria* spp.) e o amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*) podem ser efetivamente controladas com essa técnica (MAIA et al., 2019). O applique-plante proporciona uma proteção inicial às plantas de milho, evitando a competição por nutrientes e água durante a fase de estabelecimento.

Basicamente, o sistema plante e applique protege mais a região do sulco de semeadura, promovendo um filme de herbicida sobre a linha de semeadura. Por outro lado, no sistema applique-plante, esse filme é desfeito durante o processo de semeadura, favorecendo a emergência de plantas daninhas na linha ou próximo à linha de semeadura. No entanto, essa maior exposição no sistema plante-aplique pode resultar em maior fitointoxicação da cultura.

REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F. S.; GAZZIERO, D. L. P.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; MENDES, R. F.; RODRIGUES, L. J. Importância do manejo integrado de plantas daninhas resistentes ao glifosato. **Revista Cultivar**, v. 2020. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/noticias/importancia-do-manejo-integrado-de-plantas-daninhas-resistentes-ao-glifosato>
- ALLRED, B. J. et al. Movement of Pesticides to Surface and Groundwater Beneath a Sprinkler Irrigated Cotton Field. **Journal of Environmental Quality**, v. 44, n. 1, p. 60-68, 2015.
- ARAUJO, A. S. F. et al. Adsorption of Pesticides on Soils with Different Organic Matter Content. **Environmental Pollution**, v. 219, p. 962-969, 2016.
- ARTUZI, J. P.; CONTIERO, R. L. Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1119-1123, 2006.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; FLECK, N. G. Manejo de plantas daninhas na cultura de milho em função do arranjo espacial de plantas e características dos genótipos. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 245–252, jan. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000100042>
- BARROS, F. C. et al. Pesticide Adsorption by Tropical Soils: Influence of Soil Properties, Pesticide Properties, and Environmental Factors. **Science of the Total Environment**, v. 665, p. 77-87, 2019.
- BIANCHI, M. A. et al. Aplicação de herbicidas em pré-plantio do feijão-de-vagem para controle de plantas daninhas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 5, p. 2935-2946, 2017.
- BRAZ, G. B. P.; OLIVEIRA JR.; CONSTANTIN, J.; RAIMONDI, R. T.; RIBEIRO, L. M.; GEMELLI, A.; TAKANO, H. K. Plantas daninhas como hospedeiras alternativas para *Pratylenchus brachyurus*. **Summa Phytopathologica**, v. 42, p. 233-238, 2016.
- CAZETTA, D. A. **Épocas de aplicação do nitrogênio nas características agrônômicas e na eficiência de uso na cultura do milho**, 2010. 57p, Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2010.
- CHUNG, G.; SINGH, R. J. Broadening the genetic base of soybean: a multidisciplinary approach. **Critical Reviews in Plant Sciences**, London, v. 27, p. 295-341, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Gyuhwa_Chung/publication/248936573_Broadening_the_Genetic_Base_of_Soybean_A_Multidisciplinary_Approach/links/0f317531bb89705c49000000.pdf
- COLE, D. J. Desintoxicação e ativação de agroquímicos em plantas. **Pesticide Science**, v. 42, p. 209-222, 1994.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção de grãos está estimada em 312,5 milhões de toneladas na safra 2022/23**. 2023. Levantamento safra 2022/23, Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4971-producao-de-graos-esta-estimada-em-312-5-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23>.

DALL AGNOL, A. A. **Embrapa Soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil: histórico e contribuições**. Brasília. DF: Embrapa, 2016.

DEVINE, M; DUQUE, SO; FEDTKE, C. **Physiology of herbicida action**, Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993, 441p.

FERRI, M. V. W. & R. A. VIDAL. 2003. Persistência do herbicida acetochlor em função de sistemas de preparo e cobertura com palha. **Ciência Rural**, v. 33, p. 399-404.

FIESP (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO), **Safra Mundial de Milho 2022/23 – 12º Levantamento do USDA, 2023**. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-milho-2/attachment/file-20230504224338-boletimmilhomarco2023/>

FREITAS, F. C. L.; SILVA, A. A.; SILVA, L. O. C.; ROCHA, P. R. R.; GUIMARÃES, F. C. N.; FREITAS, M. A. M. Mobilidade do ametryn em solos da região semiárida do Rio Grande do Norte. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 641-648, 2012.

GALVÃO, D. C. **Estratégia de uso de água salina na irrigação do milho AG 1051**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Semi Árido. Mossoró, 2014.

GRICHAR, W. J. et al. Cotton Response to Imazapic and Imazethapyr Residue Following Peanut. **Texas Journal of Agriculture and Natural Resources**, v. 17, p. 32-39, 2016.

HAGGAG, W. M. et al. Groundwater Contamination and Risk Assessment Due to Pesticide Leaching: A Review. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 6, p. 169-180, 2018.

HARTZLER, R. G. et al. Corn and Soybean Herbicide Chart. **Iowa State University Extension and Outreach**, 2019. Disponível em: <https://crops.extension.iastate.edu/encyclopedia/corn-and-soybean-herbicide-chart>

HATTON, P. J.; DIXON, D.; COLE, D. J.; EDWARDS, R. Atividades da glutatona transferase e seletividade de herbicidas em milho e espécies de plantas daninhas associadas. **Pesticide Science**, v. 46, p. 267-275, 1996.

HINZ, C. Description of sorption data with isotherm equations. **Geoderma**, v. 99, n. 3/4, p. 225-243, 2001.

HUANG, X. et al. Enhanced Microbial Degradation of Herbicide Atrazine in Soils with

Natural Clay and Complex Microbial Community. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 48, p. 10585-10593, 2017.

INOUE, M. H. et al. Efeito residual de herbicidas aplicados em pré-emergência em diferentes solos. **Planta Daninha**, v. 29, p. 429-435, 2011.

JUNIOR, J. V. P. **Sucessão soja-milho safrinha em função do arranjo épocas de semeadura e ciclos de maturação da soja**. Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.

KRUTSCH, C. et al. Persistence of Herbicides in a Temperate Climate Vineyard Watershed. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 15, p. 3354-3361, 2014.

LAKIN, W. D. et al. Adsorption and Fate of Herbicides in Soil Environments. **Journal of Environmental Quality**, v. 44, n. 2, p. 437-451, 2015.

MAIA, R. T. et al. Manejo de plantas daninhas em áreas de produção de milho no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 18, n. 3, p. 356-369, 2019.

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L. Efeito residual de herbicidas no solo ("Carryover"). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, p. 151-164, 2011.

MELO, C. A. D.; FERREIRA, L. R.; FREITAS, F. C. L. Práticas culturais em pequenas propriedades voltadas ao manejo integrado de plantas daninhas. In: Costa, A. G. F.; Freitas, F. C. L.; Sofiati, V.; Rocha, P. R. R. (Org). **Desafios, avanços e soluções no manejo de plantas daninhas**. Embrapa, Brasília, 2013, p. 91-102.

MONQUERO, P. A.; BINHA, D. P.; SILVA, P. V.; AMARAL, L. R. Eficiência de Herbicidas pré-emergentes após períodos de seca. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, 2008.

MOROTA, F. K. et al. Manejo de plantas daninhas em frutíferas tropicais: abacaxizeiro, bananeira, coqueiro, mamoeiro e maracujazeiro. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, n. 1, ago. 2020. Disponível em: <http://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/656/656>

NAKAGAWA, L. E.; ANDRÉA, M. M. Degradação e formação de resíduos não-extraíveis ou ligados do herbicida atrazina em solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 8, p. 1509-1515, 2000.

NEGRISOLI, E.; VELINI, E. D.; TOFOLI, G. R.; CAVENAGHI, A. L.; MARTINS, D.; MORELLI, J. L.; COSTA, A. G. F. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura de cana-de-açúcar tratada com nematicidas. **Planta Daninha**, v. 22, p. 567-575, 2004.

NETO, M. E. F. et al. Seletividade de herbicidas pós-emergentes aplicados na soja geneticamente modificada. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 345-352, abr. 2009.

NETO, S. P. S. Importância da cultivar de soja na viabilidade da sucessão soja-milho. **Jornal Dia de Campo**, 2020. Disponível em:

<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=24544&secao=Colunas%20e%20Artigos#.YhssJ9hKg2w>.

NÓBREGA, A. R. **Análise de efeito residual do herbicida imazetapir na cultura do milho**, 2016. 22f. Monografia (Curso de Bacharelado em Agronomia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2016.

WWF Brasil. **Soja, 2023**. Disponível em:

https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/agricultura/agr_soja/.

ARTIGO 1 - SELETIVIDADE DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NA CULTURA DA SOJA E DO MILHO CULTIVADO EM SUCESSÃO

RESUMO

A utilização de herbicidas pré-emergentes, que apresentam efeito residual, é uma excelente alternativa para rotação de mecanismos de ação de herbicidas. Contudo, algumas questões sobre o momento da aplicação dos pré-emergentes, assim como o *carryover* sobre o cultivo seguinte necessitam ser estudadas. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a seletividade de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja e no desenvolvimento inicial da cultura do milho cultivado em sucessão. O experimento foi realizado em condições de campo, na área experimental da Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina-PR em delineamento em blocos ao caso, foram avaliados cinco herbicidas (metribuzim + s- metolaclor, fomesafen + s-metolaclor, Sulfentrazone + diuron, imazetapir + flumioxazina e piroxasulfona + flumioxazina) em dois momentos de aplicação na cultura da soja (aplique-plante e plante-aplique). Na cultura da soja e do milho foram avaliados a fitotoxicidade na cultura (eficiência quântica e efetiva do fotossistema II, taxa relativa de transporte de elétrons e teor de clorofila). Além disso, foi avaliada a produtividade de grãos na cultura da soja. Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$), e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Na cultura da soja, aos 21 DAS todos os parâmetros fisiológicos foram afetados pelos herbicidas testados, tanto a eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) quanto o teor de clorofila (SPAD). Já a taxa relativa de transporte de elétrons e eficiência efetiva do fotossistema II (Y_{II}) foram afetadas pelos herbicidas e pelos momentos de aplicação, tendo destaque negativo na forma de plante-aplique, porém de forma diferente entre os herbicidas. No entanto, aos 42 DAS todos os parâmetros mostraram recuperação. A produtividade foi afetada, tendo como destaque positivos as misturas de metribuzim + s-metolaclor e Sulfentrazone + diuron. Na cultura do milho não houve resposta significativa para nenhum dos parâmetros avaliados, sendo os herbicidas utilizados na soja seletivos para o cultivo de milho em sucessão. Sendo assim, conclui-se que a modalidade de aplicação (planta-aplique ou aplique-plante), embora tenham resultado em diferentes padrões de fitointoxicação no início do ciclo da soja, isso não refletiu em variação na produtividade. As misturas de metribuzim + s-metolaclor e Sulfentrazone + diuron mesmo apresentando fitotoxicidade à cultura em algumas avaliações iniciais mostraram boa recuperação e não comprometeram a produtividade da cultura quando comparada as demais misturas, e o milho não foi afetado por nenhuma das misturas testadas.

Palavras-chave: Fitointoxicação; *Glycine max*; Herbicidas Residuais; *Zea mays*.

ARTIGO 1 - SELECTIVITY OF PRE-EMERGING HERBICIDES IN SOYBEAN AND CORN SUCCESSION CULTURE

ABSTRACT

The use of pre-emergent herbicides, which have a residual effect, is an excellent alternative for rotating herbicide mechanisms of action. However, some questions about the moment of pre-emergence application, as well as the carryover on the following crop need to be studied. Thus, the objective of this work was to evaluate the selectivity of pre-emergent herbicides in the soybean crop and in the initial development of the corn crop grown in succession. The experiment was carried out under field conditions, in the experimental area of the Farm School of the State University of Londrina-PR in a case-by-case block design, five herbicides were evaluated (metribuzim + s-metolachlor, fomesafen + s-metolachlor, Sulfentrazone + diuron, imazethapyr + flumioxazin and pyroxasulfone + flumioxazin) in two stages of application in the soybean crop (apply-plant and plant-apply). In soybean and corn crops, phytotoxicity in the crop (quantum and effective efficiency of photosystem II, relative rate of electron transport and chlorophyll content) were evaluated. In addition, the grain yield of soybeans was evaluated. Data were submitted to analysis of variance by F test ($p < 0.05$), and means compared by Tukey's test at 5% probability. In the soybean crop, at 21 DAS all physiological parameters were affected by the tested herbicides, both photosystem II quantum efficiency (F_v/F_m) and chlorophyll content (SPAD). The relative rate of electron transport and the effective efficiency of photosystem II (Y_{II}) were affected by the herbicides and the times of application, with a negative emphasis on the plant-apply form, but differently between the herbicides. However, at 42 DAS all parameters showed recovery. Productivity was affected, with the positive highlights being the mixtures of metribuzin + s-metolachlor and Sulfentrazone + diuron. In the corn crop, there was no significant response to any of the evaluated parameters, and the herbicides used in soybean were selective for the corn crop in succession. Thus, it is concluded that the application modality (plant-apply or apply-plant), although they resulted in different patterns of phytotoxicity at the beginning of the soybean cycle, this did not reflect in variation in productivity. The mixtures of metribuzin + s-metolachlor and Sulfentrazone + diuron, even showing phytotoxicity to the crop in some initial evaluations, showed good recovery and did not compromise the productivity of the crop when compared to the other mixtures, and corn was not affected by any of the mixtures tested.

Key words: Phytointoxication; Glycine max; Residual Herbicides; Zea mays.

3 INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro contribui significativamente para o crescimento da economia nacional, e é descrito como um dos principais alicerces econômicos, o qual representa 24,8% do Produto Interno Bruto (CEPEA, 2023). As *commodities* agrícolas retratam um sustentáculo importante e até mesmo essencial para a economia. De todas as *commodities* do setor agrícola de grãos, duas se destacam: soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*), que juntas pode atingir uma produção de 278,48 milhões de toneladas na safra 2022/2023 (CONAB, 2023).

No contexto global, o Brasil é o maior produtor de soja, com cerca de 135,86 milhões de toneladas de produção e uma área de cultivo estimada em 38,5 milhões de hectares. No ranking mundial de produção do milho, o país ocupa a terceira colocação, com 96,4 milhões de toneladas produzidos em uma área de cultivo de 19,84 milhões de hectares, ficando atrás dos Estados Unidos e da China (CONAB, 2021).

Atualmente o cultivo do milho é utilizado como opção da segunda safra de verão, em sucessão ao cultivo da soja, também conhecida como safrinha. A contar de sua inserção no Brasil, o plantio de soja e milho passou por algumas transfigurações, quanto a variações nas técnicas de manejo (PETTER et al., 2015).

O sistema de plantio direto e a introdução da soja e milho transgênicos RR[®] estão entre as inovações incluídas no pacote tecnológico. O sistema plantio direto promove a perpetuação e preservação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, decorrentes da utilização de palha, mínimo revolvimento do solo e rotação de culturas. Já as culturas RR[®] visam o controle de plantas daninhas nas lavouras de soja e milho com a utilização do herbicida glifosato em pós-emergência (PETTER et al., 2015).

Entretanto, o uso demasiado do glifosato propiciou de forma mais acentuada a seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes, destacando-se o capim-amargoso (*Digitaria insularis*), a buva (*Conyza* spp.) e o azevém (*Lolium multiflorum*) no Brasil. Nesse sentido, acredita-se que sejam necessárias mudanças nas táticas de controle químico da comunidade infestante (BECKIE et al., 2019).

Os herbicidas pré-emergentes são uma importante ferramenta para o controle de plantas daninhas resistentes, devido aos problemas em sua maioria estarem relacionados a herbicidas aplicados em pós-emergência. Além disso, essa

prática dificulta a produção de sementes de plantas daninhas, já que o controle acontece antes das plantas emergirem ou em estágio inicial, promovendo uma diminuição no banco de sementes do solo (NORSWORTHY et al., 2012).

Conseqüentemente, produtores vêm utilizando herbicidas pré-emergentes na cultura da soja para reduzir o grau de infestação das plantas daninhas de difícil controle, sendo uma ferramenta para auxiliar no manejo de áreas com histórico de resistência (MUELLER et al., 2014). O manejo pós-emergente também se torna mais viabilizado, por agir em um stand de plantas regular e no estágio fenológico da cultura ideal para a sua aplicação (MONQUERO et al., 2008).

No entanto, vários fatores devem ser levados em consideração quanto ao planejamento de aplicações de herbicidas pré-emergentes, pois o uso indevido pode levar à fitotoxicidade severa da cultura ou até mesmo afetar espécies de culturas plantadas em sucessão na área devido aos resíduos de herbicida no solo, fenômeno conhecido como *carryover* (WALSH et al., 2015; SOUSA et al., 2018).

A persistência do herbicida no solo depende das interações do herbicida com o solo e o clima, que afetam a remoção física ou química ou a degradação do herbicida (BRASCHI et al., 2011). Segundo Cornelius & Bradley (2017), características do solo, como pH, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica e textura do solo, têm demonstrado desempenhar um papel importante na degradação de herbicidas aplicados no solo.

Outro fator que deve ser levado em consideração na aplicação de herbicidas é a época correta de aplicação. No Brasil dois sistemas são comumente utilizados no cultivo da soja, “aplique-plante” ou “plante-aplique”. Ambos são similares, mas desencadeiam grandes modificações na superfície do solo devido às operações de plantio (corte da palha, perfuração de grãos e subsequente cobertura de sementes), em particular sob sistemas de semeadura direta (PEDROSO; AVILA NETO, 2018).

Segundo Pedroso et al. (2020), o momento real de pulverização de um herbicida pré-emergente em relação à semeadura de soja muda significativamente a eficiência de controle de plantas daninhas. Outra forma de melhorar a eficiência de controle da comunidade infestante é aplicar dois herbicidas pré-emergentes, um que controla as gramíneas e outro que controle principalmente as infestantes de folha larga (NUNES et al., 2018).

Em espécies cultivadas de maneira intensiva, como as culturas da soja e do milho, a utilização de herbicidas é uma técnica indispensável. Porém, a complexidade do controle de plantas daninhas tem aumentado substancialmente, principalmente devido à diversidade de espécies, ao surgimento de biótipos resistentes e às novas moléculas introduzidas no mercado nos últimos anos (ARTUZI; CONTIERO, 2006).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja em dois modos de aplicação (plante-aplique e aplique-plante) e avaliar o efeito residual (*carryover*) na cultura do milho cultivado em sucessão.

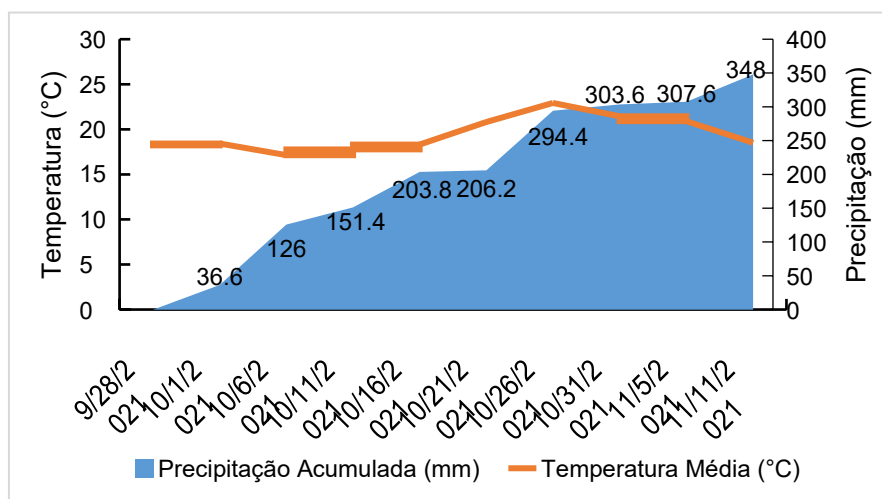
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

O experimento foi conduzido durante a safra do ano agrícola de 2021-2022, na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (FAZESC- UEL), localizada no município de Londrina-PR. O solo da estação experimental é caracterizado como Latossolo Vermelho Eutroférico (LVe), com características físicas de 65% de argila, 25% de silte e 10% de areia, e relevo suave ondulado/plano (EMBRAPA, 2013). Previamente à instalação dos experimentos, foi realizada uma amostragem do solo na camada 0 - 20 cm, a análise química do solo apresentou os seguintes dados: pH (CaCl₂) = 4,6; P = 21,1 mg dm⁻³; K = 0,48 cmolc dm⁻³; Ca = 3,3 cmolc dm⁻³; Mg = 1,21 cmolc dm⁻³; Al = 0,14 cmolc dm⁻³; H + Al = 4,96 cmolc dm⁻³; CTC = 10,09 cmolc dm⁻³ e V = 50,15%.

A área experimental está localizada nas coordenadas geográficas 23° 20' 23.45 Sul e 51° 12' 32.28" Oeste, e altitude de 560 metros. O clima do local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, descrito como subtropical úmido, com verões quentes, apresentando geadas pouco freqüentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (NITSCHKE et al., 2023).

Figura 1. Condições meteorológicas desde a semeadura da cultivar de soja em experimento conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.



A cultivar de soja utilizada foi a M6410 IPRO, semeada em em 22/10/2021 com espaçamento de 0,5 m (entrelinhas), de forma mecanizada. As sementes foram previamente inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*. Os demais tratamentos culturais ocorreram conforme monitoramento de pragas e doenças, seguindo as recomendações técnicas para a cultura.

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram organizados em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco herbicidas pré-emergentes (Tabela 1) utilizando a maior dose recomendada pelo fabricante infudada na textura do solo (Argiloso), e foram aplicados em dois momentos em relação à semeadura (plante-aplique e applique- plante), além de uma testemunha (sem aplicação).

Tabela 1 - Herbicidas pré-emergentes a serem utilizados no experimento, Londrina-PR.

Ingrediente ativo (i.a.)	Marca Comercial	Concentração (g de i.a L ⁻¹)	Dose (L de p.c ha ⁻¹)	Detentor
Metribuzim + S-metolaclor	Boundarv EC	149 + 628	2.5	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.
Fomesafen + S-metolaclor	Eddus	113 + 517	2,50	Syngenta Proteção de Cultivos Ltda.
Sulfentrazone + diuron	Stone®	175 + 350	1.4	FMC Química do Brasil Ltda.
Imazetapir + flumioxazina	Zethamaxx	200 + 100	0,6	Sumitomo Chemical Brasil Indústria Química S.A.
Piroxasulfona + flumioxazina	Kvoiin®	300 + 200	0.4	Iharabras S.A. Indústria Químicas

Fonte: Agrofite, 2021.

Nas aplicações applique-plante, os herbicidas foram aplicados no dia anterior à semeadura da soja, enquanto nas aplicações plante-aplique os herbicidas foram aplicados no dia seguinte à semeadura. A pulverização foi realizada com

pulverizador costal pressurizado a gás carbônico (CO₂), dotado de barra com seis pontas tipo leque TeeJet110.02, com pressão de trabalho de 30 psi e volume de calda equivalente a 150 L ha⁻¹.

As parcelas experimentais foram constituídas por seis fileiras de soja, espaçadas em 0,5 metros entre si, com sete metros lineares de comprimento, totalizando uma área de dezoito metros quadrados. Como área útil para amostragens e avaliações foram consideradas as quatro linhas centrais, descartando as linhas das bordaduras e 0,50 metros de cada extremidade.

Imediatamente após a colheita da soja, foi semeado o híbrido de milho AG9035 PRO3 em 04/03/2022. O plantio do milho ocorreu nas mesmas especificações da cultura da soja em relação ao espaçamento e tamanho das parcelas. Em ambas as culturas, a densidade de semeadura considerada foi de acordo com a recomendação das empresas, sendo 240 mil plantas ha⁻¹ para a cultura da soja e 60 mil plantas ha⁻¹ de milho.

4.3 AVALIAÇÕES NA CULTURA DA SOJA E DO MILHO

3.3.1 Fitotoxicidade de Herbicidas – Estabelecimento e Desenvolvimento Inicial

Foram avaliadas as injúrias causadas pelos herbicidas na cultura da soja e do milho aos 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a semeadura (DAS). Para essa avaliação foi considerada uma escala de zero a 100% proposta por Frans & Crowley (1986) (Tabela 2), onde zero significa ausência de sintomas e 100 corresponde a morte das plantas. As avaliações foram realizadas por dois avaliadores, sendo que cada tratamento era comparado à testemunha (parcela sem aplicação de herbicida).

Tabela 2 - Tabela de escala visual para avaliação de fitotoxicidade.

Injúria (%)	Categorias principais	Descrição detalhada da injúria
0	Sem efeito	Sem injúria
10	Efeito leve	Leve descoloração ou atrofia
20		Alguma descoloração ou atrofia
30		Injúria mais pronunciada, mas não duradoura
40	Efeito moderado	Injúria moderada, normalmente com recuperação
50		Injúria duradoura, recuperação duvidosa
60		Injúria duradoura, sem recuperação

70		Injúria pesada, redução de estande
80	Efeito severo	Cultura próxima à destruição
90		Raramente restam algumas plantas
100	Efeito total	Destruição completa da cultura

Fonte: Frans & Crowley, 1986.

1.1.1 Fitotoxicidade de Herbicidas - Avaliações Fisiológicas

Pelo fato da maioria dos herbicidas atuarem inibindo processos no cloroplasto das células vegetais, como interrupção da cadeia transportadora de elétrons, síntese de clorofilas e de aminoácidos, foram realizadas análises fisiológicas ao longo do experimento. Na cultura da soja e do milho as plantas foram avaliadas aos 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a semeadura (DAS).

4.3.1.1 Eficiência do fotossistema II (F_v/F_m) e taxa relativa de transporte de elétrons (etr)

Os parâmetros de fluorescência da clorofila: fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m), eficiência fotoquímica máxima do PSII (F_v/F_m), rendimento quântico efetivo do PSII (Y_{II}) e a taxa de transporte de elétrons (ETR) ocorreram no horário das 07:00 às 9:00 da manhã. Para isso foi utilizado fluorômetro OS1p (OptiSciences).

Para as medições foram consideradas cinco folhas totalmente expandidas de cinco plantas por tratamento. Antes das medições as folhas eram pré-aclimatadas ao escuro por um período de 30 minutos para a determinação da fluorescência inicial (F_o) e, posteriormente submetidas a um pulso de luz saturante, determinando-se assim a fluorescência máxima (F_m). A eficiência fotoquímica máxima do PSII (F_v/F_m) foi calculada através da razão da fluorescência variável ($F_m - F_o$) e a fluorescência máxima.

A eficiência efetiva do fotossistema II (Y_{II}) foi avaliada adaptando as folhas a uma radiação fotossinteticamente ativa (PAR), ou seja, a uma porção de espectro de luz fotossinteticamente ativa, de 500 e 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante 30 segundos cada. Os valores para a taxa relativa do transporte de elétrons (rETR) foram então calculados a partir de $rETR = Y_{II} \times PAR \times 0,5 \times 0,84$ (BAKER, 2008).

4.3.2 Componentes de Rendimento e Produtividade de Grãos

Para avaliar o efeito dos herbicidas nas características produtivas na cultura da soja foram avaliados o peso de mil grãos (PMG) e produtividade (P). O peso de mil grãos foi estimado por meio da contagem e pesagem em balança de precisão de duas amostras de 100 grãos por parcela. A produtividade de grãos foi estimada por meio da colheita e trilha de 12 metros lineares por parcela (4 fileiras centrais x 3 metros lineares), dentro da área útil de cada parcela. Os valores foram corrigidos considerando um teor de umidade a 13% e extrapolados para kg ha^{-1} .

Na cultura do milho não foi avaliado os dados de produtividade devido a intemperes climáticos (geadas), que não promoveu um bom desenvolvimento produtivo da cultura.

4.4 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados coletados foram submetidos a análises exploratórias, onde foram testadas a homocedasticidade dos resíduos através do teste de Bartlett ($p > 0,05$) e a normalidade dos resíduos através do Teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) a fim de satisfazer os pressupostos da análise de variância. Posteriormente, foi realizada a análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$), e em casos de significância, as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o programa estatístico R.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme observado na Tabela 3 no resumo da análise de variância, é perceptível que na primeira avaliação (14 DAS) não foi observado nenhuma diferença significativa entre os tratamentos, seja na forma de aplicação, herbicidas ou a interação de ambos. No entanto, nas avaliações posteriores é notado diferente comportamento diante das avaliações realizadas.

Tabela 3. Eficiência quântica do Fotossistema II (F_v/F_m), Eficiência Efetiva do Fotossistema II ($Y(II)$), Taxa Relativa de Transporte de Elétrons (ETR), Teor de Clorofila (SPAD) avaliados aos 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a semeadura (DAS), e Produtividade ($kg\ ha^{-1}$) e Peso de Mil Grãos (PMG) de soja submetidos ao efeito de herbicidas pré-emergentes em duas formas de aplicação (FA), Londrina – PR.

Variável	Fonte de Variação (Q.M)				Média geral	CV (%)
	Forma de Aplicação (FA)	Herbicidas (H)	Interação FA x H	Resíduo		
1ª Avaliação (14 DAS)						
G.L	1	5	5	33		
F_v/F_m	3,08	3,11	9,41	3,46	0,504	11,68
Y (II)	0,0 ⁻³	0,004	0,0 ⁻³	0,005	0,426	16,85
ETR	0,55	7,06	1,63	9,41	18,24	16,82
SPAD	1,47	0,91	0,67	1,08	31,05	3,35
2ª Avaliação (21 DAS)						
F_v/F_m	7,4 ⁻⁴	6,5 ^{-3**}	1,1 ⁻³	1,4 ⁻³	0,669	5,71
Y (II)	0,15 ^{**}	0,01 ^{**}	9,0 ^{-3*}	3,1 ⁻³	0,58	9,66
ETR	473,44 ^{**}	43,25 ^{**}	28,47 [*]	9,5	31,88	9,67
SPAD	1,04	11,52 [*]	2,56	3,36	30,94	5,93
3ª Avaliação (28 DAS)						
F_v/F_m	1,6 ⁻⁴	7,4 ^{-3**}	2,6 ⁻⁴	1,1 ⁻³	0,647	5,24
Y (II)	4,0 ⁻³	3,3 ⁻³	4,0 ⁻⁴	3,9 ⁻³	0,539	11,66
ETR	11,95	10,38	1,25	11,88	29,58	11,65
SPAD	0,44	5,61	2,35	3,35	29,35	6,24
4ª Avaliação (35 DAS)						
F_v/F_m	9,77 ⁻⁵	4,21 ⁻⁴	7,70 ⁻⁴	5,79 ⁻⁴	0,704	3,25
Y (II)	0,02 ^{**}	5,8 ⁻³	4,10 ⁻³	3,14 ⁻³	0,579	9,68
ETR	76,00 ^{**}	17,78	12,27	9,48	31,8	9,68
SPAD	3,96	3,56	2,35	2,19	27,91	5,3
5ª Avaliação (42 DAS)						
F_v/F_m	1,2 ⁻⁴	1,41 ⁻³	1,02 ⁻³	1,31 ⁻³	0,692	5,24
Y (II)	1,00 ⁻³	6,16 ⁻³	3,3 ⁻⁴	2,67 ⁻³	0,461	11,23
ETR	2,18	16,84	1,5	7,59	25,27	10,9
SPAD	3,96	3,56	2,35	2,19	27,91	5,3

Produtividade (kg ha⁻¹)	2309,32	811320,39**	254872,5	165916	2757,89	14,77
PMG (g)	0,55	198,21	85,42	283,02	310,48	5,42

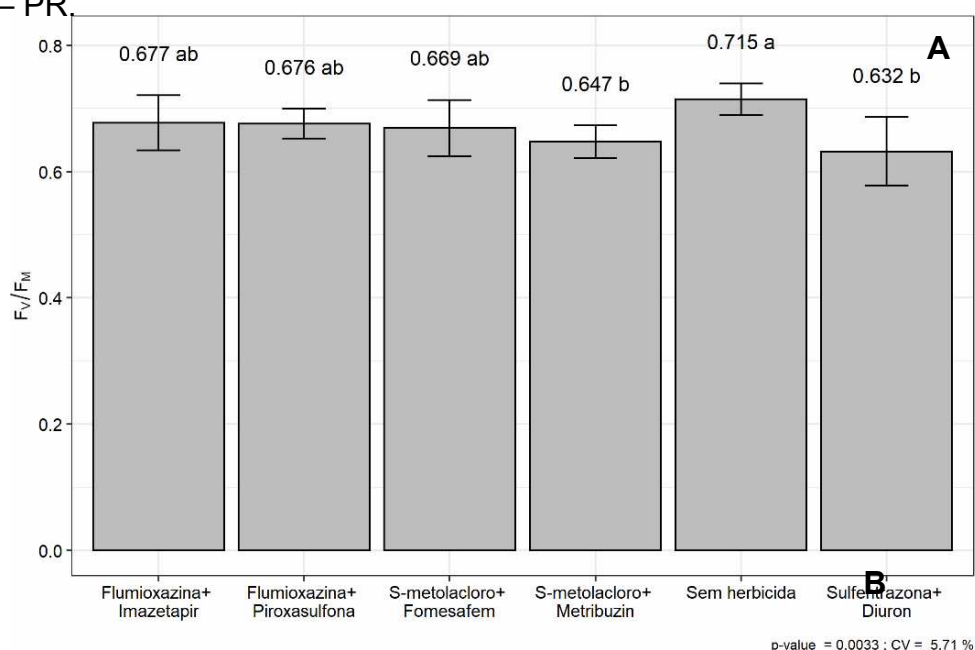
*Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade.

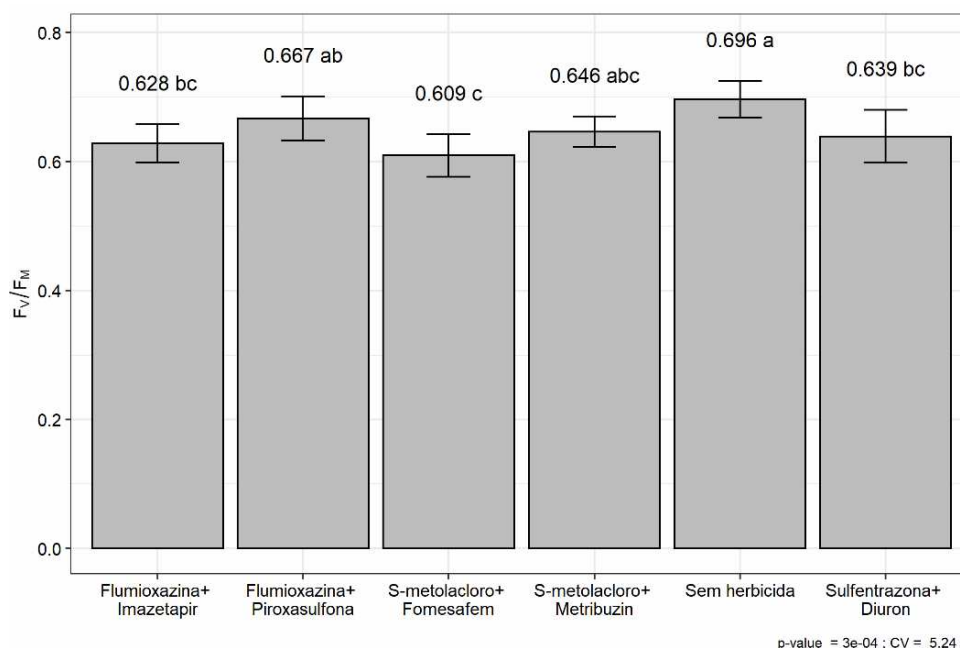
** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade.

Quando observado a eficiência quântica do Fotossistema II (F_v/F_m) aos 21 e 28 DAS é possível verificar que em ambas as avaliações houve diferença significativa para o fator herbicida (Tabela 3), indicando que pelo menos um dos herbicidas testados se diferiu estatisticamente. Sendo assim, houve dano no aparato fotossintético das plantas avaliadas.

Na Figura 2 (A e B) é destacado que a testemunha (tratamento sem herbicida) apresenta os maiores valores de F_v/F_m , como já era esperado e com valores na faixa considerada ideal (MAXWELL & JOHNSON, 2000). No entanto, aos 21 DAS, as misturas de s-metolaclo + metribuzin e sulfentrazone + diuron se diferiram da testemunha, indicando que ambos promovem redução significativa na capacidade fotossintética da planta. Essa redução pode estar intrinsecamente ligada ao mecanismo de ação dos herbicidas encontrados nessa mistura, como metribuzin e diuron que atuam diretamente no fotossistema II das plantas.

Figura 2. Eficiência quântica do Fotossistema II (F_v/F_m) avaliados aos 21 (A) e 28 (B), após semeadura (DAS), submetidos ao efeito de herbicidas pré-emergentes, Londrina – PR.





Aos 28
DAS, a
mistura

sulfentrazone + diuron ainda apresentou diferença em relação à testemunha, indicando dano no aparato fotossintético. Apesar de sulfentrazone e o diuron serem duas moléculas diferentes e com diferentes mecanismos de ação, um inibidor de PROTOX e outro do Fotossistema II, ambos culminam na peroxidação lipídica e degradação das membranas na presença de luz, levando à morte da célula. Com isso, essa mistura torna-se sinérgica, pois ocorre a produção de oxigênio singlete ao mesmo tempo, por duas rotas diferentes (DAN HESS, 2000).

Ao contrário de sulfentrazone + diuron a mistura de s-metolacloro + metribuzin apresentaram recuperação aos 28 DAS. O metribuzin possui meia-vida entre 11,5 a 19 dias, de acordo com as características físico-químicas do solo (PPDB, 2018), além de apresentar baixa adsorção no solo, o tornando mais facilmente lixiviável (SILVA JÚNIOR et al., 2015), enquanto o diuron é um herbicida que apresenta maior persistência no solo.

Os herbicidas s-metolacloro + fomesafem e flumioxazina + imazetapir se diferiram também da testemunha. Entretanto, nas demais avaliações não foi constatado alteração na eficiência fotossintética das plantas, evidenciando uma recuperação das plantas, enquanto flumioxazina + piroxasulfona se mostrou seletiva para cultura quando vista de forma isolada para esse parâmetro em todas as datas de avaliação.

As avaliações de taxa de fotossintética efetiva (Y II) e taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) apresentaram comportamentos similares, pois os dois estão diretamente ligados. Quando observado na Tabela 3, a análise de variância só

apresenta diferenças significativas aos 21 DAS, assim como também é observada uma interação dos fatores avaliados, indicando que estes parâmetros podem ser afetados pelos herbicidas testados e variam conforme a modalidade de aplicação.

Na Figura 3 (A e B) é demonstrado através do desdobramento da análise de variância que todos os tratamentos apresentam diferença significativa da testemunha, apresentando valores superiores. Isso pode ser explicado pelo fato de que na testemunha não foi realizado nenhum tipo de manejo de plantas daninhas até os 45 DAS, o que conseqüentemente promoveu uma matocompetição nas parcelas condicionando uma menor interceptação luminosa da cultura.

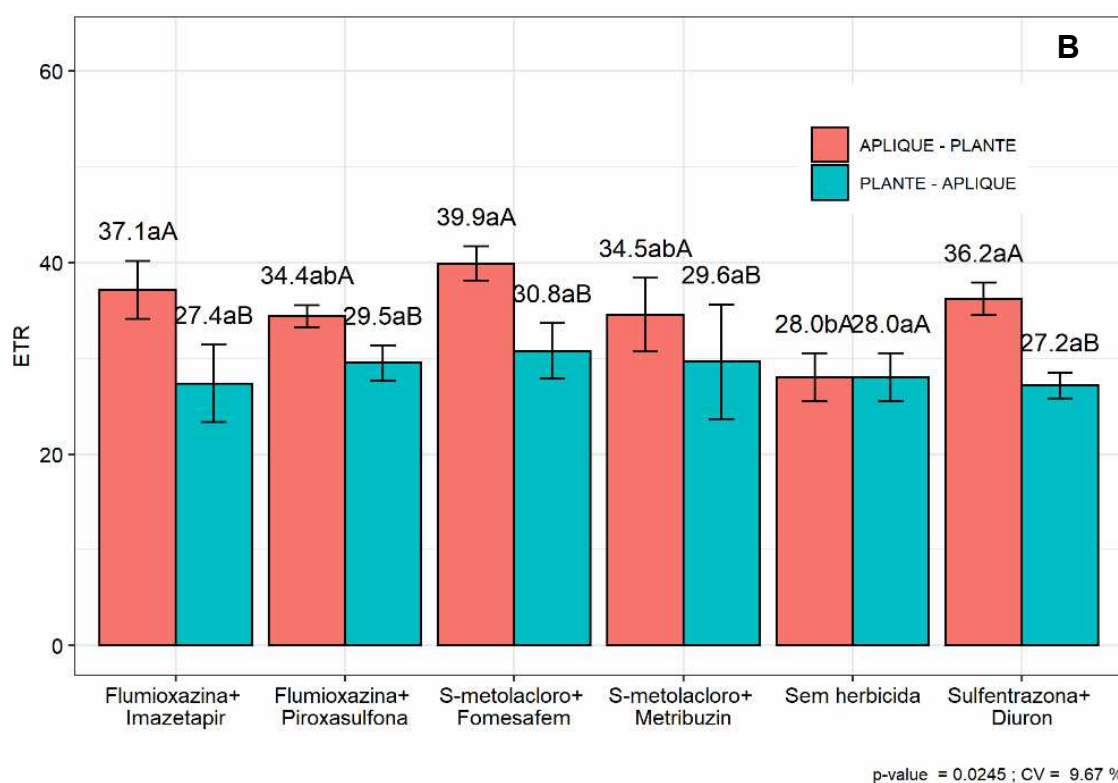
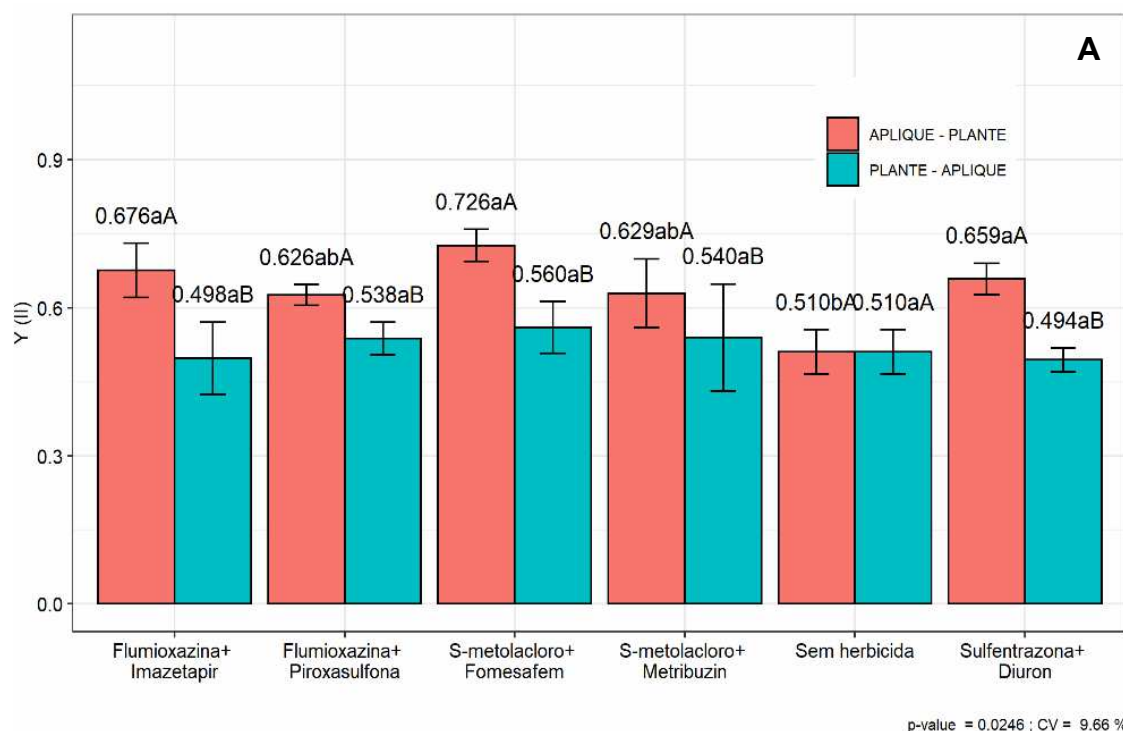
Segundo Merotto Jr. et al. (2002), os efeitos da qualidade da luz originados pela presença das plantas daninhas manifestam-se no início do desenvolvimento da cultura, podendo serem importantes e causar prejuízos, principalmente em situações de elevados níveis de rendimento de grãos. O que vai de acordo com os resultados aqui encontrados, visto que as variáveis de YII e ETR são valores estimados das condições reais da planta no momento, e em ambas as avaliações a testemunha apresentou as menores médias.

É notória que a forma de aplicação altera a eficiência fotossintética da planta, indicando através destes parâmetros que nas parcelas onde se foi realizado aplique-plante as plantas apresentaram maiores médias nas variáveis avaliadas, indicando menor fitointoxicação das plantas de soja. Nesse sentido, pode-se inferir que o processo de revolvimento do solo no plantio pode ter diminuído o contato do herbicida com a semente e posteriormente com a plântula de soja, sendo um processo menos prejudicial à cultura.

Em contrapartida, quando é realizado o plantio e logo depois a aplicação, pode-se inferir que há uma maior chance de haver contato da semente/plântula com o herbicida no processo de embebição e emergência. E isso foi verificado para todas as misturas de herbicidas testadas aos 21 DAS, no qual o plante-aplique apresentou as menores médias, indicando maior fitointoxicação das plantas.

Figura 3. Eficiência efetiva do Fotossistema II (YII) (A) e Taxa relativa de transporte

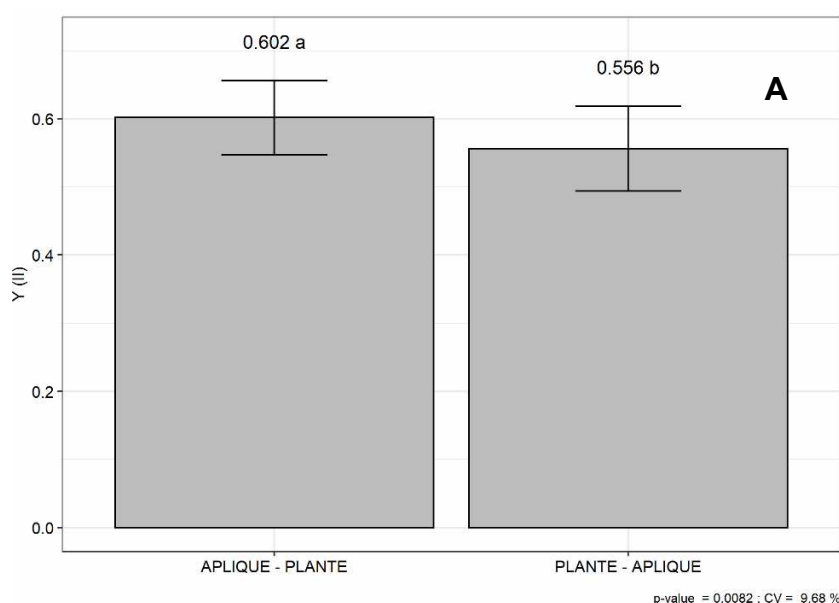
de elétrons (ETR) (B) avaliados aos 21, após semeadura (DAS), submetidos ao efeito de herbicidas pré-emergentes em duas formas de aplicação (FA), Londrina – PR.



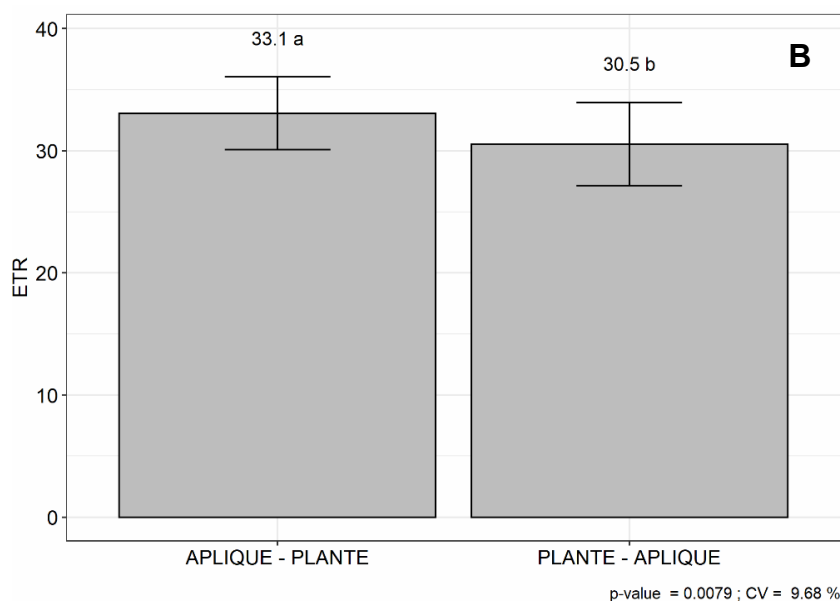
Nas avaliações posteriores foi verificado que a taxa de fotossintética efetiva (YII) e taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) somente foram alteradas aos 35 DAS conforme a forma de aplicação. Na Figura 4 (A e B) é possível verificar que as maiores médias foram observadas na forma de aplicação aplique-plante aos 35 DAS, indicando menor fitointoxicação das plantas nessa modalidade de aplicação.

Figura 4. Eficiência efetiva do Fotossistema II (YII) (A) e Taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) (B) avaliados aos 35 dias após semeadura (DAS), submetidos ao efeito de herbicidas pré-emergentes em duas formas de aplicação (FA), Londrina – PR.

observado o teor de clorofila das plantas é notório assim como outros



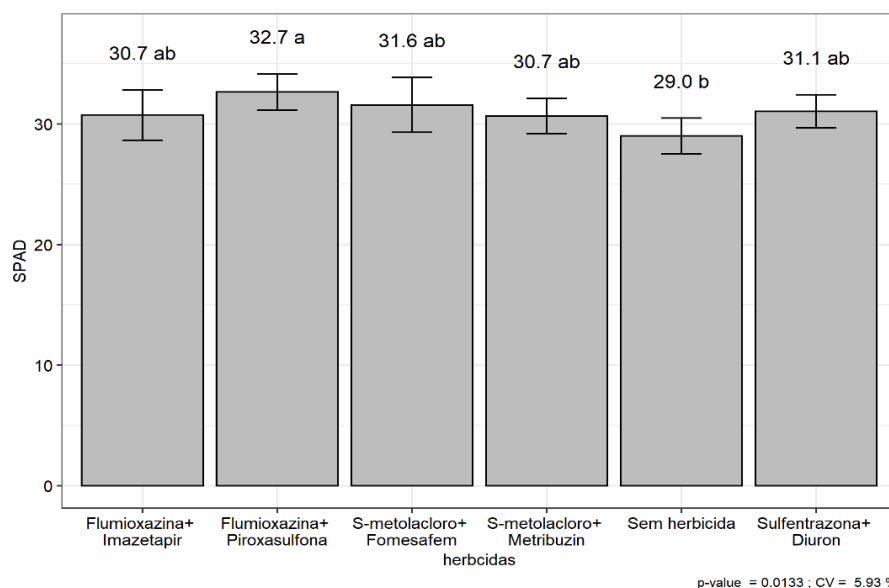
Quando o teor de clorofila (SPAD) de soja, que nos



parâmetros, apenas avaliações aos 21 DAS apresentam algum tipo de alteração decorrente do fator herbicida (Tabela 3). No entanto, quando realizado o teste pós-hoc é evidenciado que apenas a mistura de flumioxazina + piroxulfona difere da testemunha, mas não difere dos demais tratamentos (Figura 5).

Estes resultados demonstram que a testemunha tem uma menor taxa de clorofila, isso pode ser devido a matocompetição. A luz solar é um recurso essencial para o crescimento das plantas, fornecendo a energia necessária para a fotossíntese. Algumas das primeiras e mais imediatas respostas de plantas sob condições de competição com plantas daninhas são alterações nos aparatos fotossintéticos (SILVA et al., 2013). Diante disto, a baixa interceptação de luz promove redução da eficiência fotossintética (STEWART et al., 2003) e é diretamente correlacionada com o arranjo populacional das plantas (LIU et al., 2011). Embora em campo não tenha sido possível visualizar sintomas de fitotoxicidade, o índice SPAD constituiu em boa ferramenta para detectar alteração na intensidade do verde das folhas causada pela presença de resíduos desses herbicidas no solo.

Figura 5. Teor de clorofila das plantas de soja avaliadas aos 31 dias após semeadura (DAS), submetidos ao efeito de herbicidas pré-emergentes em duas formas de aplicação (FA), Londrina – PR.

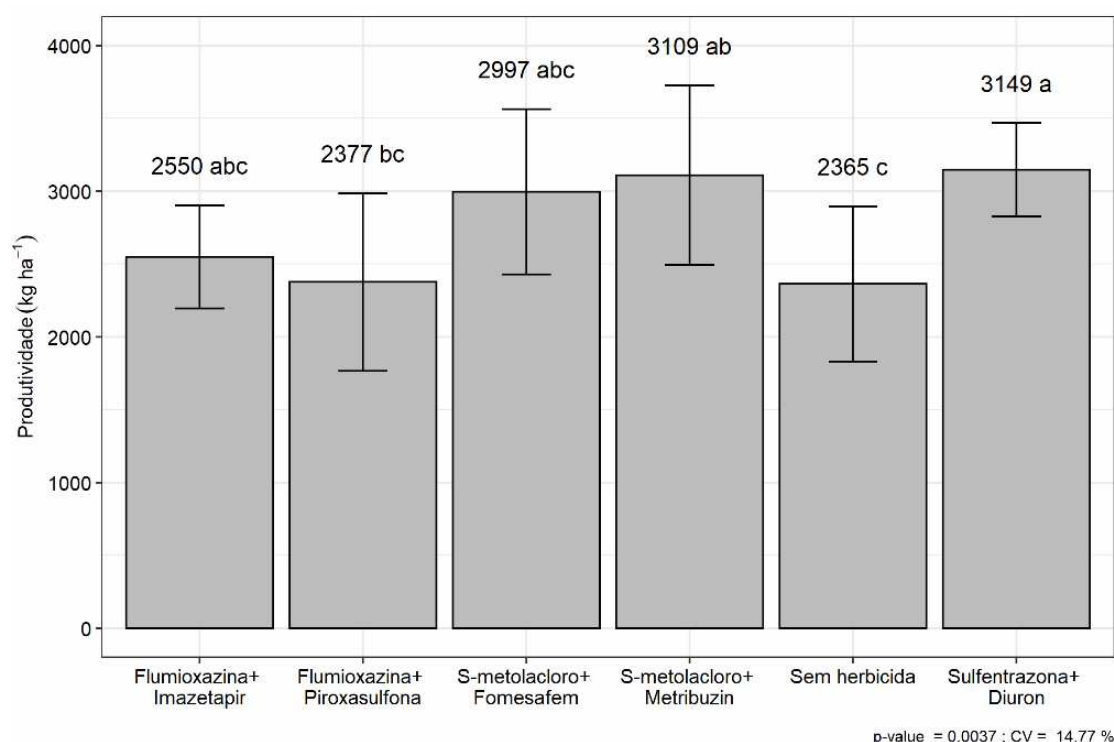


A produtividade como fator principal e mais importante no contexto econômico, não foi um parâmetro afetado pela modalidade de aplicação, seja antes

ou pós plantio. Entretanto, conforme visualizado na tabela 3 é visto que o fator herbicida apresenta alguma diferenciação dos demais.

No mais, após o desdobramento, o teste de médias mostrou que os herbicidas apresentaram diferentes comportamentos. A mistura de sulfentrazone + diuron, seguida de s-metolaclo-ro + metribuzin, s-metolaclo-ro + fomesafem e flumioxazina + imazetapir foram os que apresentaram maiores médias de produtividade. Todavia, apenas sulfentrazone + diuron e S-metolaclo-ro + metribuzin se diferiram da testemunha, indicando que ambos se apresentaram como uma boa opção na redução de perdas por matocompetição, assim como um menor índice de fitotoxidez na cultura (Figura 6).

Figura 6. Produtividade da cultura da soja sob efeito de herbicidas pré-emergentes em duas formas de aplicação (FA), Londrina – PR.



No presente estudo, as misturas a base de flumioxazina foram as que apresentaram as menores médias de produtividade. Corroborando com Mahoney et al. (2014), que avaliaram os efeitos da flumioxazina em lavouras de soja no Canadá e concluíram que este herbicida mesmo aplicado até 10 dias antes do plantio da soja resultou em perdas de produtividade de grãos.

Gonçalves et al. (2018), ao avaliar a atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja, concluiu que a produtividade da cultura da soja foi reduzida por todos os herbicidas testados em sua pesquisa, inclusive o metribuzin e flumioxazina. Enquanto, Sanchotene et al. (2017) observaram que mesmo em solos com baixa teor de argila, como 12%, considerado arenoso, os herbicidas flumioxazina, sulfentrazone e s-metolaclopro se mostraram seletivos a cultura da soja mesmo aplicados um dia após a semeadura. Walsh et al. (2015), ao avaliarem o efeito do sulfentrazone na cultura da soja, não encontraram injúrias e nem tiveram perdas na produtividade da cultura após a aplicação.

E como observado em outros trabalhos a seletividade dos herbicidas é variável e inerente a um conjunto de fatores. Os herbicidas residuais pré-emergentes por exemplo, quando entram em contato com o solo, podem sofrer retenções, transformações e processos de transporte complexos que tornam sua atividade dependente das características físico-químicas de cada produto, condições do solo, clima, sistema de cultivo, além da interação de todos estes fatores (OLIVEIRA JR. et al., 2011). Não obstante, mesmo cultivares de soja tolerantes podem apresentar diferentes respostas ao estresse causado por herbicidas, principalmente decorrente das diferenças genotípicas (LIMA et al., 2011).

6 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que os herbicidas pré-emergentes podem comprometer os caracteres fisiológicos no início do desenvolvimento da cultura da soja, como no caso de sulfentrazone + diuron, que reduziu a eficiência fotossintética quântica da cultura aos 21 e 28 DAS. Entretanto, a mistura de sulfentrazone + diuron foi a que proporcionou maiores valores de produtividade.

O sistema de plantio, seja ele aplique-plante ou plante-aplique, não se mostrou um fator determinante na produtividade da cultura da soja. Todavia, nos parâmetros fisiológicos (Etr e YII), o sistema aplique-plante se mostrou menos fitotóxico à cultura da soja.

Todas as misturas avaliadas não apresentam nenhum sintoma de fitotoxidez na cultura do milho que foi plantada posteriormente.

REFERÊNCIAS

AGROFIT. Sistema AGROFIT Brasil - **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA**. Available from: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons, 2021.

ARTUZI, J. P.; CONTIERO, R. L. Herbicidas aplicados na soja e produtividade do milho em sucessão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1119-1123, 2006.

BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annu Rev Plant Biol**, v. 59, p. 89-113, 2008. Available from: [10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759](https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759).

BECKIE, HUGH; ASHWORTH, MICHAEL; FLOWER, KEN. Herbicide Resistance Management: Recent Developments and Trends. **Plants**, v. 8, p. 161, 2019. DOI: [10.3390/plants8060161](https://doi.org/10.3390/plants8060161).

BRASCHI, I.; GESSA, C. E.; BLASIOLI, S. O destino dos herbicidas no solo. In: KORTEKAMP, A. (Ed.). **Herbicidas e Meio Ambiente**. Londres, Reino Unido: Capítulo 8, p. 175-194, 2011.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Produção de grãos está estimada em 312,5 milhões de toneladas na safra 2022/23. **Levantamento safra 2022/23**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4971-producao-de-graos-esta-estimada-em-312-5-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23>, 2023.

CORNELIUS, C.; BRADLEY, K. Transporte de herbicidas de milho e soja para várias espécies de culturas de cobertura. **Weed Technology**, v. 31, p. 21-31, 2017. DOI: [10.1614/WT-D-16-00062.1](https://doi.org/10.1614/WT-D-16-00062.1).

DAN HESS, F. Light-dependent herbicides: An overview. **Weed Science**, v. 48(2), p. 160-170, 2000. DOI: [10.1614/0043-1745\(2000\)048\[0160:LDHAO\]2.0.CO.2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0160:LDHAO]2.0.CO.2).

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **PIB DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>, 2023.

FRANZ, R. E.; TALBERT, R.; MARX, D.; CROWLEY, H. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. **Weed Science**, p. 29-46, 1986.

GONÇALVES, F. A. R. et al. Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 61, 2018.

LIMA, D. B. C. et al. Seleção de herbicidas para o controle de plantas voluntárias de soja resistentes ao glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, p. 01-12, 2011.

LIU, T. et al. Canopy structure, light interception, and photosynthetic characteristics

under different narrow-wide planting patterns in maize at silking stage. **Spanish J Agric Res.**, v. 9:12, p. 49-61, 2011.

MAHONEY, K. J. et al. Manejo de ervas daninhas em soja convencional e plantio direto usando flumioxazin/pyroxasulfone. **Weed Technology**, v. 28, p. 298-306, 2014.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal Experimental Botany**, v. 51, p. 659-668, 2000.

MEROTTO, Aldo & VIDAL, R. & FLECK, N. & ALMEIDA, M. Interferência das plantas daninhas sobre o desenvolvimento inicial de plantas de soja e arroz através da qualidade da luz. **Planta daninha**, v. 20, p. 9-16, 2002.

MONQUERO, P. A.; BINHA, D. P.; SILVA, P. V.; AMARAL, L. R. Eficiência de herbicidas pré-emergentes após períodos de seca. **Planta Daninha**, v. 26, n. 1, 2008.

MUELLER, T., BOSWELL, B., MUELLER, S., & STECKEL, L. Dissipation of Fomesafen, Saflufenacil, Sulfentrazone, and Flumioxazin from a Tennessee Soil under Field Conditions. **Weed Science**, v. 62, p. 664-671, 2014. DOI: 10.1614/WS-D-13-00183.1.

NITSCHKE, Pablo Ricardo; CARAMORI, Paulo Henrique; RICCE, Wilian da Silva; PINTO, Larissa Fernandes Dias. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019.

NORSWORTHY, J. K. Reduzindo os riscos de resistência a herbicidas: melhores práticas de manejo e recomendações. **Weed Sci.**, v. 60, p. 31-62, 2012.

NUNES, A.L.; LORENSET, J.; GUBIANI, J.E.; SANTOS, F.M.. A Multy-Year Study Reveals the Importance of Residual Herbicides on Weed Control in Glyphosate-Resistant Soybean. **Planta daninha**, v. 36, e018176135, Feb. 2018.

OLIVEIRA JR, R. S. Introdução ao controle químico. In: OLIVEIRA JR, R. S., et al. (Org.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, p. 125-139, 2011.

PEDROSO, R. M.; AVILA NETO, R. C.; DOURADO NETO, D. A aplicação de herbicidas pré-emergentes na modalidade plante-e-aplique favorece o controle de caruru e poaia-branca na cultura da soja. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 19, n. 1, 2020.

PEDROSO, R. M.; AVILA NETO, R. C. **Revista Cultivar Grandes Culturas**, v. 230, p. 30-34, 2018.

PETTER, F. A., SIMA, V. M., FRAPORTI, M. B., PEREIRA, C. S., PROCÓPIO, S. O., & SILVA, A. F. Volunteer RR(r) corn management in roundup ready(r) soybean-corn succession system. **Planta Daninha**, v. 33, p. 119-128, 2015.

SANCHOTENE, D. M. et al. Desempenho de diferentes herbicidas pré-emergentes para controle de *Euphorbia heterophylla* na cultura da soja. **Perspectiva Erechim**, v. 41, p. 07-15, 2017.

SILVA JÚNIOR, A. C.; QUEIROZ, J. R. G.; MARTINS, D. Quantidade de chuva e lixiviação do herbicida Metribuzin através de planta bioindicadora. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 6, p. 592-597, 2015. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n6p592-597.

SILVA, P. V.; MONQUERO, P. A. Influência da palha no controle químico de plantas daninhas no sistema de cana crua. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, p. 94-103, 2013.

SOUSA, J.B; TEIXEIRA, M.B; JAKELAITIS, A; CUNHA, F.N; SILVA, N.F. Performance of Crops Grown in Succession to Soybeans Treated with Different Residual Herbicides. **Planta Daninha**, v. 36, epub, 2018.

STEWART, D.W., COSTA, C., DWYER, L.M., SMITH, D.L., HAMILTON, R.I. AND MA, B.L. Canopy Structure, Light Interception, and Photosynthesis in Maize. **Agron. J.**, v. 95, p. 1465-1474, 2003.

Walsh Kimberly D., Soltani Nader, Hooker David C., E., and Sikkema Peter H. Biologically effective rate of sulfentrazone applied pre-emergence in soybean. **Plant Sci.**, v. 95, p. 339-344, 2015.

ARTIGO 2 - SENSIBILIDADE DE CULTIVARES DE SOJA À MISTURA DE SULFENTRAZONE + DIURON APLICADA NA PRÉ-EMERGÊNCIA

Resumo

Novos herbicidas vêm sendo lançados no mercado, principalmente misturas, mas pouco se sabe sobre os reais efeitos em relação à cultura, sendo necessários estudos para verificar a sensibilidade de cultivares a estes herbicidas. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar a sensibilidade de cultivares de soja à mistura comercial de herbicidas pré-emergentes sulfentrazone + diuron. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em fatorial 20 x 3. O fator A foi composto por 20 cultivares de soja. O fator B foi composto por três doses da mistura de sulfentrazone + diuron, sendo as doses zero, 175 + 350 g ha⁻¹ e 350 + 700 g ha⁻¹. As variáveis avaliadas foram, fitotoxicidade, atividade do FSII, taxa relativa de transporte de elétrons (ETR), comprimento de parte aérea e massa seca da parte aérea (MSPA). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) ($p < 0,05$) e as médias comparadas pelo teste de Skott-Knott ($p < 0,05$). A mistura de sulfentrazone + diuron provocou alterações negativas nas características fisiológicas e de crescimento das plantas, evidenciando a fitotoxicidade do produto, principalmente na maior dose avaliada. No entanto, foi observada variabilidade na sensibilidade das cultivares estudadas. As cultivares HO AMAMBAY, HO IGUAÇU, HO PARAGUAÇU, HO PIRAPÓ, Lança IPRO, Lótus IPRO, M6410 IPRO, TMG 2356 IPRO, TMG 2359 IPRO e TMG 2364 IPRO se mostraram mais sensíveis. Sendo assim, conclui-se que a seletividade da mistura sulfentrazone + diuron é dependente da dose aplicada e da cultivar de soja.

Palavras-chave: Fotossistema II; *Glycine max*; Herbicidas residuais; Protóx; Seletividade.

ARTIGO 2 - SENSITIVITY OF SOYBEAN CULTIVARS TO SULFENTRAZONE + DIURON MIXTURE APPLIED IN PRE-EMERGENCY

ABSTRACT

New herbicides have been launched in the market, mainly mixtures, but little is known about the real effects in relation to the crop, being necessary studies to verify the sensitivity of cultivars to these herbicides. In this sense, this work aimed to evaluate the sensitivity of soybean cultivars to the commercial mixture of pre-emergent herbicides sulfentrazone + diuron. The experiment was conducted in a greenhouse in a completely randomized design, with four replications, in a 20 x 3 factorial. Factor A was composed of 20 soybean cultivars. Factor B was composed of three doses of the mixture of sulfentrazone + diuron, with doses zero, 175 + 350 g ha⁻¹ and 350 + 700 g ha⁻¹. The evaluated variables were phytotoxicity, PSII activity, relative electron transport rate (RET), shoot length and shoot dry mass (MSPA). Data were submitted to analysis of variance (ANOVA) ($p < 0.05$) and means compared using the Skott-Knott test ($p < 0.05$). The mixture of sulfentrazone + diuron caused negative changes in the physiological and growth characteristics of the plants, evidencing the phytotoxicity of the product, mainly at the highest evaluated dose. However, variability was observed in the sensitivity of the studied cultivars. The cultivars HO AMAMBAY, HO IGUAÇU, HO PARAGUAÇU, HO PIRAPÓ, Dança IPRO, Lótus IPRO, M6410 IPRO, TMG 2356 IPRO, TMG 2359 IPRO and TMG 2364 IPRO were more sensitive. Thus, it is concluded that the selectivity of the sulfentrazone + diuron mixture is dependent on the applied dose and the soybean cultivar.

Key words: Photosystem II; Glycine max; Residual herbicides; Protox; selectivity.

7 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas de maior importância socioeconômica para o Brasil, sendo uma das *commodities* mais exportadas e produzidas nacionalmente. No Brasil no ciclo 2022/2023 estima-se chegar a 312,5 milhões de toneladas, o que representa um acréscimo de 40,1 milhões de toneladas quando comparada a safra de 2021/2022, o que representa uma alta de 15% (CONAB, 2023).

No entanto, apesar de ser uma cultura bastante explorada, algumas adversidades comprometem a capacidade produtiva da soja, que vão desde a seleção da cultivar até o manejo fitossanitário. Dentre os desafios fitossanitários que limitam a produtividade das lavouras de soja está a presença de plantas invasoras, as quais podem proporcionar perdas de até 70% na produtividade, caso nenhum método de controle seja utilizado (LÓPEZ-OVEJERO et al., 2016; VITORINO et al., 2017).

Atualmente, para amenizar os impactos decorrentes de plantas daninhas, o controle se baseia principalmente pela aplicação de herbicidas, dando destaque ao glifosato que se tornou o herbicida mais utilizado do mundo, por apresentar eficiência para o controle de plantas emergidas com amplo espectro de ação, bem como da seletividade em cultivares de soja geneticamente modificadas (HEAP & DUKE, 2018). No entanto, o uso demasiado do glifosato provocou uma pressão de seleção nas plantas daninhas, no qual, segundo a base de dados internacional de plantas daninhas resistentes a herbicidas, no mundo há 58 casos de resistência somente a esse herbicida, já no cenário nacional há registrados 11 casos. Além disso, no Brasil existem casos de resistência envolvendo herbicidas pertencentes a outros mecanismos de ação, totalizando 54 casos (HEAP, 2023).

Para prevenir e manejar essas plantas daninhas resistentes, recomenda-se a implementação do manejo integrado de plantas daninhas (MIPD). O MIPD inclui medidas como a rotação de culturas, a utilização de plantas de cobertura, a redução do banco de sementes, a rotação e mistura de herbicidas com diferentes mecanismos de ação, entre outras medidas, a fim de desfavorecer a seleção e dispersão da resistência (BECKIE & HACKER, 2017).

Neste sentido, a utilização de herbicidas de efeito residual, quando aplicados em pré-emergência das plantas daninhas e das culturas, apresenta-se

como alternativa de manejo integrado, não apenas para minimizar novos casos de resistência, mas também para um controle eficiente de plantas daninhas, principalmente no estágio inicial de desenvolvimento da soja (BUSI et al., 2020). Consequentemente, produtores vem utilizando herbicidas pré-emergentes na cultura da soja com o intuito de reduzir o grau de infestação das plantas daninhas de difícil controle, sendo uma ferramenta para auxiliar no manejo de áreas com histórico de resistência (MUELLER et al., 2014).

Recentemente foi lançada a mistura de sulfentrazone (inibidor da Protox) + diuron (inibidor de FSII). Esse herbicida é seletivo para a aplicação em pré-emergência da cultura da soja e recomendado para o controle de espécies de difícil controle, como trapoeraba (*Commelina benghalensis*), buva (*Conyza* spp.), capim-amargoso (*Digitaria insularis*) e Caruru-roxo (*Amaranthus hybridus*) (AGROFIT, 2023). Contudo, mesmo que determinado ingrediente ativo seja considerado seletivo para cultura, ele pode promover alterações na fisiologia e morfologia da planta, o que é chamado de fitotoxicidade.

A fitotoxicidade pode ser manifestada pela redução da germinação e emergência, diminuição da estatura, da área foliar e da massa da matéria seca da parte aérea (SONG et al., 2007). Alguns herbicidas podem reduzir o potencial produtivo da cultura sem apresentar efeitos visualmente observáveis, outros, porém, causam maiores danos, embora a cultura possa apresentar recuperação plena (FERREIRA et al., 2005). Por outro lado, alguns efeitos fitotóxicos são ocultos, e mesmo assim podem resultar em prejuízos no crescimento e desenvolvimento das plantas. Para quantificá-los é necessária a utilização de metodologias que avaliem aspectos relacionados à atividade fotossintética das plantas, entre outras técnicas.

A seletividade dos herbicidas é uma característica relativa (SILVA et al., 2009), sendo dependente do espectro de ação, estágio de desenvolvimento das plantas, das condições climáticas, do tipo de solo, da dose, da modalidade de aplicação, entre outros. Outro fator relevante é a cultivar utilizada, que segundo Velini et al. (2000), para que o herbicida seja considerado seletivo e recomendado de forma definitiva e indiscriminada, para determinada cultura, ele deve demonstrar seletividade às cultivares mais comuns da cultura.

Em decorrência da falta de informações sobre o comportamento de cultivares de soja a herbicidas pré-emergentes, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a tolerância de cultivares de soja a doses do herbicida sulfentrazone + diuron.

8 MATERIAL E MÉTODOS

8.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), disposto em esquema fatorial 20 x 3, com quatro repetições. O primeiro fator (A) foi composto por 20 cultivares de soja recomendadas para o cultivo no estado do Paraná (Tabela 1). O segundo fator (B) a ser avaliado foi baseado em duas doses da mistura comercial de herbicidas sulfentrazone + diuron (Stone, 175 g L⁻¹ de sulfentrazone + 350 g L⁻¹ de diuron, FMC Química do Brasil Ltda.), sendo as doses 175 + 350 g ha⁻¹ e 350 + 700 g ha⁻¹, além de um tratamento testemunha (dose zero). As doses utilizadas são equivalentes à 1,0 e 2,0 L do produto comercial (P.C.) ha⁻¹. A dose de sulfentrazone + diuron recomendada pelo fabricante varia de 122,5 + 245 a 250 + 490 g ha⁻¹, dependendo das características de solo e das plantas daninhas presentes na área (AGROFIT, 2021). Portanto, foi utilizada uma dose dentro da faixa recomendada e outra acima da faixa recomendada, justamente para contrastar a capacidade de cada cultivar em tolerar a mistura de sulfentrazone + diuron.

Tabela 4. Relação das cultivares de soja submetidas ao efeito dos herbicidas sulfentrazone + diuron aplicados na pré-emergência da cultura. Londrina - PR, 2023.

Nº	Cultivar	GMR	Detentor
1	DM56I59 IPRO	5.6	Dommario Sementes
2	DM60I63 IPRO	6.0	Dommario Sementes
3	DM64I63 IPRO	6.4	Dommario Sementes
4	DM66I68 IPRO	6.6	Dommario Sementes
5	DM70I71 IPRO	7.0	Dommario Sementes
6	Fibra IPRO	6.4	Braxmax Genética
7	HO AMAMBAY	5.8	HO Genética
8	HO IGUAÇU	6.4	HO Genética
9	HO PARAGUAÇU	6.4	HO Genética
10	HO PIRAPÓ	6.4	HO Genética
11	HO TERERE	6.6	HO Genética
12	Lança IPRO	5.8	Braxmax Genética
13	Lótus IPRO	6.1	Braxmax Genética
14	M6410 IPRO	6.4	Bayer Crop Science
15	NEO 660	6.6	Neogen
16	TMG 2356 IPRO	5.7	TMG Tropical Melhoramento & Genética
17	TMG 2359 IPRO	5.9	TMG Tropical Melhoramento & Genética
18	TMG 2360 IPRO	6.0	TMG Tropical Melhoramento & Genética

19	TMG 2364 IPRO	6.4	TMG Tropical Melhoramento & Genética
20	TMG 7067 IPRO	6.5	TMG Tropical Melhoramento & Genética

Fonte. O próprio autor.

8.2 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO E APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Agronomia na Universidade Estadual de Londrina (UEL) - PR, latitude de 23° 23' sul e longitude de 51° 11' oeste, tendo uma altitude aproximada de 560 metros. As unidades experimentais foram vasos com volume de 1 dcm³, preenchidos com latossolo coletado na FAZESC, UEL-PR. De acordo com a análise, o solo apresenta as seguintes características: 12% de areia, 36% de silte e 52% de argila; pH 5,50; 2,28 g dm⁻³ de matéria orgânica e 9,25 cmolc dm⁻³ de capacidade de troca catiônica.

Em cada vaso foram semeadas manualmente 10 sementes da respectiva cultivar, na profundidade de 3 cm. Após a semeadura, os vasos foram irrigados para que o solo atingisse umidade próxima à capacidade de campo.

Os tratamentos herbicidas foram aplicados no dia seguinte à semeadura. A pulverização foi realizada com pulverizador costal pressurizado a gás carbônico (CO₂), dotado de barra com duas pontas tipo leque TeeJet110.02 com indução de ar, com pressão de trabalho de 30 psi e volume de calda equivalente a 200 L ha⁻¹.

No decorrer da condução do experimento, a irrigação foi realizada periodicamente por aspersão, mantendo a umidade do solo próxima à capacidade de campo.

1.1 AVALIAÇÕES

8.3.1 Fitotoxicidade

Foram avaliadas as injúrias causadas pelo herbicida na cultura da soja aos 15, 30 e 45 dias após aplicação dos tratamentos (DAA). Para essa avaliação foi usada a escala de zero a 100% proposta por Frans & Crowley (1986), conforme a Tabela 2, onde zero significa ausência de sintomas e 100 corresponde ao controle total (morte) das plantas. As avaliações de controle foram realizadas por dois avaliadores, sendo que cada tratamento era comparado à sua respectiva

testemunha (cultivar sem aplicação de herbicida).

Tabela 5. Escala de avaliação visual de fitotoxicidade utilizada no experimento. Londrina-PR, 2023.

Injúria (%)	Categorias principais	Descrição detalhada da injúria
0	Sem efeito	Sem injúria
10	Efeito leve	Leve descoloração ou atrofia
20		Alguma descoloração ou atrofia
30		Injúria mais pronunciada, mas não duradoura
40	Efeito moderado	Injúria moderada, normalmente com recuperação
50		Injúria mais duradoura, recuperação duvidosa
60		Injúria duradoura, sem recuperação
70	Efeito severo	Injúria pesada, redução de estande
80		Cultura próxima à destruição
90		Raramente restam algumas plantas
100	Efeito total	Destruição completa da cultura

Fonte: Frans & Crowley, 1986.

1.1.1 Avaliações fisiológicas

- Eficiência do fotossistema II (Fv/Fm) e taxa relativa de transporte de elétrons (ETR)

Pelo fato dos herbicidas sulfentrazone (inibidor de PROTOX) e diuron (inibidor de FSII) afetarem processos relacionados à fotossíntese. Foram realizadas análises quanto às eficiências máxima e efetiva do FSII e à taxa relativa do transporte de elétrons nas plantas de soja aos 15, 30 e 45 dias após emergência (DAA). Para isso foi utilizado fluorômetro OS1p (OptiSciences). As medidas das características fisiológicas realizadas no projeto ocorreram no horário de 07:00 às 9:00 da manhã.

A análise de fluorescência da clorofila para determinar a eficiência quântica máxima do FSII foi realizada através do cálculo da razão Fv/Fm (Fluorescência variável/Fluorescência máxima). As análises foram realizadas em dois folíolos de duas plantas aleatoriamente definidas da unidade experimental. A

eficiência efetiva do fotossistema II (YII) também foi avaliada adaptando as folhas à PAR (Photosynthetically Active Radiation), ou seja, a porção do espectro de luz fotossinteticamente ativa, de 500 e 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante 30 segundos cada. Os valores para a taxa relativa do transporte de elétrons (rETR) foram calculados a partir de $rETR = YII \times PAR \times 0,5 \times 0,84$ (BAKER, 2008).

1.1.2 Análises biométricas

Aos 45 DAA foi avaliado o comprimento da parte aérea de cada planta com auxílio de régua milimetrada. Os dados foram expressos em cm planta^{-1} . Também foi determinada a massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas. Para isso, as plantas foram cortadas ao nível do solo e acondicionadas em sacos de papel, separadas por unidade experimental. Em seguida as amostras foram mantidas em estufa a 65°C por 72 horas e posteriormente pesadas em balança de precisão. Os dados foram expressos em g vaso^{-1} .

8.1.1 Análise dos dados

Os dados foram submetidos a análises exploratórias, onde foram testadas a homocedasticidade das variâncias através do teste de Bartlett ($p > 0,05$) e a normalidade dos resíduos através do Teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$), a fim de satisfazer os pressupostos da análise de variância. Posteriormente foi realizada análise de variância (ANOVA) ($p < 0,05$) e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico R.

9 RESULTADOS E DISCUSSÃO

9.1 FITOTOXIDADE

Na Tabela 6 são apresentados os resultados referentes às avaliações de fitointoxicação de plantas de soja em resposta à aplicação de doses de sulfentrazone + diuron. Foi observada interação entre os fatores cultivar e doses do herbicida. Pela similaridade dos resultados aos 30 e 45 DAA, os dados aos 30 DAA não serão apresentados e discutidos.

Na primeira avaliação, aos 15 DAA, os maiores níveis de fitointoxicação foram ocasionados pela maior dose do herbicida (2 L pc ha⁻¹), nas cultivares DM56I59 IPRO (66,2%) e Lança IPRO (57,5%). As cultivares DM64I63 IPRO, M6410 IPRO, NEO 660 e TMG 2360 IPRO mostraram-se mais tolerantes a sulfentrazone + diuron, com índices de fitointoxicação na faixa de 30%, independentemente da dose de herbicida.

Tabela 6. Porcentagem de fitointoxicação de plantas de soja aos 15 e 45 dias após a aplicação (DAA) de sulfentrazone + diuron. Londrina-PR, 2023.

Cultivar	15 DAA			45 DAA		
	Dose (L p.c ha ⁻¹)					
	0	1	2	0	1	2
DM56I59 IPRO	0,0 aC	40,0 bB	66,2 aA	0,0 aC	38,8 aB	90,0 aA
DM60I63 IPRO	0,0 aC	26,2 dB	36,2 cA	0,0 aB	22,5 bA	42,5 bA
DM64I63 IPRO	0,0 aB	25,0 dA	28,8 dA	0,0 aB	20,0 bA	33,8 bA
DM66I68 IPRO	0,0 aC	30,0 cB	42,5 cA	0,0 aC	26,2 bB	70,0 aA
DM70I71 IPRO	0,0 aC	21,2 dB	42,5 cA	0,0 aB	23,8 bB	53,8 aA
Fibra IPRO	0,0 aC	18,8 eB	36,2 cA	0,0 aB	11,2 bB	43,8 bA
HO AMAMBAY	0,0 aC	27,5 dB	40,0 cA	0,0 aB	45,0 aA	28,8 bA
HO IGUAÇU	0,0 aB	37,5 cA	37,5 cA	0,0 aB	60,0 aA	52,5 aA
HO PARAGUAÇU	0,0 aC	60,0 aA	50,0 bB	0,0 aB	56,2 aA	48,8 bA
HO PIRAPÓ	0,0 aB	47,5 bA	47,5 bA	0,0 aB	58,8 aA	51,2 aA
HO TERERE	0,0 aC	30,0 cB	41,2 cA	0,0 aB	25,0 bA	42,5 bA
Lança IPRO	0,0 aC	35,0 cB	57,5 aA	0,0 aB	41,2 aA	62,5 aA
Lótus IPRO	0,0 aC	33,8 cB	46,2 bA	0,0 aC	37,5 aB	66,2 aA
M6410 IPRO	0,0 aB	33,8 cA	33,8 dA	0,0 aB	50,0 aA	56,2 aA
NEO 660	0,0 aC	12,5 eB	30,0 dA	0,0 aB	30,0 bA	36,2 bA
TMG 2356 IPRO	0,0 aC	60,0 aA	40,0 cB	0,0 aB	58,8 aA	63,8 aA
TMG 2359 IPRO	0,0 aB	45,0 bA	45,0 bA	0,0 aB	48,8 aA	45,0 bA
TMG 2360 IPRO	0,0 aB	23,8 dA	27,5 dA	0,0 aB	30,0 bA	28,8 bA

TMG 2364 IPRO	0,0 aB	37,5 cA	41,2 cA	0,0 aB	47,5 aA	60,0 aA
TMG 7067 IPRO	0,0 aC	22,5 dB	45,0 bA	0,0 aB	22,5 bB	57,5 aA
Média	0,0	33,38	41,74	0,0	37,69	51,695
CV (%)	26,22					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo Scott-Knott ($p < 0,05$).

Aos 45 DAA, as cultivares mais tolerantes à maior dose avaliada de sulfentrazone + diuron foram a DM64I63 IPRO, HO AMAMBAY, NEO 660 e TMG 2360, com valores de fitointoxicação de 28,9 e 36,2%. Em contrapartida, a cultivar DM56I59 IPRO se mostrou mais sensível, com fitointoxicação de 90%. Observa-se também que, aos 45 DAA, as cultivares DM70I71 IPRO, Fibra IPRO e TMG 7067 IPRO se mostraram mais tolerantes quando submetidas à dose de 1 L pc ha⁻¹, com baixa fitointoxicação, sem se diferirem da testemunha (sem aplicação de herbicida).

Segundo Neto et al. (2009) o uso de misturas de herbicidas pode acarretar possíveis efeitos de fitointoxicação que podem se traduzir em injúrias para a cultura da soja. No entanto, a sensibilidade pode ser devido a caracteres genotípicos e intrínsecos de cada cultivar, o que foi observado no estudo em questão, onde a mistura de sulfentrazone + diuron, mesmo sendo registrada para cultura da soja, resultou em diferença nas respostas de sensibilidade das cultivares.

Vale ressaltar que muitos herbicidas considerados seletivos para a cultura da soja podem provocar algum tipo de intoxicação, agravado principalmente por manejo inadequado e utilização de superdoses. Silva et al. (2021) observaram que a utilização de 200% da dose recomendada de quatro herbicidas em pré-emergência atingiu níveis graves de injúrias, com valores de até 64,30% de intoxicação no início do desenvolvimento da cultura da soja.

Segundo Gehrke et al. (2020), a tolerância das culturas ao sulfentrazone depende de um conjunto de fatores formados por menor absorção e translocação, rápida metabolização e capacidade de tolerar o estresse oxidativo. Em relação à soja, a escolha da cultivar tem impacto na tolerância ao sulfentrazone (REILING et al., 2006). Esse fato pode ser explicado devido tolerância diferencial ao estresse peroxidativo que é intrínseco de cada cultivar (DAYAN et al., 1997). Outros fatores que podem afetar a sensibilidade da cultura podem ser condições climáticas adversas, cultivar e ciclo (GALON et al., 2011, GAZOLA et al., 2016).

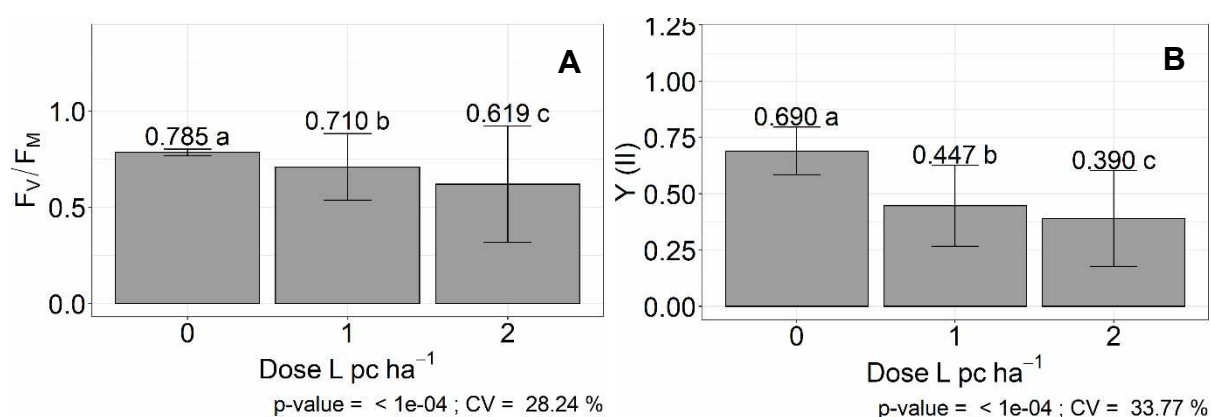
9.2 ANÁLISES FISIOLÓGICAS

9.2.1 Eficiência quântica e efetiva do fotossistema II

Quanto aos aspectos fisiológicos de eficiência quântica (F_v/F_m) e efetiva (Y_{II}) do fotossistema II, observa-se aos 15 DAA (Figura 7 A, B) que não houve interação entre cultivar e dose, sendo a dose o fator determinante nestas características. Independentemente da dose utilizada houve um decréscimo em ambas as variáveis, mostrando que as doses utilizadas podem comprometer a atividade fotossintética nos estádios iniciais da cultura.

Em média, em relação ao tratamento testemunha, aos 15 DAA o F_v/F_m foi reduzido em 10% para a dose de 1 L PC ha⁻¹ e em 21% para a dose de 2 L PC ha⁻¹ (Figura 7A). Para a variável Y_{II} , a redução foi de 35% e 43% para as doses de 1 L PC ha⁻¹ e 2 L PC ha⁻¹, respectivamente, em comparação ao tratamento testemunha (Figura 7B).

Figura 6. Eficiência quântica (F_v/F_m) (A) e efetiva (Y_{II}) (B) do fotossistema II aos 15 dias após a aplicação (DAA) de sulfentrazone + diuron nas cultivares de soja, Londrina-PR, 2022.



Tanto o diuron quanto sulfentrazone são herbicidas nos quais os mecanismos de ação estão diretamente ligados ao cloroplasto. O sulfentrazone é um herbicida que inibe a enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), promovendo o acúmulo de protoporfirina IX (DAN HESS, 2000). Quando inibida, na presença de oxigênio ocorre formação de espécies reativas de oxigênio (EROs) que causam a peroxidação de lipídios e, conseqüentemente, a destruição das membranas celulares levando a planta a morte (CARVALHO, 2013).

O diuron tem como mecanismo de ação a inibição do fotossistema II, promovida pela ligação dos herbicidas desse grupo ao sítio de ligação da QB, na proteína D1 do fotossistema II, o qual se localiza nas membranas dos tilacóides dos cloroplastos, provocando o bloqueio do transporte de elétrons de QA para QB. Sendo assim, há uma redução e até mesmo a paralisação da fixação de CO₂ e a produção de ATP e NADPH₂, que são essenciais para o desenvolvimento das plantas (MENENDEZ, 1997). Da mesma forma que os inibidores da PROTOX, o que leva as plantas tratadas à morte é o acúmulo de EROs, que leva à peroxidação de lipídios e destruição das membranas (DAN HESS, 2000).

Segundo Maxwell & Johnson (2000), se a planta estiver em condições normais, sem estresse, os valores de Fv/Fm para a maioria das espécies podem variar em torno de 0,750 a 0,850. Valores inferiores a estes são indicativos de estresse e redução da eficiência fotossintética da planta. No entanto, quando avaliado aos 45 DAA (Tabela 7) é perceptível que as características avaliadas variaram em função do cultivar e da dose, ou seja, houve interação entre os fatores avaliados nessa data de avaliação. Nesse sentido, vale ressaltar que mesmo as doses afetando os parâmetros fisiológicos na fase inicial (15 DAA), aos 45 dias algumas cultivares não diferiram da testemunha, mesmo na maior dose estudada, mostrando que algumas cultivares tendem a se recuperar do estresse provocado pelo herbicida.

Tabela 7. Eficiência quântica (Fv/Fm) e efetiva (Y II) do fotossistema II aos 45 dias após a aplicação (DAA) de sSulfentrazone + diuron nas cultivares de soja, Londrina-PR, 2023.

Cultivar	Fv/Fm			Y (II)		
	Dose L p.c ha ⁻¹					
	0	1	2	0	1	2
DM56I59 IPRO	0,764 aA	0,790 aA	0,197 bB	0,678 aA	0,702 aA	0,180 bB
DM60I63 IPRO	0,794 aA	0,774 aA	0,583 bA	0,723 aA	0,583 aA	0,398 bB
DM64I63 IPRO	0,771 aA	0,792 aA	0,778 aA	0,682 aA	0,653 aA	0,631 aA
DM66I68 IPRO	0,789 aA	0,775 aA	0,395 bB	0,694 aA	0,635 aA	0,321 bB
DM70I71 IPRO	0,774 aA	0,774 aA	0,772 aA	0,702 aA	0,691 aA	0,642 aA
Fibra IPRO	0,772 aA	0,770 aA	0,781 aA	0,706 aA	0,680 aA	0,658 aA
HO AMAMBAY	0,784 aA	0,581 bA	0,787 aA	0,717 aA	0,334 aB	0,699 aA
HO IGUAÇU	0,771 aA	0,781 aA	0,591 bA	0,724 aA	0,633 aA	0,476 bA
HO PARAGUAÇU	0,780 aA	0,380 bB	0,778 aA	0,698 aA	0,481 aA	0,711 aA
HO PIRAPÓ	0,776 aA	0,386 bB	0,775 aA	0,690 aA	0,514 aA	0,649 aA

HO TERERE	0,778 aA	0,784 aA	0,766 aA	0,751 aA	0,634 aA	0,619 aA
Lança IPRO	0,769 aA	0,781 aA	0,597 bA	0,686 aA	0,700 aA	0,486 bA
Lótus IPRO	0,786 aA	0,771 aA	0,585 bA	0,666 aA	0,706 aA	0,515 bA
M6410 IPRO	0,777 aA	0,581 bA	0,588 bA	0,714 aA	0,487 aA	0,468 bA
NEO 660	0,792 aA	0,782 aA	0,778 aA	0,730 aA	0,557 aA	0,545 aA
TMG 2356 IPRO	0,770 aA	0,590 bA	0,576 bA	0,730 aA	0,624 aA	0,447 bA
TMG 2359 IPRO	0,784 aA	0,774 aA	0,782 aA	0,652 aA	0,624 aA	0,669 aA
TMG 2360 IPRO	0,783 aA	0,583 bA	0,777 aA	0,677 aA	0,649 aA	0,625 aA
TMG 2364 IPRO	0,777 aA	0,761 aA	0,567 bA	0,723 aA	0,690 aA	0,493 bA
TMG 7067 IPRO	0,782 aA	0,797 aA	0,581 bA	0,632 aA	0,661 aA	0,478 bA
Média	0,779	0,700	0,652	0,699	0,612	0,536
CV (%)		29,21			28,43	

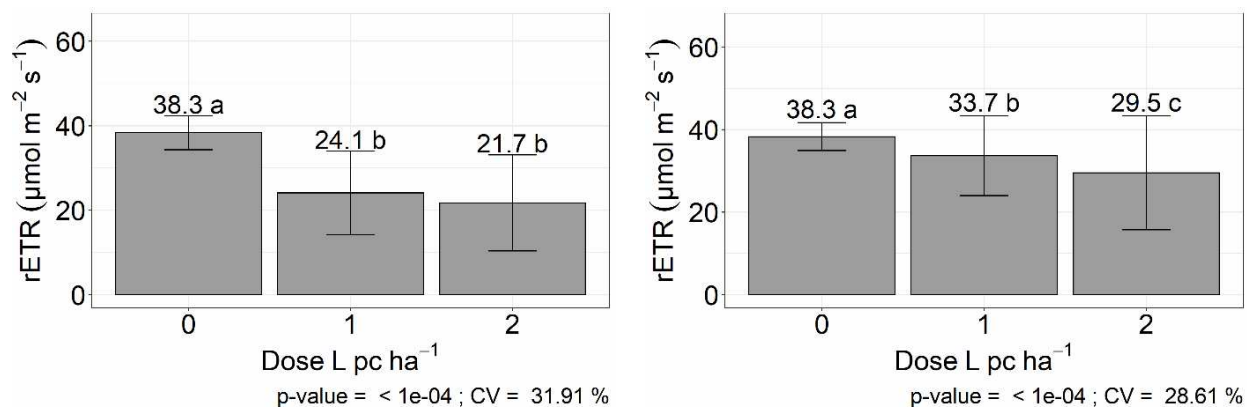
Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo Scott-Knott ($p < 0,05$).

Menores taxas de Fv/Fm e YII foram observados nas cultivares quando submetidas a maior dose, tendo como destaque negativo as cultivares DM56I59 IPRO e DM66I68 IPRO. Ambas as cultivares, na dose de 2 L pc ha⁻¹, apresentaram os menores índices fotossintéticos, tanto em comparação a testemunha, quanto em relação às demais cultivares (Tabela 7).

Já em relação à taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) aos 15 e 45 DAA (Figura 8 A, B), é possível corroborar com os dados descritos anteriormente, de Fv/Fm e YII. Verifica-se que com o aumento dose de herbicida há uma diminuição do fluxo de elétrons no fotossistema II, indicando dano no aparato fotossintético da planta. Contudo, para esta variável, não foi observado efeito significativo para o fator cultivar.

Figura 8. Taxa relativa de transporte de elétrons aos 15 (A) e 45 (B) dias após a

aplicação (DAA) de sulfentrazone + diuron nas cultivares de soja, Londrina-PR, 2022.



Essa diminuição da ETR em função do aumento de dose observado em todas as cultivares pode ser explicada principalmente por ser o mecanismo de ação direta do diuron, que bloqueia a passagem de elétrons do fotossistema II para o fotossistema I. Mas a baixa ETR não pode ser atribuída exclusivamente ao inibidor FSII (diuron), uma vez que sulfentrazone, ao inibir a PPO, produz espécies reativas de oxigênio (ROS) que também levam a inibição da atividade dos fotossistemas (TRIPATHY et al., 2007).

9.3 ANÁLISES BIOMÉTRICAS

Na Tabela 8 estão relacionados os aspectos de rendimento de massa seca da parte aérea (MSPA) e altura de plantas aos 45 dias após aplicação da mistura de sulfentrazone + diuron. É possível verificar que estas características foram afetadas, com interação significativa dos fatores dose e cultivar, avaliando a MSPA, tanto a dose de 1 L pc ha⁻¹ quanto a de 2 L pc ha⁻¹ comprometeram o acúmulo de matéria seca das plantas, em ambos os parâmetros a maior doses sempre se destacou de forma negativa, mas é perceptível que há um comportamento diferente entre as cultivares estudadas. As cultivares DM70I71 IPRO, HO PIRAPÓ, HO TERERE Lança IPRO, Lótus IPRO, M6410 IPRO, TMG 2356 IPRO, TMG 2359 IPRO e TMG 2364 IPRO, foram mais afetadas pela aplicação dos herbicidas, mesmo na dose comercial recomendada (1 L pc ha⁻¹) para os parâmetros MSPA e altura.

Tabela 8. Massa seca da parte aérea (MSPA) e altura de plantas aos 45 dias após a aplicação (DAA) de sulfentrazone + diuron nas cultivares de soja, Londrina-PR, 2022.

Cultivar	MSPA (g)			Altura (cm)		
	Dose L p.c ha ⁻¹					
	0	1	2	0	1	2
DM56I59 IPRO	6,64 aA	1,90 bB	0,130 aB	52,25 bA	32,25 bA	6,25 bB
DM60I63 IPRO	7,58 aA	3,71 aB	3,063 aB	74,75 bA	65,75 aA	51,25 aA
DM64I63 IPRO	7,20 aA	4,45 aB	2,809 aB	63,50 bA	64,50 aA	71,50 aA
DM66I68 IPRO	7,47 aA	3,64 aB	0,903 aC	76,25 bA	65,75 aA	27,00 bB
DM70I71 IPRO	8,08 aA	4,51 aB	2,026 aC	92,25 aA	66,50 aB	44,25 aB
Fibra IPRO	7,67 aA	4,96 aB	2,077 aC	60,00 bA	61,00 aA	38,00 bA
HO AMAMBAY	5,10 bA	2,39 bB	2,522 aB	69,25 bA	49,25 aA	50,75 aA
HO IGUAÇU	4,95 bA	1,14 bB	1,329 aB	57,00 bA	33,50 bA	34,75 bA
HO PARAGUAÇU	5,14 bA	1,71 bB	2,182 aB	62,50 bA	32,50 bA	41,75 aA
HO PIRAPÓ	6,33 aA	0,66 bB	0,940 aB	53,25 bA	14,50 bB	21,75 bB
HO TERERE	7,79 aA	4,12 aB	1,617 aC	97,00 aA	60,25 aB	46,50 aB
Lança IPRO	6,84 aA	1,37 bB	0,806 aB	61,00 bA	33,50 bB	19,00 bB
Lótus IPRO	8,21 aA	2,79 aB	0,957 aB	106,75 aA	35,50 bB	22,75 bB
M6410 IPRO	7,19 aA	3,86 aB	1,326 aC	82,00 aA	41,25 bB	36,50 bB
NEO 660	6,77 aA	4,07 aB	2,258 aB	70,75 bA	57,25 aA	49,00 aA
TMG 2356 IPRO	5,55 bA	1,01 bB	0,954 aB	68,75 bA	23,75 bB	23,00 bB
TMG 2359 IPRO	5,16 bA	0,88 bB	1,386 aB	89,50 aA	32,50 bB	34,75 bB
TMG 2360 IPRO	6,98 aA	2,95 aB	4,031 aB	60,00 bA	49,25 aA	61,75 aA
TMG 2364 IPRO	6,65 aA	1,04 bB	0,930 aB	79,00 aA	26,25 bB	22,00 bB
TMG 7067 IPRO	5,41 bA	3,65 aA	1,676 aB	65,00 bA	57,50 aA	36,00 bA
Média	6,64	2,74	1,70	72,04	45,13	36,93
CV (%)	39,46			35,86		

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo Scott-Knott ($p < 0,05$).

Osipe et al. (2014), trabalhando com sulfentrazone, constataram que houve reduções na altura das plantas de soja, quando comparados à testemunha sem herbicida. O que vai de encontro aos resultados encontrados na presentepesquisa, o que pode ser explicado pelos processos descritos anteriormente, pois com a queda nos processos de fotossintéticos, menor é a capacidade da planta em

acumular matéria seca.

Zacharias et al. (2021), avaliando o desempenho agronômico da soja em resposta à aplicação de doses de sulfentrazone + diuron em pré-emergência, observaram que os herbicidas tanto isolados, quanto em mistura diminuíram a altura de plantas. Em contrapartida, Dalazen et al. (2020), ao avaliarem os componentes de rendimento da cultura da soja, concluíram que, embora tenham ocorrido injúrias iniciais, a produtividade de grãos não foi limitada quando aplicadas as doses recomendadas de sulfentrazone em solo arenoso, sendo este herbicida considerado uma excelente ferramenta no controle de plantas daninhas.

10 CONCLUSÕES

A mistura do herbicida sulfentrazone + diuron provocou fitotoxicidade na maioria das cultivares de soja avaliadas. As cultivares DM56I59 IPRO, HO Amambay, HO Iguaçu, HO Paraguaçu, HO Pirapó, Lança IPRO, Lótus IPRO, M6410IPRO, TMG 2356 IPRO, TMG 2359 IPRO e TMG 2364 IPRO foram as mais afetadas, mesma na dose recomendada (1 L pc ha^{-1}), enquanto a cultivar NEO 660, Fibra eTMG 7067 foram as que mais destacaram positivamente na maioria das avaliações.

Nesse sentido, a mistura de sulfentrazone + diuron deve ser ajustada levando em consideração a dose e sensibilidade das cultivares. Sendo assim, são necessários mais estudos com uma maior quantidade de cultivares, no intuito de determinar o posicionamento correto do produto.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT. **Sistema AGROFIT Brasil** - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 2023.
- AGROFIT. **Sistema AGROFIT Brasil** - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 2021.
- BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annu Rev Plant Biol**, v. 59, p. 89-113, 2008. Disponível em: [10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759](https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759).
- BECKIE, H. J.; HARKER, K. N. Our top 10 herbicide-resistant weed management practices. **Pest Manag Sci**, v. 73, p. 1045-1052, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.4543>.
- BUSI, R.; POWLES, S. B.; BECKIE, H. J.; RENTON, M. Rotations and mixtures of soil-applied herbicides delay resistance. **Pest Manag Sci**, v. 76, p. 487-496, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.5534>.
- CARVALHO, L. B. **Herbicidas**, Lages: Editado Pelo Autor, 2013, 72, Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA).
- CRUSCIOL, C. A. C. et al. Um sistema consorciado lavoura-forragem inovador: cultivares de soja de ciclo inicial e capim-braquiária. **Agron, J.**, v. 104, n. 4, p. 1085-1095, 2012.
- DALAZEN, G.; KASPARY, T. E.; MARKUS, C.; PISONI, A.; MEROTTO JR, A. Soybean tolerance to sulfentrazone and dicloslam in sandy soil. **Planta Daninha**, v. 38, p. e020225717, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100081>.
- DAN HESS, F. Light-dependent herbicides: An overview. **Weed Science**, v. 48(2), p. 160-170, 2000. Disponível em: [doi:10.1614/0043-1745\(2000\)048\[0160:LDHAO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0160:LDHAO]2.0.CO;2).
- DAYAN, F. E.; WEETE, J. D.; DUKE, S. O.; HANCOCK, H. G. Soja (Glycine max) Diferenças de cultivares em resposta ao sulfentrazone. **Weed Sci.**, v. 45(5), p. 634-41, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 3 ed., Brasília, DF, 2013, 353p.
- FERREIRA, E. A.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; VENTRELLA, M. C.; BARBOSA, M. H. P.; PROCÓPIO, S. O.; REBELLO, V. P. A. Sensibilidade de cultivares de canede-açúcar à mistura trifloxysulfuron- sodium+ametryn. **Planta Daninha**, v. 23, p. 93- 99, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582005000100012>.

FRANZ, R. E.; TALBERT, R.; MARX, D.; CROWLEY, H. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. **Weed Science**, 3 ed., p. 29-46, 1986.

GALON, Leandro & MACIEL, C.D.G. & AGOSTINETTO, Dirceu & CONCENÇO, Germani & MORAES, Pedro. Seletividade de herbicidas às culturas pelo uso de protetores químicos. *Revista Brasileira de Herbicidas*, [S.l.], v. 10, n. 3, p. 291-304, dez. 2011. ISSN 2236-1065. Disponível em: <http://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/167>. Acesso em: 19 jul. 2023. doi:<https://doi.org/10.7824/rbh.v10i3.167>.

GAZOLLA, Tiago; DIAS, Márcio Furriela; BELAPART, Diego; CASTRO, Edicarlos Batista; BIANCHI, Leandro. Efeitos do diclosulam na soja cultivada em solos de diferentes classes texturais. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 4, pág. 353-361, dezembro de 2016.

GEHRKE, V. R.; CAMARGO, E. R.; AVILA, L. A. Sulfentrazone: Dinâmica Ambiental e Seletividade. **Planta daninha**, v. 38, p. e020215663, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100032>.

HEAP, I.; DUKE, S. O. Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. **Pest Manag Sci.**, v. 74, p. 1040-1049, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.4760>.

HEAP, I. **The international herbicide-resistant weed database**. 2021 [access June 07, 2023]. Available from: www.weedscience.org

HEAP, I. **International survey of herbicide resistance**. Disponível em: <http://www.weedscience.org/Home.aspx>, Acesso em: 05 junho, 2023.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C. **Algodão: informação tecnológica**. Dourados: Embrapa-CPAO, 1998, 267 p., (Circular técnica, 7).

LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; SOARES, D. J.; OLIVEIRA, N. C.; KAWAGUCHI, I. T.; BERGER, G. U.; CARVALHO, S. J. P. Interferência e controle de milho voluntário tolerante ao glifosato na cultura da soja. **Pesq Agropec Bras**, v. 51, p. 340-347, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000400006>.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal Experimental Botany**, Almsford, v.51, p. 659-668, 2000.

MENENDEZ J.; PRADO R. Metabolism of chlorotoluron in resistant and susceptible *Alopecurus myosuroides* cell suspension cultures and whole plants. **Plant Physiol.**, v. 99, n. 1, p. 97-94, 1997.

MUELLER, C. T.; BOSWELL, B. W.; MUELLER, S. S.; STECKEL, L. E. Dissipation of Fomesafen, Saflufenacil, Sulfentrazone, and Flumioxazin from a Tennessee Soil under Field Conditions. **Weed Science**, London, v. 62, p. 664-671, 2014.

NETO, M. E. F.; R. A. PITELLI, E. BASILE & P. C. TIMOSSO. Seletividade de herbicidas pós-emergentes aplicados na soja geneticamente modificada. **Planta Daninha**, v. 27, n. 2, p. 345–352, abr. 2009.

OSIPE, J. B.; OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D. F.; RIOS, F. A.; FRANCHINI, L. H. M.; GHENO, E. A.; RAIMONDI, M. A. Seletividade de aplicações combinadas de herbicidas em Pré e pós-emergência para a soja tolerante ao glyphosate. **Biosci, J.**, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 623-631, 2014. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/18042/13913>.

PPDB: Pesticide Properties Database. **Hertfordshire**, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2wiu8h7>.

REILING, K. L.; SIMMONS, F. W.; RIECHERS, D. E.; STECKEL, L. E. A época de aplicação e os fatores do solo afetam a fitotoxicidade do sulfentrazone a duas cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merr.). **Colheita Prot**, v. 25, p. 230-234, 2006.

SILVA, S. A. S. **Testes de herbicidas pré-emergentes e eficiência no controle de plantas daninhas no cultivo da soja**. 2021. 21 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia), Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, 2021. Disponível em: https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/2064/1/Tcc_Samuel%20Silva.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.

SILVA, A. A.; F. A, FERREIRA & L. R, FERREIRA. 2009. Herbicidas: classificação e mecanismos de ação, p. 83-148, In Silva, A. A. & J. S. Silva (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**, Viçosa, UFV, 367p.

SILVA, G. F. **Adubação nitrogenada e fosfatada para produção de milho verde e de grãos na Chapada do Apodi-RN**. 2013. 121f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2013.

SONG, N. H.; YIN, X. L.; CHEN, G. F.; YANG, H. Biological responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants to the herbicide chlorotoluron in soils. **Chemosphere**, v. 68, p. 1779-1787, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.03.023>.

TRIPATHY, B. C.; MOHAPATRA, A.; GUPTA, I. Impairment of the photosynthetic apparatus by oxidative stress induced by photosensitization reaction of protoporphyrin IX. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) Bioenergetics**, v. 1767, n. 6, p. 860-868, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2007.03.008>.

VELINI, E. D.; MARTINS, D.; MANOEL, L. A.; MATSUOKA, S.; TRAVAIN, J. C.; CARVALHO, J. C. Avaliação da seletividade da mistura de oxyfluorfen e ametryne, aplicada em pré ou pós-emergência, a dez variedades de cana-de-açúcar (canaplanta). **Planta Daninha**, v. 18, p. 123-134, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582000000100012>.

VITORINO, H. D. S.; SILVA JUNIOR, A. C. D.; GONÇALVES, C. G.; MARTINS, D. Interferência de plantas daninhas na cultura da soja em função do espaçamento de

semeadura. **Rev. Ciênc, Agronom.**, v. 48, p. 605-613, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170070>.

ZACHARIAS, W. L. F.; PIERRO, P. H. C.; OLIVEIRA, G. M. P.; BOVO, R. F.; ZARELLI, L. G.; DALAZEN, G. Weed control and soybean agronomic performance in response to application of sulfentrazone + diuron in pre-emergence. **Colloquium Agrariae**, v. 17, n. 3, p. 70-82, 2021. Available from: <https://journal.unoeste.br/index.php/ca/article/view/3886/3272>.