

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ASSOCIAÇÃO DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NO CONTROLE DE
PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DA SOJA**

FERNANDO CESAR MUNARO

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL**

2023

**ASSOCIAÇÃO DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NO CONTROLE DE
PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DA SOJA**

FERNANDO CESAR MUNARO
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Paulo Vinicius da Silva
Co-orientadora: Prof. Dr. Mirella Ortiz

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

T859q Munaro, Fernando Cesar

Associação de herbicidas pré-emergentes no controle de plantas daninhas na cultura da soja /
Fernando Cesar Munaro - 2023.

Orientador: Paulo Vinicius da Silva.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Sinergismo. 2. Palhada. 3. HPCL I. Silva, Paulo Vinicius. II. Munaro, Fernando Cesar. III.

Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

ASSOCIAÇÃO DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DA SOJA

por

FERNANDO CESAR MUNARO

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA

Aprovada em: 16/10/2023

Documento assinado digitalmente
gov.br PAULO VINICIUS DA SILVA
Data: 13/11/2023 09:49:08-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Vinicius da Silva
Presidente/orientador



Prof.ª Dr.ª Mirella Farinelli Ortiz
Presidente/coorientadora
(Participação Remota)

Documento assinado digitalmente
gov.br MUNIR MAUAD
Data: 13/11/2023 12:22:19-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Munir Mauad
Membro Titular Interno



Prof. Dr. Alfredo Junior Paiola Albrecht
Membro Titular Externo
(Participação Remota)

AGRADECIMENTOS

Este mestrado representa muito mais do que uma pesquisa ou uma contribuição para sociedade acadêmica, ele representa um marco na minha trajetória pessoal e profissional. Um período no qual eu vivi várias vidas e diversas transformações.

Uma jornada que começou com um mundo repleto de sonhos e objetivos que, precisaram enfrentar logo nos primeiros meses uma pandemia que transformou o modo de viver e a sociedade global em si. Mudou vidas, trouxe um mundo de incertezas, dor e sofrimentos, perdas e muitos desafios. Entretanto, no meio do caminho o destino provou ser mais uma vez uma caixa de surpresas, transformou minha vida com duas mudanças radicais de região e logo na sequência de empresa. Essas mudanças profissionais foram fantásticas, porém não foram fáceis e tampouco agradáveis em determinados assuntos particulares. Quando tudo parecia se organizar e a vida se tornar fácil pela primeira vez, foi preciso lidar com o fim de um ciclo que só não me abalou mais porque eu tenho as melhores pessoas do mundo ao meu lado, e graças ao meu orientador, minha coorientadora e a liberação da minha empresa consegui abraçar um magnífico projeto de intercâmbio que ampliou minhas fronteiras culturais e intelectuais. Enfim, esses dois anos na verdade tiveram a intensidade de décadas.

Trabalhar, pesquisar e viver só foram possíveis graças ao meu orientador Paulo Vinicius da Silva e ao grupo de pesquisa GEPLAD, em especial ao Pedro Salmazo e a Nayane França, os quais não mediram esforços em me ajudar nas organizações e conduções experimentais.

A minha coorientadora Mirella Ortiz e seu marido Eric que me acolheram em sua casa, em Logan-UT, como parte de sua família sem nem ter me conhecido pessoalmente e me orientaram e ajudaram com o máximo de paciência possível.

Ao Rafael Personi, com sua contribuição fundamental no fim desta jornada, mostrando uma dedicação sem igual, manteve tudo sob controle e colocou a “cereja do bolo” neste projeto.

Ao Elias Medeiros que “salvou a pátria” com sua expertise em análise estatística.

Aos meus colegas de banca Elias Medeiros, Munir Mauad, Roque de Carvalho Dias e Alfredo Paiola Albrecht que foram cruciais na correção e apoio na realização deste trabalho, além é claro de muita paciência e compreensão.

À UFGD e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia que me concederam a oportunidade e abriram as portas para implementação e desenvolvimento deste projeto.

Por fim, faltam palavras para descrever o quão profundo e impactante esse projeto foi na minha vida, sem dúvidas me ajudou a passar por vários momentos difíceis e no final me fizeram criar mais “casco” para lidar com o mundo e seus desafios.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO GERAL	10
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL	12
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (TÓPICOS).....	14
4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
CAPÍTULO I.....	25
1. INTRODUÇÃO.....	27
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4. CONCLUSÃO.....	50
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
CAPÍTULO II.....	55
1.INTRODUÇÃO.....	57
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	59
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.CONCLUSÃO.....	70
5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

RESUMO GERAL

O uso de novas tecnologias é estratégia fundamental para o manejo de plantas daninhas. Dentre estas, o potencial sinergismo entre herbicidas pré-emergentes com diferentes características físico-químicas pode vir a melhorar a dinâmica do herbicida na presença de palha, além de ampliar o espectro de controle de plantas daninhas. Diante desse cenário, o objetivo desse trabalho foi avaliar a eficácia da associação de herbicidas pré-emergentes no controle de plantas daninhas e o seu comportamento quando posicionados sobre palha de milho e submetidos a diferentes regimes hídricos, além de observar a seletividade desses tratamentos na cultura da soja. Para tal, foram realizados dois experimentos, o primeiro foi conduzido a campo no delineamento de blocos casualizados com quatro repetições no qual as plantas daninhas analisadas foram: *Bidens pilosa* L., *Commelina benghalensis* L., *Digitaria insularis* L., *Euphorbia heterophylla* L. e *Ipomoea purpurea* L. e foram semeadas manualmente. Os tratamentos constituíram-se da aplicação de 10 tratamentos com herbicidas em pré-emergência da cultura: sulfentrazone + diuron (420 + 210 g i.a.ha⁻¹); sulfentrazone + clomazone (420 + 540 g i.a.ha⁻¹); sulfentrazone + imazetapir (420 + 106 g i.a.ha⁻¹); flumioxazina + imazetapir (50 + 106 g i.a.ha⁻¹); flumioxazina + piroxasulfona (60 + 90 g i.a.ha⁻¹); s-metalocloro + flumioxazina (1440 + 60 g i.a.ha⁻¹); s-metalocloro + diclosulan (1440 + 29 g i.a.ha⁻¹); s-metalocloro + fomesafen (1440 + 228 g i.a.ha⁻¹); s-metalocloro + metribuzin (1440 + 224 g i.a.ha⁻¹); flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro (50 + 106 + 1440 g i.a.ha⁻¹) além de duas testemunhas, uma capinada e uma sem capina. Foram realizadas avaliações de controle das espécies e fitotoxicidade na soja aos 7, 14, 21 e 28 dias após emergência da cultura (DAE). Os 20 tratamentos: flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro, flumioxazina + imazetapir, piroxasulfona + flumioxazina e sulfentrazone + clomazone se mostraram como as melhores opções no complexo de plantas daninhas estudado com porcentagens de controle superiores a 80% para todas as espécies e com ausência de efeitos fitotóxicos na soja. Nenhuma associação resultou em fitotoxicidade significativa para a cultura e indicaram incremento de produtividade quando comparados à testemunha. O segundo experimento foi realizado em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, onde as unidades experimentais foram constituídas por painéis de vidro de dimensões 9x9 polegadas nas quais foram posicionadas as palhas de trigo. Foi adotado o esquema fatorial 4x3x2, sendo 4 os períodos de espera entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva (0, 4, 7 e 10 dias), 3 os volumes de precipitação (10, 20 e 30mm), e 2, os herbicidas aplicados (s-metalocloro e s-metalocloro + fomesafen). As aplicações dos tratamentos e as simulações de chuva foram realizadas via câmara de aplicação. Imediatamente após a aplicação dos herbicidas, os recipientes foram lavados para quantificação do herbicida não interceptado. Todas as amostras não interceptadas foram levadas para análise em cromatografia líquida de alta performance (HPLC) e quantificadas. Para o herbicida s-metalocloro, independentemente se isolado ou associado ao fomesafen, após as simulações de chuva, para os três volumes (0, 20 e 30mm), notou-se diferença significativa somente no intervalo de 0 dias entre a aplicação e a simulação de chuva, sendo que, independentemente do produto, as maiores concentrações foram notadas aos 0 dias, enquanto para 4 e 7 dias as diferenças foram pouco expressivas, e, 10 dias apresentou a menor concentração do herbicida. A recuperação máxima de fomesafen foi aos 0 dias após a aplicação com redução gradativa aos 4, 7 e 10 dias de intervalo. O s-metalocloro é influenciado pelo período de espera entre a aplicação e simulação de chuva, sendo sua recuperação máxima aos 0 dias após a aplicação com expressiva redução em períodos mais longos de espera. O aumento de chuva não foi significativo para o aumento de recuperação do herbicida. Entretanto, para fomesafen, não foi possível estabelecer correlação positiva com a quantidade de chuva simulada, mas sim, com o período de espera, onde, quanto maior o intervalo para a simulação de chuva, menor a recuperação do herbicida. Portanto, a associação de herbicidas pré-emergentes se mostrou como uma alternativa viável e eficaz no manejo de plantas daninhas, além de ressaltar a importância da influência da palhada, do volume e intervalo de chuva no posicionamento dos herbicidas.

Palavras – Chave: Sinergismo; Palhada; HPLC;

ABSTRACT

The use of new technologies is fundamental for weeds management. The potential synergism between pre-emergence herbicides with different physical-chemical characteristics may improve the herbicides dynamic in the straw presence, and also increase the spectrum control of weeds. Given this scenario, the purpose of this work was to evaluate the efficacy of the association among pre-emergence herbicides in weeds control and its selectivity in soybeans crop, besides observing its behavior when positioned above straw and when subjected to different hydric regimes. For this purpose, it was conducted two experiments, the first one, was conducted at field with experimental delineation of casualized blocks with four repetitions, in which, the analyzed weeds were: *Bidens pilosa* L., *Commelina benghalensis* L., *Digitaria insularis* L., *Euphorbia heterophylla* L. e *Ipomoea purpurea* L. and were sowed manually. The treatments were constituted by the application of 10 treatments with herbicides at the crops pre-emergence: sulfentrazone + diuron (420 + 210 g i.a.ha⁻¹); sulfentrazone + clomazone (420 + 540 g i.a.ha⁻¹); sulfentrazone + imazethapyr (420 + 106 g i.a.ha⁻¹); flumioxazin + imazethapyr (50 + 106 g i.a.ha⁻¹); flumioxazin + pyroxasulfone (60 + 90 g i.a.ha⁻¹); s-metalochlor + flumioxazin (1440 + 60 g i.a.ha⁻¹); s-metalochlor + diclosulan (1440 + 29 g i.a.ha⁻¹); s-metalochlor + fomesafen (1440 + 228 g i.a.ha⁻¹); s-metalochlor + metribuzin (1440 + 224 g i.a.ha⁻¹); flumioxazin + imazethapyr + s-metalochlor (50 + 106 + 1440 g i.a.ha⁻¹) besides two witness, one weeded and the other one unweeded. It was done evaluations of species control and soybeans phytotoxicity at 7, 14, 21 and 28 days after the crops emergence (DAE). The treatments: flumioxazin + imazethapyr + s-metalochlor, flumioxazin + imazethapyr, pyroxasulfona + flumioxazina and sulfentrazone + clomazone were the best options for the studied weeds complex with control percentages superior to 80% for all species and with no phytotoxic effect in soybean. No association resulted in significant phytotoxicity for the crop and indicated productivity increase when compared to the witness. The second experiment was done at laboratory in experimental delineation of casualied blocks with four repetitions, where the experimental unities were constituted by glass pans with dimensions of 9x9 inches, in which were positioned the wheats straw. It was adopted the factorial scheme of 4x3x2, where 4 is the periods of waiting between the treatments application and rainfall simulation (0, 4, 7 and 10 days), 3, the precipitation volumes (10, 20 e 30mm), and 2, the applied herbicides (s-metaloshlor and s-metalochlor + fomesafen). The treatments application and rainfall simulations were done through spray chamber. Immediatly after the herbicides application, the recipients were washed for the non-intercepted herbicide uantification. All non-intercepted samples were taken to analysis by high performance liuid cromatography (HPLC) and uantified. For the herbicide s-metalochlor, independently is isolated or associated to fomesafen, after the rainfall simularions, for the three volumes (10, 20 and 30mm), it was noticed significant different only in the interval of 0 days between the application and rainfall simulation, and, independently of the product, the highest concentrations were noticed at 0 days, while at 4 and 7 days the difference was less expressive, and, at 10 days it was presented the lower herbicide concentration. The maximum recuperation of fomesafen was at 0 days after the application with gradative decrease at 4, 7, and 10 days of interval. The s-metalochlor is influenced by the waiting period between the application and rainfall simulation, with its maximum recuperation at 0 days after the application and expressive decrease in longer periods of waiting. The rainfall increase was not significant for the higher herbicide recuperation. However, for fomesafen, it was not possible to stablish a positive correlation with the simulated rainfall uantities, but it was possible, with the periods of waiting, where, the longer the interval for rainfall simulation, the lower the herbicide recuperation. Therefore, the combination of pre-emergent herbicides has proven to be a viable and effective alternative in weed management, highlighting the importance of residue, rainfall volume, and interval in herbicide positioning.

Key – Words: Synergism; Straw; HPLC;

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil se destaca na produção mundial e exportação de soja. À vista disso, segundo o 8º levantamento da safra 2020/2021 realizado pela Conab (2021), o país irá superar os patamares alcançados nos anos passados e baterá um novo recorde de produção de soja com uma previsão de 135,4 milhões de toneladas em 38,50 milhões de hectares. Para o estabelecimento desses níveis de produção foi necessário o incremento de novas tecnologias no sistema produtivo (Carvalho *et al.*, 2022), dentre eles podemos citar o controle de plantas daninhas e o plantio direto na palha.

A infestação de plantas daninhas em lavouras de soja pode ocasionar em redução de produtividade superior a 80% (Silva *et al.*, 2008). Desse modo, o controle químico entra como um dos principais métodos de controle adotados, visto que, o mesmo é economicamente acessível, por reduzir a mão de obra e por permitir aplicações com rapidez (Gazziero, *et al.*, 2020). Entretanto, nessa forma de manejo há uma preocupação crescente acerca da resistência de plantas daninhas a herbicidas, ocasionando em um grande impacto econômico (Heap, 2021). À vista disso, uma das alternativas para conter o avanço de biótipos resistentes é a rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação (Gazziero *et. al.*, 2016).

Dentre as opções de rotação de herbicidas e controle de plantas daninhas temos a utilização de herbicidas pré-emergentes, os quais, são aplicados antes da emergência das plantas daninhas e das culturas. Entre os grandes benefícios da utilização desta modalidade de herbicidas está a redução de competição entre plantas daninhas e a cultura da soja durante o período crítico de infestação (PCPI) (Sanchotene *et al.*, 2017). Entretanto, nesse tipo de controle deve se atentar a seletividade dos herbicidas a cultura, visto que, caso a cultura não apresente tolerância ao herbicida aplicado, esta, poderá manifestar sintomas fitotóxicos e conseqüentemente, perda na produtividade. (Soares, 2018; De Oliveira Jr. e Inoue, 2011).

Em paralelo com o controle de plantas daninhas, vem se consolidando o plantio direto da soja sobre a palha em todas as regiões do Brasil, preconizando-se a cobertura do solo contínua com rotação de culturas e não revolvimento do mesmo (Cruz *et al.*, 2021; Henz e Rosa, 2017). Na região Centro Oeste é comum a implantação de milho 2ª safra antes da cultura da soja e em muitos casos com o emprego de uma forrageira em consórcio, um dos mais bem sucedidos sistemas de integração com o milho é a *Brachiaria spp.* (Castaldo *et al.*, 2015). Neste sistema, após a colheita da cultura principal, permanece sobre o solo a palha residual do milho e a braquiária, com um valor médio de 3 toneladas por hectare de massa sobre o solo no pré-plantio da cultura da soja (Barros, 2021).

Neste contexto, é importante compreender a dinâmica das moléculas até atingirem o solo. Como mencionado por Da Silva *et al.* (2020a), quando os herbicidas pré emergentes são posicionados sobre palhada é necessária uma transposição para a solução do solo, ou seja, existe uma barreira física para este posicionamento. Assim, é de suma importância que os herbicidas pré emergentes tenham algumas características físico-químicas que colaborem para diminuição de suas perdas, como por exemplo, o baixo coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}), (cuja característica pode ser representada pelo $\log K_{ow}$ devido aos altos valores) a alta solubilidade em água (S) e a baixa pressão de vapor (P), os quais, são essenciais para possibilitar o transporte das moléculas da palha para solução do solo (Matos *et al.*, 2016). Atrelado a isso, as precipitações de pelo menos 20 mm de chuvas são fundamentais para que ocorra esse processo de passagem da barreira física gerada pela palha (Maciel & Vellini, 2005), entretanto se ocorrerem períodos prolongados sem precipitações ou volumes inferiores a 20 mm associados a massas de palha de milho ou milho + braquiária acima de 5 toneladas por hectare, as moléculas pré emergentes podem ficar adsorvidas com risco de não ocorrer a reversibilidade deste processo e dessorção da matéria seca, reduzindo assim a eficácia de controle (Da Silva *et al.*, 2020b).

Herbicidas de alta lipofilicidade (alto K_{ow}) e baixa solubilidade, tem maior adsorção à palha, ou seja, necessitam de altos volumes de precipitações próximos a sua aplicação, para que assim, ocorra seu transporte até o solo (Da Silva *et al.*, 2020a; Clark *et al.*, 2019). Diante desse cenário, a associação de herbicidas residuais com diferentes características físico-químicas, podem melhorar a dinâmica sobre a palha, como evidenciado nos trabalhos de Barros *et al.*, (2021), Grigolli e Grigolli (2019), Coradin *et al.*, (2019) e Takano *et al.*, (2018), nos quais, foram observadas melhores performances das associações frente aos herbicidas isolados.

Além disso, é possível proporcionar aumento de eficácia, aumentando o espectro de controle com misturas de herbicidas com efeito em monocotiledôneas e/ou dicotiledôneas e/ou complementares, como citado nos trabalhos de Da Silva *et al.*, (2021), Gazola *et al.*, (2021) e Sanchonete *et al.*, (2017). Além disso, o uso destas associações permite a aplicação simultânea de diferentes mecanismos de ação, estratégia fundamental para prevenção da evolução de espécies resistentes a herbicidas e controle da emergência de diversas plantas daninhas (Gazola *et al.*, 2021).

Desta forma, em meio a grande preocupação e intensificação de problemas relacionados ao controle de plantas daninhas, o presente trabalho sugere ampliar os dados sobre associações de herbicidas residuais. Sendo assim, tem-se como principal hipótese deste projeto o aumento da eficácia e espectro sobre banco de sementes de plantas daninhas de difícil controle

a nível de campo, em pré-plantio de soja com misturas duplas e triplas de herbicidas residuais, e em paralelo tem-se o objetivo de observar o comportamento destas associações em ambientes com palha de milho + braquiária submetidos a diferentes regimes hídricos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL

A competição de plantas daninhas com a cultura da soja pode culminar em matocompetição por água, luz, nutrientes e espaço, resultando em perdas de produção de até 80% (Braz, *et al.*, 2021). Além da perda da produtividade, outro fator agravante para os sojicultores é o alto custo das lavouras imposto pelo uso de herbicidas e novas tecnologias para controlar plantas daninhas resistentes, cujos valores, atrelados às perdas por matocompetição podem chegar a 2,7 bilhões de dólares por ano (Adegas *et al.*, 2017). Dentre as principais plantas daninhas, podemos citar: *Conyza spp.* (buva) (Agostinetto *et al.*, 2018); *Digitaria insularis L.* (capim amargoso) (Gazziero *et al.*, 2019); *Euphorbia heterophylla L.* (leiteiro ou amendoim bravo) (Fortes *et al.*, 2017) e *Amaranthus spp.* (caruru) (Dellaferrera *et al.*, 2018).

O principal método de controle dessas plantas daninhas na cultura da soja se dá através do controle químico, que, consiste na utilização de herbicidas que podem ser seletivos ou não à cultura da soja (Rossi *et al.*, 2018). A ampla adoção do controle químico se dá por fatores como disponibilidade no mercado a preços acessíveis, menor dependência de mão de obra, eficiência mesmo em época chuvosa, possibilidade de controle mesmo em altas densidades, controle de plantas daninhas na linha da cultura sem prejudicar o sistema radicular, possibilidade de adoção de sistemas conservacionistas, como o cultivo mínimo e o sistema de semeadura direta, possibilidade de controle de plantas daninhas de reprodução vegetativa, permitir a semeadura a lanço e a redução no espaçamento nas entrelinhas (Constantin *et al.* 2013). Na aplicação de herbicidas, é essencial o conhecimento acerca da seletividade na cultura que trabalharemos, sendo assim quanto menor for o efeito tóxico na cultura semeada e maior efeito de controle no banco de sementes, mais seletivo será o herbicida (Correia *et al.*, 2017).

Dentre os produtos pré-emergentes seletivos na cultura da soja está a flumioxazina, que tem como mecanismo de ação a inibição da enzima PPO, possui solubilidade em água de 1,79 mg L⁻¹ (25°C), pKa (que se refere ao pH no qual 50% das moléculas estão associadas) igual a zero, o que o caracteriza como não ionizável e um log K_{ow} de 2,55 (20 °C) (Rodrigues e Almeida; 2018). Como associação já comercial com a flumioxazina, temos: flumioxazina + imazetapir. O Imazetapir, tem como mecanismo de ação a inibição da ALS, possui alta

solubilidade em água de 1400 mg L⁻¹ (25°C), pKa de 3,9 e log K_{ow} de 1,49 (pH 7) (Agrofit, 2021).

Outro herbicida que pode ser posicionado na cultura da soja é o sulfentrazone, que apresenta média solubilidade em água de 110 mg L⁻¹ (pH 6,0), pKa 6,56 e log K_{ow} de 0,99 (pH 7,0). Ele apresenta como mecanismo de ação a inibição da PPO. Temos a associação comercial com o sulfentrazone e diuron (fotossistema II), que possui solubilidade em água de 42 mg L⁻¹ (25°C), pKa de valor zero (não ionizável) e um log K_{ow} de 2,68 (Agrofit, 2021).

O diclosulan é outra opção de herbicida pré emergente, que apresenta como mecanismo de ação a inibição da ALS, possui alta solubilidade em água de 117 mg L⁻¹ (20°C), pKa de 4,09 (20°C) e log K_{ow} de 0,047 (pH 7) (Agrofit, 2021). Outra opção é o s-metalocloro, que possui baixa solubilidade em água com 488 mg L⁻¹ (20°C), pKa zero (não ionizável) e log K_{ow} de 3, 13 (25°C). Esse herbicida se comporta como um inibidor da divisão celular, sendo seletivo para a cultura da soja e um herbicida pré-emergente e de contato. Apresenta amplo espectro de controle controlando eudicotiledôneas e monocotiledôneas. (Rodrigues e Almeida, 2018).

A interação dos herbicidas com a palha depende de vários fatores, como, quantidade e características da espécie usada como cobertura (Da Silva *et al.*, 2020b), sendo a retenção e/ou interceptação de herbicidas em palha dependente de suas características físico-químicas, como condições climáticas, além do período em que a área terá sem pluviosidade, seja ela via chuva ou irrigação após a aplicação (Barros *et al.*, 2021). Associado a isso, herbicidas com baixa solubilidade e alto log K_{ow} tem maiores chances de ficarem retidos nas palhas residuais das culturas, permanecendo fortemente adsorvidos às células das estruturas (Matos *et al.* 2016).

A interação destas características atreladas à quantidade de palha na superfície do solo afeta diretamente a mobilidade, dinâmica e eficácia dos herbicidas utilizados (Silva e Monquero, 2013). Dessa forma, a associação de herbicidas pré-emergentes pode resultar em melhores resultados no sistema produtivo, pois, a associação de produtos com diferentes características físico-químicas pode resultar em melhores resultados de transposição e transporte da palha até o solo, culminando em maiores porcentagens de controle de plantas daninhas e aumento do espectro de controle, possibilitando assim, o controle de espécie monocotilédones e eudicotiledôneas através do posicionamento de um único produto (Barros *et al.* 2021; Grigolli e Grigolli, 2019; Coradin *et al.*, 2019; e Takano *et al.*, 2018).

Produtos pré-emergentes lançados no mercado da soja em associações comerciais de herbicidas com características físico-químicas distintas tem provado efeito sinérgico como demonstrado em trabalhos como os de Borges *et al.*, (2023), Presoto *et al.*, (2022). A exemplo

da associação de flumioxazina + imazetapir, na qual, a baixa solubilidade da flumioxazina (1,79 mg. L⁻¹) é compensada pela alta solubilidade do imazetapir (1400 mg. L⁻¹), e da associação de sulfentrazone + diuron, que também mostra uma compensação da baixa solubilidade do diuron (42 mg. L⁻¹) com a moderada solubilidade da sulfentrazone (110 mg. L⁻¹) (Rodrigues e Almeida, 2018).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (TÓPICOS)

3.1 PLANTAS DANINHAS E SEU POTENCIAL DE DANO NA CULTURA DA SOJA

Água, luz, nutrientes e espaço são recursos ambientais fundamentais para que as plantas cultivadas se desenvolvam sem perdas de potencial produtivo, visto que a matocompetição pode ocasionar perdas superiores a 80% na produção da cultura da soja (Silva *et al.*, 2008). Dentre as plantas daninhas, destaca-se o gênero *Conyza spp.* (buva), que são plantas de ciclo anual, porte herbáceo, com caule pouco ramificado e muito folioso, folhas não dentadas e prolífera, dependendo das espécies podem produzir um valor superior a 120 mil sementes por planta com baixa ou nenhuma dormência (Lorenzi *et al.*, 2014). Esta espécie de planta daninha, se não controlada, pode atingir 80% de prejuízo nas lavouras de soja com grande potencial de inviabilização de colheita (Agostinetti *et al.*, 2018).

A Digitaria insularis L. (capim amargoso) é uma planta perene e ereta que pode atingir até 1 metro de altura formando touceiras quando se tornam adultas. Sua reprodução se dá por via sexual com produção de sementes e assexuada com formação de rizomas curtos (Lorenzi *et al.*, 2014). Esta planta daninha possui grande potencial de dano econômico nas lavouras de soja, sendo que, seis plantas por metro quadrado podem causar perdas de produtividade de 600 a 1.300 kg por hectare (Gazziero *et al.*, 2019). Além disso, o Brasil já possui biótipos resistentes ao herbicida glifosato (inibidor de EPSPS) e alguns resistentes aos gramínicos do grupo “fop” e ao herbicida pinoxaden (Heap, 2021).

Outra espécie alvo de discussão é a *Euphorbia heterophylla L.* (leiteiro ou amendoim bravo), que é uma planta nativa das regiões tropicais e subtropicais das Américas. Sua grande preocupação está relacionada às características biológicas, como: ciclo curto, possibilidade de ocorrência de duas a três gerações em um ano e sua grande produção de sementes (Lorenzi *et al.*, 2014). A convivência do leiteiro com a cultura da soja pode interferir diretamente no crescimento da cultura, afetando em questões como o tamanho das plantas e números de folíolos

(Vargas *et al.*, 2013). Essa planta foi uma das primeiras no Brasil a se tornar resistente aos herbicidas ALS, e agora se torna mais uma vez importante ao ser constatado a resistência ao glifosato (Adegas, 2020).

Amaranthus spp. (caruru) é uma planta anual, ereta, muito ramificada, originária da América tropical e que se propaga principalmente por sementes, sendo uma das plantas com maior capacidade de produção de sementes com cerca de 600 mil por planta (Lorenzi *et al.*, 2014). O impacto da falta de controle da espécie *A. palmeri*, seja pela falta de manejo ou pela resistência a herbicidas, pode ser devastador, chegando a quedas de produtividade de até 79% na cultura da soja (Ward *et al.*, 2013). Uma problemática a cenário nacional é o fato de que já foram relatados biótipos de *A. hybridus* com resistência a herbicidas inibidores da EPSPs, ALS, PPO, FII e auxinas (Heap, 2021), sendo que já foi relatada a resistência múltipla aos herbicidas glifosato, 2,4-D e dicamba na Argentina (Dellaferrera *et al.* 2018).

3.2 ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS NA CULTURA DA SOJA

Devido ao grande potencial de prejuízo que as culturas podem sofrer com a falta de controle de plantas daninhas, além do uso repetitivo de diversas tecnologias resultando em resistência, criou-se o conceito de Manejo Integrado de Plantas Daninhas. Este conceito, abrange métodos preventivos e de erradicação, medidas culturais, métodos mecânicos e físicos e métodos biológicos e químicos (Barroso e Murata, 2021).

Dentre esses métodos, podemos citar três de suma importância e relevância para cultura da soja. O primeiro é o controle mecânico, que muito utilizado no passado no sistema convencional de plantio consiste no arranquio e capina manual, roçada e cultivo mecanizado (Oliveira e Brighenti, 2018). O cultivo mecanizado (grade, arado, entre outros), que quebra a relação entre raiz e solo, suspende a absorção de água e expõe a raiz a condições ambientais desfavoráveis (Silva *et al.*, 2007a), porém, isto implica na quebra do sistema de plantio direto na palha.

Desta forma, um dos métodos mais abordados e que vem se consolidando ao longo dos anos é o cultural com uso de coberturas verdes e manejo de palhada no solo, que, quando inseridos com sucesso mantem o solo coberto, recicla nutrientes, aumenta matéria orgânica e melhora as condições físico-químicas e biológicas do solo (Albrecht *et al.*, 2018). O método cultural pode se dar pela seleção de genótipos de soja que possuam ciclos precoces, possibilitando assim, o fechamento de entrelinhas mais rápido, e assim, causando

sombreamento e dificuldade de emergência às plantas daninhas (Zanon *et al.*, 2015). Outra estratégia cultural é o arranjo espacial, que se baseia na utilização de espaçamento e densidade populacional, sendo ligado à ideia de sombreamento natural e concessão de maior competitividade para a cultura (Pellizzaro *et al.*, 2019).

Em terceiro, o controle químico de plantas daninhas. Muito interligado com o manejo cultural, este consiste na utilização de herbicidas que podem ser seletivos ou não à cultura (Deuber, 1992). Dentre as modalidades na qual os herbicidas podem ser empregados, existe a possibilidade de aplicação no manejo antes do plantio, em pré-plantio incorporado (PPI), em pré emergência (pré) da cultura e das plantas daninhas e em pós emergência (pós) da cultura e das plantas daninhas (Rossi *et al.*, 2018).

3.3 HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES E SUA DINÂMICA NA PALHA

Entre as modalidades de aplicação de herbicidas estão os pré emergentes, os quais, são aplicados antes da emergência das plantas daninhas e da cultura. Entre os benefícios da utilização desta modalidade de herbicidas está a redução de competição entre plantas daninhas e a cultura da soja durante o período crítico de infestação (PCPI), garantindo assim, o desenvolvimento de estande inicial e melhor aproveitamento de luz, água e nutrientes pela planta de soja (De Andrade, 2019; Patel, 2018; Sanchotene *et al.*, 2017). A partir do momento de opção por esta modalidade, é necessário o pleno entendimento sobre os produtos aplicados e sua seletividade à cultura semeada (Santos *et al.*, 2018; Soares, 2018). A seletividade está ligada à diferença de tolerância das plantas daninhas e da cultura a um mesmo tratamento específico, sendo que, a maior segurança de aplicação é obtida quando há o controle eficaz da planta daninha e a ausência de danos ao desenvolvimento da cultura (De Oliveira Jr. e Iroue, 2011).

No controle cultural a palhada afeta diretamente na dinâmica de ocorrência de plantas daninhas. Porém, o uso de palha sobre o solo também tem efeito direto na dinâmica de herbicidas pré-emergentes, sendo que estes, podem sofrer interceptação, retenção e degradação quando depositados sobre a palha e passarem por períodos extensos sem chuva, a qual, apresenta a capacidade de levar o produto à solução do solo, onde irá atuar no controle das plantas daninhas (Matos *et al.*, 2016). A interação dos herbicidas com a palha depende de vários fatores como característica química da espécie usada como cobertura (Gaston *et al.*, 2001), capacidade de cobertura do solo e retenção de herbicidas, características físico-químicas dos herbicidas como polaridade e condições climáticas e do período em que a área permanecerá

sem pluviosidade, seja esta, via chuva ou irrigação após a aplicação (Rodrigues *et al.*, 1993; Maciel e Velini, 2005; Simoni *et al.*, 2006).

A retenção de um herbicida à palhada está diretamente correlacionada ao seu $\log K_{ow}$ e possui relação inversamente proporcional com o mesmo. Portanto, a presença de lignina na palha (como no caso do trigo) é a responsável pela capacidade de sorção de herbicidas como metribuzin e s-ethyl-metribuzin, visto que, a capacidade de sorção tem aumento quando observado a decomposição da palha associada à diminuição da celulose e aumento de lignina no resíduo de trigo, fazendo com que herbicidas de baixa solubilidade e alto $\log K_{ow}$ permaneçam fortemente adsorvidos às células das estruturas (Dao, 1990; Matos *et al.*, 2016).

Nesse contexto, depreende-se que quanto maior o $\log K_{ow}$ do herbicida, maior será a afinidade deste ao octanol e maior a lipofilicidade do mesmo. Os valores de $\log K_{ow}$ normalmente apresentam correlação inversa com a solubilidade em água e persistência do produto no ambiente, ou seja, quanto maior o $\log K_{ow}$, maior a sorção e maior a persistência do herbicida. Desta forma, quanto mais solúvel em água o produto for, menor será sua tendência de sofrer retenção na palhada e menor será sua persistência no ambiente (Oliveira & Brighenti, 2011). De forma inversa, quanto menor for o $\log K_{ow}$ do produto maior poderá ser sua lixiviação e translocação da palhada para o solo, contribuindo para que ocorra menor perda do herbicida até o destino final na solução do solo (Cristoffoleti & Ovejero, 2009).

Uma vez que os herbicidas são depositados sobre a palha, chuvas e/ou irrigações são fundamentais para levarem esses produtos para solução do solo. No entanto, o transporte depende do período entre a aplicação dos herbicidas e a primeira chuva, bem como sua intensidade e volume (Matos *et al.*, 2016). Assim, a solubilidade, bem como o $\log K_{ow}$, são características fundamentais para o movimento dos produtos depositados sobre a palha (Silva & Monquero, 2013). Cristoffoleti & Ovejero (2009) mostram que a solubilidade é importante para dinâmica dos herbicidas aplicados sobre a palha de cana de açúcar, e este fator, pode nos indicar a quantidade de herbicida que será disponibilizado na solução do solo e a influência que a característica gera na mobilidade dos herbicidas pela palha.

Outra característica importante para a dinâmica dos herbicidas na palha é a pressão de vapor (P), que representa a pressão exercida por um vapor em equilíbrio com um líquido a uma determinada temperatura. Em outras palavras, essa característica indica o grau de volatilização do herbicida e sua tendência de se perder para atmosfera na forma de gás (Silva & Monquero, 2013). Desta forma, é recomendável evitar a aplicação de herbicidas com alto potencial de volatilização sobre palha com o objetivo de atingir a solução do solo, pois quando aplicado sobre palha, eles são em um primeiro momento interceptados pela superfície da palhada ficando

vulneráveis à volatilização e/ou fotólise até serem transportados ao solo (Locke e Bryson, 1997).

É importante observar o efeito da matéria orgânica e da atividade biológica oriundas da palha de dissiparem e degradarem as moléculas. Tal fato foi observado por Lavorenti *et al.*, (2003) que notou que o herbicida diclosulan apresentou dissipação no solo de 73% no plantio direto sobre a palha e 62% em um sistema de plantio convencional após 119 dias da aplicação. Resultados semelhantes a esse efeito foram observados em Macedo *et al.*, (2020) quando manejado o sulfentrazone sobre sistemas com e sem palhada.

Por fim, a interação dessas características atreladas à quantidade de palha na superfície do solo afeta diretamente a mobilidade, dinâmica e eficácia dos herbicidas utilizados (Silva e Monquero, 2013).

3.4 INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA DINÂMICA DE PRÉ-EMERGENTES

A aplicação de diclosulan (25,2 g i.a.ha⁻¹) sobre palha de sorgo seguida de 30 mm de chuva foi efetivo para o herbicida perdurar por um período superior a 35 dias, sendo efetivo no controle de *Ipomoea grandifolia* e *Sida rhombifolia*. Foi notado ainda, que não houve o mesmo resultado quando o herbicida foi aplicado sobre condições sem a sequência de chuva (Carbonari *et al.*, 2008). Quando a sulfentrazone foi aplicado sobre a palha, seguido de 20 mm de chuva, este, apresentou um transporte eficiente da palha até a solução do solo, e mesmo após 90 dias da aplicação, ainda apresentou bons níveis de eficácia sobre plantas daninhas (Correia *et al.*, 2013).

Corroborando com tais cenários, quando aplicados a associação entre os herbicidas clomazone + hexazinone e o herbicida flumioxazina sobre palha e expostos a 60 dias sem chuva seguido de uma simulação de 20 mm, houve uma tendência de queda no controle de plantas daninhas, cujo fato, é justificado pelos autores devido à degradação dos herbicidas quando expostos a longos períodos sem chuva (Carbonari *et al.*, 2010a; Carbonari *et al.*, 2009).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEGAS FS, VARGAS L, GAZZIERO DLP & KARAM D. **Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil**. Londrina, Embrapa Soja. 11p. (Circular, 132). 2017.

ADEGAS, F. S., GAZZIERO, D. L. P., OLIVEIRA JR, R. S. DE., MENDES, R. R., RODRIGUES, L. J. Euphorbia heterophylla: um novo caso de resistência ao glifosato no Brasil. Comunicado Técnico 98. Embrapa Soja, Londrina, PR, mar. 2020.

AGOSTINETTO, D.; SILVA, D. R. O. e VARGAS, L. Perda de rendimento da soja e nível de dano econômico pela interferência de buva resistente ao glifosato. *Arq. Inst. Biol.* Online. vol.84, e0022017. Epub Feb 01, 2018.

AGROFIT - **Sistema De Agrotóxicos Fitossanitários**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons acesso: 25/06/2021.

ALBRECHT, A.J.P., BARROSO, A.A.M., PELLIZZARO, E.C.; THOMAZINI, G.; LORENZETTI, J.B.; ALBRECHT, L.A.; DANILUSSI, M.T.Y. Buva resistente a Paraquat: situação atual e perspectivas. *Revista Plantio Direto*, v. 166, 2018.

DE ANDRADE, D. N. D. Alternativas herbicidas para o controle em pré-emergência de capim amargoso. 2019.

BARROS, D. M.; SILVA, P. V.; MEURER, H. L.; MEURER, L. S. S.; DOMINGOS, E. R.; DIAS, R. C.; INÁCIO, E. M.; MONQUERO, P. A. Regime de irrigação e palha influenciam na eficácia de herbicidas pré-emergentes no controle de capim-amargoso? *Nativa*, Sinop v. 9, n. 2, p. 194-201, mar./abr. 2021.

BARROSO, A. A. M., MURATA, A. T. Matologia. Estudos Sobre Plantas Daninhas. Jaboticabal, São Paulo: Fábrica da Palavra. 2021.

BORGES, J. D., BARROSO, A. L., & VENTURA, M. V. A. Performance dos herbicidas em pré-emergência da soja visando ao controle do espectro de plantas daninhas. *Research, Society and Development*, 12(12), e87121243969-e87121243969, 2023.

BRAZ, G. B. P.; CRUVINEL, A. G.; CANEPPELE, A. B.; TAKANO, H. K.; DA SILVA, A. G.; DE OLIVEIRA JR, R. S. Interferência do capim-amargoso na cultura da soja no cerrado brasileiro. *Revista Caatinga*. Online, v. 34, n. 2, pp. 350-358. 2021.

CARBONARI, C. A., MESCHEDE, D. K., CORREA, M. R., VELINI, E. D., & TOFOLI, G. R. Eficácia do herbicida diclosulam em associação com a palha de sorgo no controle de Ipomoea grandifolia e Sida rhombifolia. *Planta Daninha*, 26, 657-664. 2008.

CARBONARI, C. A., GOMES, G. L. G. C., & VELINI, E. D. Efeitos de períodos de permanência do flumioxazin no solo e na palha de milho e aveia na eficácia de controle de plantas daninhas. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 8(3), 85-95. 2009.

CARBONARI, C. A., VELINI, E. D., CORREA, M. R., NEGRISOLI, E., ROSSI, C. V., & OLIVEIRA, C. P. Efeitos de períodos de permanência de clomazone+ hexazinona no solo e na palha de cana-de-açúcar antes da ocorrência de chuvas na eficácia de controle de plantas daninhas. *Planta daninha*, 28, 197-205. 2010.

CARVALHO, S. J. P., MAGALHAES, T. B., OVEJERO, R. F. L., PALHANO, M. G. Fitotoxicidade de subdoses do herbicida dicamba quando aplicado em pré-emergência da cultura da soja não-tolerante. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.21, p.85-92, 2022. <https://doi.org/10.5965/223811712122022085>.

CASTALDO, J.H.; NOLLA, A.; MOTA NETO, L.V.; CARINEIRO, A.R.; ROSSA, A.P. Milho e Brachiaria consorciados no sistema integração lavoura pecuária. *Journal of Agronomic Sciences*, Umuarama, v.4, n.e, p.375-388, 2015.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; OVEJERO, R. F. L. Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. Piracicaba, v. 2, p. 72, 2009.

CLARK, S. L., DA SILVA, P. V., DAYAN, F. E., NISSEN, S. J., SEBASTIAN, D. J. The influence of winter annual grass litter on herbicide availability. *Weed Science*, v. 67, n. 6, p. 702-709, 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Grãos. Safra 2020/21. 2318-6852, mai. 2021.

CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JR, R. S.; OLIVEIRA, N. BUVA: *Fundamentos e Recomendações para Manejo*. Curitiba: Editora Omnipax, 2013.

CORADIN, J., BRAZ, G. B. P., MACHADO, F. G.; SILVA, A. G.; SOUSA, J. V. A. Herbicidas aplicados em pré-emergência para o controle de milho voluntário e capim-amargoso *Revista Científica Rural*, Bagé, volume21, nº 3, ano 2019.

CORREIA, N.M; CAMILO, E.H.; SANTOS, E.A. Sulfentrazone efficiency on Ipomoea hederifolia and Ipomoea quamoclit as influenced by rain and sugarcane straw. *Planta Daninha*, Viçosa, v.31, n.1, p.165-174, jan./mar. 2013.

CORREIA, N. M.; DE CARVALHO, A. D. F. Selectivity of the herbicide linuron sprayed in pre-emergence and post-early in carrot. *Semina: Ciências Agrárias*. Online, 38(3), 1201-1207. 2017.

CRUZ, J. C., ALVARENGA, R. C., VIANA, J. H. M., FILHO, I. A. P. FILHO, M. R. A., SANTANA, D. P. Milho. Plantio Direto. Embrapa, dez. 2021.

DAO, T.H. Field decay of wheat straw and its effects on metribuzin and S-ethyl metribuzin sorption and elution from crop residues. *Journal of Environmental Quality*, v.20, n.1, p.203-208, 1990.

DELLAFERRERA, I.; CORTES, E.; PANIGO, E.; DE PRADO, R.; CHRISTOFFOLETI, P.; PERRETA, M. et al. First Report of *Amaranthus hybridus* with Multiple Resistance to 2,4-D, Dicamba, and Glyphosate. *Agronomy*, v. 8, n. 8, 140 p., 2018.

DEUBER, R. Ciência das plantas daninhas: fundamentos. Jaboticabal: FCAV – UNESP, 431 P. 1992.

FORTES, C. T.; BASSO, F. J. M.; GALON, L.; AGAZZI, L. C.; NONEMACHER, F.; CONCENÇO, G. Habilidade competitiva de cultivares de soja transgênica convivendo com plantas daninhas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. V. 12 n. 2. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco. pp.185-193. 2017.

GASTON, L. A.; BOQUET, D. J.; BOSCH, M. A. Fluometuron wash-off from cover crop residues and fate in a loessial soil. *Soil Science, Baltimore*, v. 166, n. 10, p. 681-690, 2001.

GAZOLA, T; GOMES D. M.; BELAPART, D.; DIAS, M. F.; CARBONARI, C. A.; VELINI E. D. Selectivity and residual weed control of pre-emergent herbicides in soybean crop *Revista Ceres*. Online, v. 68, n. 3, pp. 219-229. 2021.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; SILVA, A. F.; CONCENCO, G. Estimativas de Perdas de Rendimento na Soja Devido à Interferência do capim-amargoso. *Planta Daninha*, Viçosa, v.37, p. 1-10, 2019.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; MESCHEDE, D. K.; VARGAS, L.; KARAM, D.; MACIEL, C. D. de G.; GOMES, M. de M. A era glyphosate. In: MESCHEDE, D. K.; GAZZIERO, D. L. P. **A era glyphosate: agricultura, meio ambiente e homem**. Londrina: Midiograf II, p. 11-21. 2016.

GAZZIERO, D. L. P.; ADEGAS, F. S.; VOLL, E. Plantas daninhas e seu controle, capítulo 11. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (Ed.). *Tecnologias de produção de soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2020. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17). 2020.

GRIGOLLI, J, F, J.; GRIGOLLI, M. M. K. **Manejo e controle de plantas daninhas na cultura da soja**. Fundação-MS, p. 130- 146, Disponível em: <https://www.fundacaoms.org.br/base/www/fundacaoms.org.br/media/attachments/341/341/5e397acd682e852c55bdafaa3136aa5e7f8aa452d6e23_04.-manejo-e-controle-de-plantas-daninhas-na-cultura-da-soja.pdf>. 2019.

HEAP, I. **The international Survey of Herbicide Resistant Weeds**. ALS mutation data base. Disponível em: <http://caws.org.nz/old-site/awc/2008/awc200810681.pdf> Acesso em 20/05/2021.

HENZ, F.M.; ROSA, H.A. Produtividade da soja após cultivo de plantas de cobertura de inverno. *Revista Cultivando o Saber*, Cascavel, p. 204-212. 2017.

LAVORENTI, A., ROCHA, A. A., PRATA, F., REGITANO, J. B., TORNISIELO, V. L., & PINTO, O. B. Comportamento do diclosulam em amostras de um latossolo vermelho distroférrico sob plantio direto e convencional. *Revista brasileira de ciência do solo*, 27, 183-190. 2003.

LOCKE, M. A.; BRYSON, C. T. Herbicide-soil interaction in reduced tillage and plant residue management systems. *Weed Sci.*, v. 45, n. 2, p. 307-320, 1997.

LORENZI, H., NICOLAI, M., BIANCHI, M. A., INOUE, M. H., CORREIA, N. M., CHRISTOFFOLETI, P. J., VIDAL, R., VICTORIA, R. F., OLIVEIRA JR, R. S., GUIMARAES, S. C. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum. Acesso em: 13 nov. 2023, 2014.

MACEDO, G. C., CARBONARI, C. A., VELINI, E. D., GOMES, G. L. G. C., DE MATOS, A. K. A., DE CASTRO, E. B., & BURGOS, N. R. Behavior of sulfentrazone in the soil as influenced by cover crop before no-till soybean planting. *Weed Science*, 68(6), 673-680. 2020.

MACIEL, C. D. G., VELINI, E. D. Simulação do caminhamento da água da chuva e herbicidas em palhas utilizadas em sistemas de plantio direto. *Planta Daninha*, Viçosa. V. 23, p 471 – 481, 2005.

MATOS, A. K. A. de; CARBONARI, C. A.; GOMES, G. L. G. C.; VELINI, E. D. Dynamics of preemergent herbicides in production systems with straw. *Revista Brasileira de Herbicidas*, Londrina, v.15, n.1, p.97-106, jan./mar. 2016.

DE OLIVEIRA, M. F., & BRIGHENTI, A. M. Comportamento dos herbicidas no ambiente. *Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE)*, 10-138. 2011.

DE OLIVEIRA JR, R. S.; INOUE, M. H. Seletividade de Herbicidas para culturas e plantas daninhas, *Biologia e manejo de plantas daninhas*. 2011 cap. 10 p. 243-262. 2011

DE OLIVEIRA, M. F., BRIGHENTI, A. M., & DOS SANTOS, A. M. B. Controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia. 2018.

PATEL, F. *Eficiência agrônômica e persistência de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja* (Master's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná). 2018.

PELLIZZARO, E. C., ALBRECHT, L. P., KRENCHINSKI, F. H., ALBRECHT, A. J. P., & MIGLIAVACCA, R. A. Redução no espaçamento do milho em solos de baixa altitude. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(2), 492-501. 2019.

PRESOTO, J. C., NETTO, A. G., ANDRADE, J. F., MALARDO, M. R., NICOLAI, M., & CHRISTOFFOLETI, P. J. Eficácia e interação da associação de Flumioxazin e Pyroxasulfone para controle de capim-colonião (*Panicum maximum*). *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 21(4), 435-440, 2022.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 7ª ed., Londrina. 764 p. 2018.

RODRIGUES, L.R.A.; ALMEIDA, A.R.P.; RODRIGUES, T.J.D. Alelopatia em forrageiras e pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 2., 1993, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal: FUNEP/ FCAV, 1993. p.100-129.

ROSSI, C. V. S.; ZOBOLI, L. H. S.; LUCIO, F. L.; NEVES, R. Comparação entre métodos químicos de controle de buva com início de dessecação em período seco ou úmido. *Revista Brasileira de Herbicidas*. Londrina. v. 17, n. 3, p. e613 (1-9), ISSN 2236-1065. 2018.

SANCHOTENE D. M.; DORNELLES S. H. B.; BOLZAN T. M.; VOSS H. M. G.; ESCOBAR O. S.; LEON C. B.; SHIMÓIA E. P. Desempenho de diferentes herbicidas pré-emergentes para controle de *Euphorbia heterophylla* na cultura da soja. *Perspectiva*, Erechim, 41:07-15. 2017.

SANTOS, S. M. S.; GUSMÃO, M. S.; OLIVEIRA, L. S.; CARVALHO, F. D.; TEIXEIRA, E. C. et al. Controle do complexo de plantas daninhas com herbicidas pré-emergentes na cultura do algodão. *Revista Cultivando o Saber*, V. 9, n 13, p. 69-80, 2018.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. Biologia e controle de plantas daninhas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. Tópicos em manejo de plantas daninhas. Universidade Federal de Viçosa, 367 p. 2007.

SILVA A. S.; FERREIRA E. A.; CONCENÇO G.; FERREIRA F.A.; ASPIAZU I.; GALON L.; SEDIYAMA T.; SILVA A. A. Densidades de plantas daninhas e épocas de controle sobre os componentes de produção da soja. *Planta Daninha*. Viçosa, 26:65-81. 2008.

DA 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, n. 1, p. 94-103, ISSN 2236-1065. 2013.

DA SILVA, P. V., SANTOS, M. J., TRONQUINI, S. M., GIRALDELI, A. L., DIAS, R. C., INACIO, E. M., MONQUERO, P. A. Indaziflam: Leaching and control of *Urochloa plantaginea* in applications on coffee litter with different rainfall simulations. *Coffee Science*, v. 20, p. e151816, 2020a.

DA SILVA, P. V.; TRONQUINI, S. M.; BARBOSA, G. C.; DIAS, R. C.; VEIGA, J. P. S.; INÁCIO, E. M. Eficácia do herbicida flumioxazin no controle de *Euphorbia heterophylla*, na aplicação sobre diferentes tipos de palha e simulações de chuva. *Revista Ciências Agrárias*, v.43, n.3, p.324-332, 2020b.

DA SILVA, P. V.; VIANA, H. M. R.; MONQUERO, P. A.; MORAES, N. R.; PEREIRA, W. N.; MARIS, E. I.; CHRISTOFFOLETI, P. J.; DIAS, R. C. Influence of sugarcane straw on weed germination control: Weed control in sugarcane. *Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias UNCuyo*, 53(1), 220–233. 2021

SIMONI, F.; Filho, R. V.; SAN MARTIN, H. A. M.; SALVADOR, F. L.; ALVES, A. S. R.; NETO, H. B. Eficácia de imazapic e sulfentrazone sobre *Cyperus rotundus* em diferentes condições de chuva e palha de cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, Viçosa v.24, n.4, p.769-778, 2006.

SOARES, A S.; Controle de plantas daninhas em pré e pós-emergência com diferentes volumes de aplicação e concentração de calda, na cultura da cana-de-açúcar. 49 p. Dissertação (Produção vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal/SP, 2018.

TAKANO, H. K.; OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; SILVA, V. F.; MENDES, R. R. Controle Químico de capim-Pé-de-Galinha Resistente ao Glyphosate. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 36, p. 1-10, 2018.

Vargas, L., Nohatto, M. A., Agostinetto, D., Bianchi, M. A., Paula, J. M., Polidoro, E., & Toledo, R. E. (2013). Práticas de manejo e a resistência de *Euphorbia heterophylla* aos inibidores da ALS e tolerância ao glyphosate no Rio Grande do Sul. *Planta Daninha*, 31, 427-432.

WARD, S. M., WEBSTER, T. M., STECKEL, L. E. Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*): a review. *Weed Technology*, v. 27, n. 1, p. 12-27, 2013.

ZANON, A. J., WINCK, J. E. M., STRECK, N. A., ROCHA, T. S. M. D., CERA, J. C., RICHTER, G. L., & MARCHESAN, E. Desenvolvimento de cultivares de soja em função do grupo de maturação e tipo de crescimento em terras altas e terras baixas. *Bragantia*, 74, 400-411. 2015.

CAPÍTULO I - ASSOCIAÇÃO DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NO CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS E SEU IMPACTO NA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA

RESUMO

Com o aumento significativo de plantas daninhas resistentes ao glifosato e a necessidade de mitigar a convivência destas com a cultura, a aplicação de herbicidas pré-emergentes se torna uma ferramenta eficaz de manejo devido à diversificação de mecanismos de ação e controle através de efeito residual. Dessa forma, na cultura da soja, tem se observado o posicionamento da associação dessas moléculas. Assim, faz-se necessário estudos sobre sua eficácia no controle de plantas daninhas e seletividade na cultura. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia da associação de herbicidas pré-emergentes no controle de espécies de plantas daninhas e sua seletividade na cultura da soja. O experimento foi conduzido a campo no delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. As plantas daninhas analisadas foram semeadas de forma manual e as espécies-alvo foram: *Bidens pilosa* L., *Commelina benghalensis* L., *Digitaria insularis* L., *Euphorbia heterophylla* L. e *Ipomoea purpurea* L. Os tratamentos constituíram-se da aplicação de 10 tratamentos com herbicidas em pré-emergência da cultura: sulfentrazone + diuron (420 + 210 g i.a.ha⁻¹); sulfentrazone + clomazone (420 + 540 g i.a.ha⁻¹); sulfentrazone + imazetapir (420 + 106 g i.a.ha⁻¹); flumioxazina + imazetapir (50 + 106 g i.a.ha⁻¹); flumioxazina + piroxasulfona (60 + 90 g i.a.ha⁻¹); s-metalocloro + flumioxazina (1440 + 60 g i.a.ha⁻¹); s-metalocloro + diclosulan (1440 + 29 g i.a.ha⁻¹); s-metalocloro + fomesafen (1440 + 228 g i.a.ha⁻¹); s-metalocloro + metribuzin (1440 + 224 g i.a.ha⁻¹); flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro (50 + 106 + 1440 g i.a.ha⁻¹) além de duas testemunhas, uma capinada e uma sem capina. Foram realizadas avaliações de controle das espécies e fitotoxicidade na soja aos 7, 14, 21 e 28 dias após emergência da cultura (DAE). As associações de herbicidas pré emergentes se mostraram efetivas para o controle de *B. pilosa*, *C. benghalensis*, *D. insularis* e *E. heterophylla*. Para *I. purpurea* a associação tripla entre flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro se mostrou eficiente. Os tratamentos: flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro, flumioxazina + imazetapir, piroxasulfona + flumioxazina e sulfentrazone + clomazone se mostraram como as melhores opções no complexo de plantas daninhas estudado com porcentagens de controle superiores a 80% para todas as espécies e com ausência de efeitos fitotóxicos na soja. As plantas *C. benghalensis*, *B. pilosa* e *I. purpurea*, não apresentaram fluxo germinativo expressivo independentemente do tratamento, ao passo que, para *E. heterophylla*, o tratamento sulfentrazone + clomazone resultou no menor fluxo germinativo e para *D. insularis*, todos os tratamentos resultaram em fluxos próximos a 0 plantas m⁻² com exceção de sulfentrazone + imazetapir, testemunha absoluta, s-metalocloro + metribuzin e flumioxazina + imazetapir. Os tratamentos flumioxazina + imazetapir, sulfentrazone + imazetapir e s-metalocloro + flumioxazina resultaram em maior produtividade apresentando valores superiores a 3250 kg ha⁻¹. Nenhuma associação resultou em fitotoxicidade significativa para a cultura e indicaram incremento de produtividade quando comparados à testemunha.

Palavras – Chave: *Bidens pilosa* L.; *Commelina benghalensis* L.; *Digitaria insularis* L., *Euphorbia heterophylla* L.; *Ipomoea purpurea* L.

PRE-EMERGENCE HERBICIDES ASSOCIATION IN WEEDS CONTROL AND ITS IMPACT IN SOYBEAN'S CROP PRODUCTIVITY

ABSTRACT

With the increasing prevalence of glyphosate-resistant weeds and the imperative need to mitigate their presence in croplands, the use of pre-emergence herbicides can be an effective management strategy due to the diversification of herbicide mechanism of action and control through residual effects. The use of pre emergence herbicides combination has been growing in soybean cultivation in Brazil recently,. Thus, it's necessary studies about its efficiency in weed's control and selectivity in the crop. Therefore, the purpose of this research was to evaluate the efficacy of pre-emergence herbicide combination in weed control and their impact on soybean. The experiment was conducted in the field with a randomized block design and four replications. Manually sown target species included *Bidens pilosa* L., *Commelina benghalensis* L., *Digitaria insularis* L., *Euphorbia heterophylla* L., and *Ipomoea purpurea* L. Ten herbicide treatments were applied at pre-emergence, including sulfentrazone + diuron (420 + 210 g a.i. ha⁻¹); sulfentrazone + clomazone (420 + 540 g a.i. ha⁻¹); sulfentrazone + imazethapyr (420 + 106 g a.i. ha⁻¹); flumioxazin + imazethapyr (50 + 106 g a.i. ha⁻¹); flumioxazin + pyroxasulfone (60 + 90 g a.i. ha⁻¹); s-metalochlor + flumioxazin (1440 + 60 g a.i. ha⁻¹); s-metalochlor + diclosulan (1440 + 29 g a.i. ha⁻¹); s-metalochlor + fomesafen (1440 + 228 g a.i. ha⁻¹); s- metalochlor + metribuzin (1440 + 224 g a.i. ha⁻¹); flumioxazin + imazethapyr + s-metalochlor (50 + 106 + 1440 g a.i. ha⁻¹) in addition to two control groups (weeded and not weeded). Visual evaluations weed control and soybean phytotoxicity were collected at 7, 14, 21 and 28 days after crop emergence (DAE). The pre-emergence herbicide combinations had a significant efficacy in controlling *B. pilosa*, *C. benghalensis*, *D. insularis*, and *E. heterophylla*. For *I. purpurea* the triple combination of flumioxazin + imazethapyr + s-metalochlor was effective. The treatments flumioxazin + imazethapyr + s-metalochlor, flumioxazin + imazethapyr, flumioxazin + pyroxasulfone, and sulfentrazone + clomazone provided excellent weed control (above 80% for all weed species) with no phytotoxic effects on soybean. Germination of *C. benghalensis*, *B. pilosa*, and *I. purpurea* was negligible across all treatments, while *E. heterophylla* displayed reduced germination with sulfentrazone + clomazone. For *D. insularis*, all treatments resulted in minimal germination (0 plants m⁻²) except for sulfentrazone + imazethapyr, s-metalochlor + metribuzin, flumioxazin + imazethapyr, and the control. Flumioxazin + imazethapyr, sulfentrazone + imazethapyr, and s-metalochlor + flumioxazin resulted in the highest soybean yield, surpassing 3,250 kg ha⁻¹. No herbicide combination resulted in significant soybean phytotoxicity and indicated an increase in productivity when compared to the control.

Key – words: *Bidens pilosa* L.; *Commelina benghalensis* L.; *Digitaria insularis* L., *Euphorbia heterophylla* L.; *Ipomoea purpurea* L.

INTRODUÇÃO

Segundo dados da Conab (2022), a produtividade média da cultura da soja no Brasil foi de 3,5 toneladas por hectare na safra 2021-2022. Este valor encontra-se abaixo do potencial produtivo da grande maioria das cultivares do mercado, o que muito se deve, a fatores bióticos como as plantas daninhas (Koehler-Cole *et al.*, 2021). Os diferentes fluxos germinativos de plântulas indesejadas dificultam cada vez mais o controle pós emergente na cultura. Essa infestação, resulta em alta densidade de plantas daninhas em diferentes localizações de áreas agrícolas, resultado da correlação de condições climáticas favoráveis e fisiologia das espécies em relação a luz, água, dormência, oxigênio, profundidade e temperatura (Rigon *et al.*, 2020; Travlous *et al.*, 2020). Associado a esse fato, o aumento da frequência e reporte de biótipos resistentes a diferentes mecanismos de ação também representa uma barreira ao manejo eficaz de plantas daninhas, pois, restringe as opções de herbicidas disponíveis principalmente para aplicações em pós-emergência (Lucio *et al.*, 2019).

Nesse sentido, com a necessidade da diversificação e rotação de mecanismos de ação – principalmente em sistemas de grãos – a inserção de herbicidas pré-emergentes se posiciona como uma alternativa para a diversificação dos momentos de manejo e também de inserção de diferentes mecanismos de ação (Rizzardi *et al.*, 2020; Nakka *et al.*, 2019), além de, possibilitar que a cultura emerja sem a presença de plantas daninhas ou a redução da densidade e infestação no momento de produção, culminando em maior habilidade competitiva para a cultura e reduzindo portanto, a necessidade e/ou quantidade de aplicações de herbicidas pós-emergentes (Lopez-Overejo *et al.*, 2013, Rizzardi *et al.*, 2020).

A rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação é um manejo fundamental que proporciona benefícios como maior espectro de controle, redução do banco de sementes e mitigação de possíveis surgimentos de biótipos resistentes de plantas daninhas a herbicidas (Gazola *et al.*, 2021; Opeña *et al.*, 2014; Forte e Westwood *et al.*, 2018). Entretanto, ainda que herbicidas pré-emergentes apresentem efeito residual que permite o desenvolvimento inicial da cultura sem a interferência de plantas daninhas e a consequente melhor eficácia de herbicidas na pós-emergência (Rizzardi *et al.*, 2020), a sua aplicação deve ser realizada de forma cautelosa, uma vez que, seu residual pode vir a ocasionar em efeitos fitotóxicos à cultura plantada, que por sua vez, pode ser variável de acordo com características físico-químicas do solo, dose utilizada e condições climáticas no período de aplicação (Santin *et al.*, 2019; Rizzardi *et al.*, 2020).

Nesse contexto, a aplicação de herbicidas pré-emergentes demanda conhecimento prévio acerca de seu comportamento no solo e disponibilidade de seu efeito residual, visto que sem tais informações, a sua aplicação pode se tornar problemática por ocasionar danos à cultura plantada, resultando assim, em prejuízos como perdas de produtividade e consequentes perdas econômicas (Priya *et al.*, 2017; Mendes *et al.*, 2019).

Dado o cenário, visando a ampliação acerca dos conhecimentos sobre interações oriundas da associação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação e características físico-químicas, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a performance e espectro de controle de plantas daninhas através de aplicações duplas e triplas de herbicidas pré-emergentes e possíveis efeitos fitotóxicos na cultura da soja oriundos de sua aplicação.

1. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi realizado a campo na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias (FAECA) da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, localizado no município de Dourados no estado do Mato Grosso do Sul, tendo-se as seguintes coordenadas geográficas: 21° 57' de latitude sul e 46° 51' de longitude oeste. A região da Grande Dourados, segundo a classificação climática de Koppen, apresenta o clima tropical, do tipo Am, com pluviosidade média anual de 1428 mm e temperatura média anual de 22,7 °C (Fietz *et al.*, 2017).

Na Figura 1 são apresentadas as séries históricas diárias das chuvas acumuladas e das temperaturas máxima e mínima no município de Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil, considerando o período de 01 de outubro de 2021 a 31 de março de 2022. Os dados foram coletados na estação pluviométrica da Embrapa-UFGD (EMBRAPA, 2023).

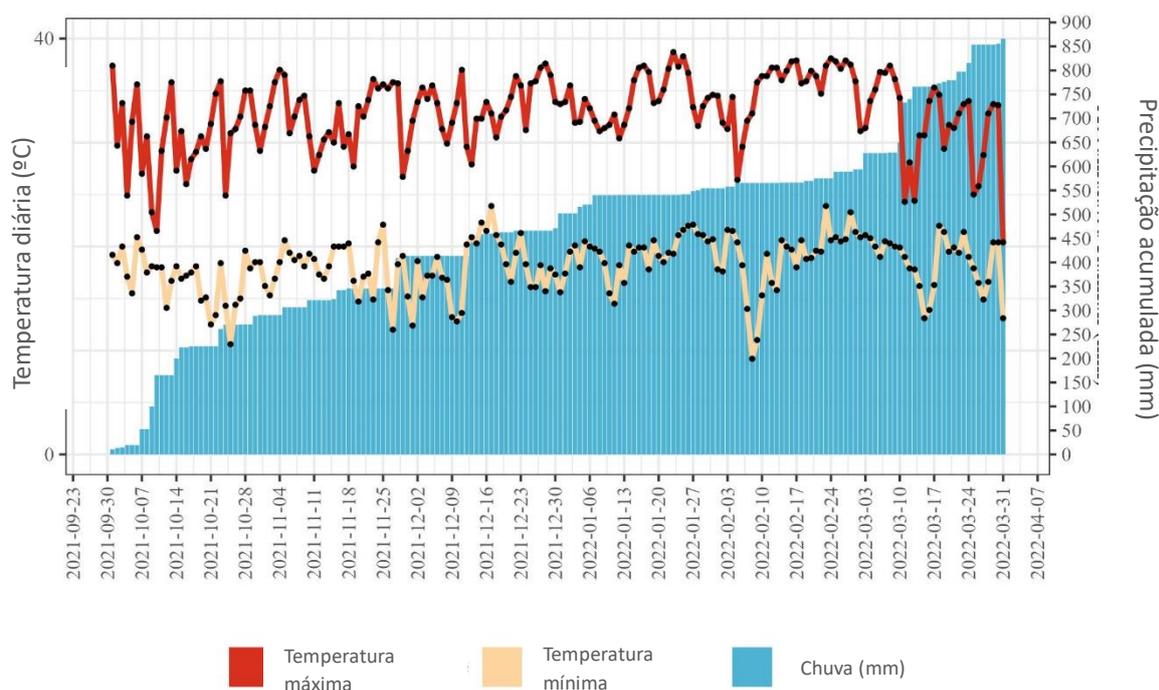


Figura 1. Série histórica diária das chuvas acumuladas e das temperaturas mínima e máxima no município de Dourados - Mato Grosso do Sul, Brasil, para o período de 01 de outubro de 2021 a 31 de março de 2022.

No momento da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm, classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (Santos *et al.*, 2018), de textura argilosa cujas propriedades físico-químicas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química e física do solo realizada no local do experimento.

Análise química e física do solo									
Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	Al	K	P	V	pH
				cmol/dm ³				%	SMP
4,56	2,08	7,08		13,82	0,12	18	40,73	48,8	5,77
pH CaCl₂				P	K	Al	H+Al		
5,08				0,303	18	0,1	1,96		

Fonte: Laboratório TECSOLO.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas de parcelas de 3x6 metros, sendo a área total de cada parcela igual a 18 m² com 5 linhas de soja na área útil de 12 m². A cultivar de soja escolhida foi a Monsoy 6410, a qual foi determinada pela representatividade da região. Esta, apresenta um grau de maturação de 6.4, com ciclo indeterminado, porte médio e índice alto de ramificação.

Da mesma forma, as espécies de plantas daninhas foram escolhidas pela importância na região correlacionando a frequência de germinação e a dificuldade de controle. Desta forma, selecionou-se as seguintes espécies de plantas daninhas: *Bidens pilosa* L., *Digitaria insularis* L., *Commelina benghalensis* L., *Digitaria insularis* L., *Euphorbia heterophylla* L. e *Ipomoea purpurea* L. Os tratamentos determinados para realizar o experimento foram baseados nas associações comerciais de diferentes herbicidas pré emergentes conforme descrito na tabela 2.

Tabela 2. Tratamentos de herbicidas pré emergentes e suas associações, bem como os tratamentos com testemunhas sem herbicidas (capinada e absoluta).

Tratamentos	Herbicidas ¹ Ativos	Herbicidas ² Nome comercial	Dose I.A. (g i.a ha ⁻¹)	Dose Comercial (L/Kg.ha ⁻¹)
T1	Testemunha Absoluta	-	-	-
T2	Testemunha Capinada	-	-	-
T3	sulfentrazone + diuron	Stone	210 + 420	1,2
T4	sulfentrazone + clomazone	Boral + Reator	600 + 540	1,2 + 1,5
T5	sulfentrazone + imazetapir	Allus	360 + 96	1,2
T6	flumioxazina + imazetapir	Zethamaxx	50 + 106	0,5
T7	flumioxazina + piroxasulfona	Kyojin	60 + 90	0,3
T8	s-metalocloro + flumioxazina	Aprisa	840 + 42	0,3
T9	s-metalocloro + diclosulan	Dual Gold + Spider	1440 + 29	1,5 + 0,035
T10	s-metalocloro + fomesafen	Eddus	1035 + 228	2
T11	s-metalocloro + metribuzin	Boundary	942 + 224	1,5
T12	flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro	Zethamaxx + Dual Gold	50 + 106 + 1440	0,5 + 1,5

2.3 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO

Na área experimental havia infestação natural das espécies de *B. pilosa* e *D. insularis*, identificadas antes do início da condução do experimento através de um levantamento populacional pelo método do quadrado inventário, que se dá mediante o lançamento aleatório de um quadrado de 1 m² sobre a área escolhida. Desta forma realizou-se uma dessecação, de forma prévia à instalação do experimento, onde foi aplicado clethodim (240 g i.a. ha⁻¹), na dose de 0,5 L.ha⁻¹ de produto comercial (p.c.) com uma sequencial após dez dias da aplicação do tratamento inicial de amônio glufosinato (400 g i.a. ha⁻¹) na dose de 2,0 L ha⁻¹ de p.c.. Após estas aplicações, foi realizado uma operação de gradagem leve e posterior utilização de uma niveladora, totalizando esse manejo de preparo da área 20 dias antes do plantio da soja. Esse preparo foi necessário para que apenas um novo fluxo de germinação de *D. insularis* e *B. pilosa* permaneça na área experimental e não as plantas que já estavam perenizadas na área. Esse

manejo também foi adotado por não apresentar residual de controle sobre plantas daninhas e sobre a cultura da soja.

A cultura foi semeada na data de 21/10/2021 com espaçamento de 0,45 m entre linhas e 14 sementes por m linear, visando a obtenção de uma população (stand) final de aproximadamente 310 mil plantas por hectare. A adubação foi realizada na linha de semeadura com adubo NPK formulado em 21/10/2021. As sementes de soja foram tratadas antes do plantio com o fungicida e inseticida Standak Top (piraclostrobina 25 g.L⁻¹ + tiofanato metílico 225 g.L⁻¹ + fipronil 250 g.L⁻¹), utilizando a dose recomendada de 200 mL do p.c. para 100 kg de sementes de soja. A soja foi semeada de forma mecanizada através de uma semeadora.

Imediatamente após a semeadura da soja e anteriormente à aplicação dos herbicidas, foram semeadas as plantas daninhas *C. benghalensis*, *B pilosa.*, *D. insularis*, *E. heterophylla* e *I. purpurea* a fim de obtermos maior uniformidade no fluxo germinativo e avaliação. A semeadura foi realizada de forma superficial sem a necessidade de incorporação no solo. As sementes de plantas daninhas foram adquiridas na empresa comercial Agrocósmos em quantidade suficiente para se obter uma densidade de populacional de 10 plantas⁻².

Na área experimental foram aplicados os tratamentos de herbicidas no sistema de plante e aplique, ou seja, logo após a semeadura na pré-emergência da cultura da soja e das plantas daninhas. A descrição dos tratamentos que foram utilizados no experimento é apresentada na tabela 2. Os tratamentos de herbicidas foram aplicados com pulverizador costal pressurizado com CO₂ provido de barra de pulverização contendo seis bicos tipo leque Teejet 110.02 espaçados a 0,5 m o qual cobriu uma faixa de 3 m e com volume de aplicação de 150 L ha⁻¹. Para a região de Dourados-MS as condições climáticas eram de 28°C, com velocidade do vento de 5 km h⁻¹ e céu ensolarado.

Para a condução da área experimental, foi realizado o monitoramento da lavoura, e quando necessário, realizadas aplicações de fungicidas e inseticidas. No dia 15/11/2021 foi realizada aplicação do fungicida Protióconazol + Bixafen + Trifloxostrobina (500 mL ha⁻¹). Já no ano de 2022, no mês de janeiro, foram realizadas as aplicações de fertilizante foliar fornecedor de Boro e Zinco (495 mL ha⁻¹), inseticida lambdacialotrina + tiametoxan (250 mL ha⁻¹), fungicida fluxapiróxade + piraclostrobina (350 mL ha⁻¹) e uma última aplicação do inseticida bifentrina + carbossulfano (600 mL ha⁻¹) e do fungicida difenoconazol + ciproconazol (300 mL ha⁻¹).

Foram realizadas avaliações visuais de fitotoxicidade, controle das plantas daninhas e fluxo germinativo aos 7, 14, 21 e 28 dias após a emergência da cultura da soja (DAE). A escala de notas de fitotoxicidade utilizada foi proposta pela European Weed Research Council (ano da

citação), a qual correlaciona à porcentagem de danos visuais com a caracterização do sintoma de fitotoxicidade, onde 0% está relacionado com a ausência de dano e 80-100% significa destruição total das plantas (morte da planta) (EWRC, 1964). Para as avaliações de controle de plantas daninhas, foi utilizada a escala visual da Alam (1974), na qual é atribuído 0% no caso da ausência de sintomas ocasionados pelo herbicida e 100% para a morte das plantas. Por fim, para a quantificação do fluxo germinativo, foi realizado a contagem de plantas daninhas de cada espécie por ponto de avaliação. Para todas estas três variáveis utilizou-se o método do quadrado inventário.

Para determinação da produtividade, foi realizada a colheita manual das 3 linhas centrais de cada parcela por 4m, descontando-se as linhas de bordadura e 2 m frontais e finais, totalizando uma área de 12 m². Esta operação foi feita quando os grãos apresentavam 15% de umidade. Imediatamente após a colheita, as parcelas foram trilhadas e foi realizada a aferição das massas dos grãos corrigidos para 13% de umidade. Por fim, os dados foram extrapolados para kg ha⁻¹.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise estatística da fitotoxicidade, foi considerado os modelos aditivos generalizados de localização, escala e forma (GAMLSS) com família Beta inflacionada de 0 e funções de ligação logit para a média e variância. Para verificação das demais variáveis como efeitos de tratamento foi considerado o modelo GAMLSS com Beta inflacionado de 1. Caterpillar plots foram construídos para verificar o desempenho dos herbicidas, quando a interação foi significativa foram investigados os herbicidas dentro de cada DAE.

A distribuição Beta Inflacionado de 1's se mostra adequada para lidar com variáveis percentuais restritas no intervalo [0, 100%], como os índices de controle de plantas daninhas utilizados neste estudo. Essa distribuição é particularmente útil quando há uma alta incidência de valores extremos, como observado em casos em que alguns tratamentos apresentam controles de 100%.

Ao contrário da distribuição Beta padrão, que assume valores entre 0 e 1, a distribuição Beta Inflacionado de 1's permite a inclusão de casos em que os valores extremos superiores são atingidos, o que reflete adequadamente a eficácia máxima de alguns tratamentos de controle. Assim, a escolha da distribuição Beta Inflacionado de 1's atende à necessidade de modelar de maneira precisa a variabilidade observada nos dados de controle de plantas daninhas,

considerando tanto a natureza percentual dos resultados quanto a presença de valores máximos. Essa abordagem estatística oferece uma ferramenta robusta para capturar a complexidade dos dados experimentais, permitindo uma interpretação mais precisa dos efeitos dos tratamentos de controle avaliados.

Para avaliar o desempenho das variáveis em função dos DAE, foram ajustados modelos de regressão com função de ligação *logit*. Para todas as análises estatísticas foi utilizado o R *software* (R Core Team, 2021), e, para construção de modelos GAMLSS, foram utilizadas bibliotecas GAMLSS (Rigby, 2005). Por fim, utilizou-se *multcomp libraries* e *emmeans* (Lenth, 2021) para testes em comparações múltiplas, e para construção dos gráficos, fez se uso da biblioteca *ggplot2* (Wickham, 2016).

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve um efeito significativo ($p \leq 0,05$) do herbicida \times DAT, para: *Digitaria insularis* L. ($F = 57,158$); *Euphorbia heterophylla* L. ($F = 2,191$); *Commelina benghalensis* L. ($F = 0,923$); *Bidens pilosa* L. ($F = 0,748$) e fitotoxicidade ($F = 0,580$). Para o herbicida e DAE, todas as plantas daninhas apresentaram significância, ou seja, $p \leq 0,05$.

Tabela 3 – Resultados da estatística F na análise de Deviance seguindo o teste de Normalidade Shapiro-Wilk (S H) e do coeficiente de variação (%) quando avaliadas as variáveis em Dourados-MS.

Variáveis	Estatística F			SH	CV	
	Bloco	Herbicida (H)	DAT			H x DAT
<i>Digitaria insularis</i> L.	1,922	7,667**	1477,546**	57,158**	0,140	16,25%
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	4,627**	7,099**	10,763**	2,191**	0,688	24,45%
<i>Commelina benghalensis</i> L.	3,235**	2,964**	37,212**	8,005**	0,923	17,43%
<i>Bidens pilosa</i> L.	1,747	1,619**	54,700**	8,782**	0,748	20,77%
<i>Ipomoea purpurea</i> L.	8,073**	4,721**	2,811**	1,339	0,006	27,67%
Fitotoxicidade	2,323	1,545	371,354**	7,203**	0,580	96,07%

** , significativo pelo teste F ($P < 0,05$)

A análise estatística de *Caterpillar plots* resulta no ranqueamento dos tratamentos em cada período de avaliação e espécie, iniciando-se com os herbicidas que resultaram em maiores porcentagens de controle e finalizando com a menores porcentagens (Figura 3). Para *D. insularis*, independentemente do período de avaliação, todos os tratamentos resultaram em controle superior a 92% (Figura 3), enquanto que para *E. heterophylla*, aos 7 DAE nenhum tratamento apresentou controle aceitável, com valores inferiores a 80%.

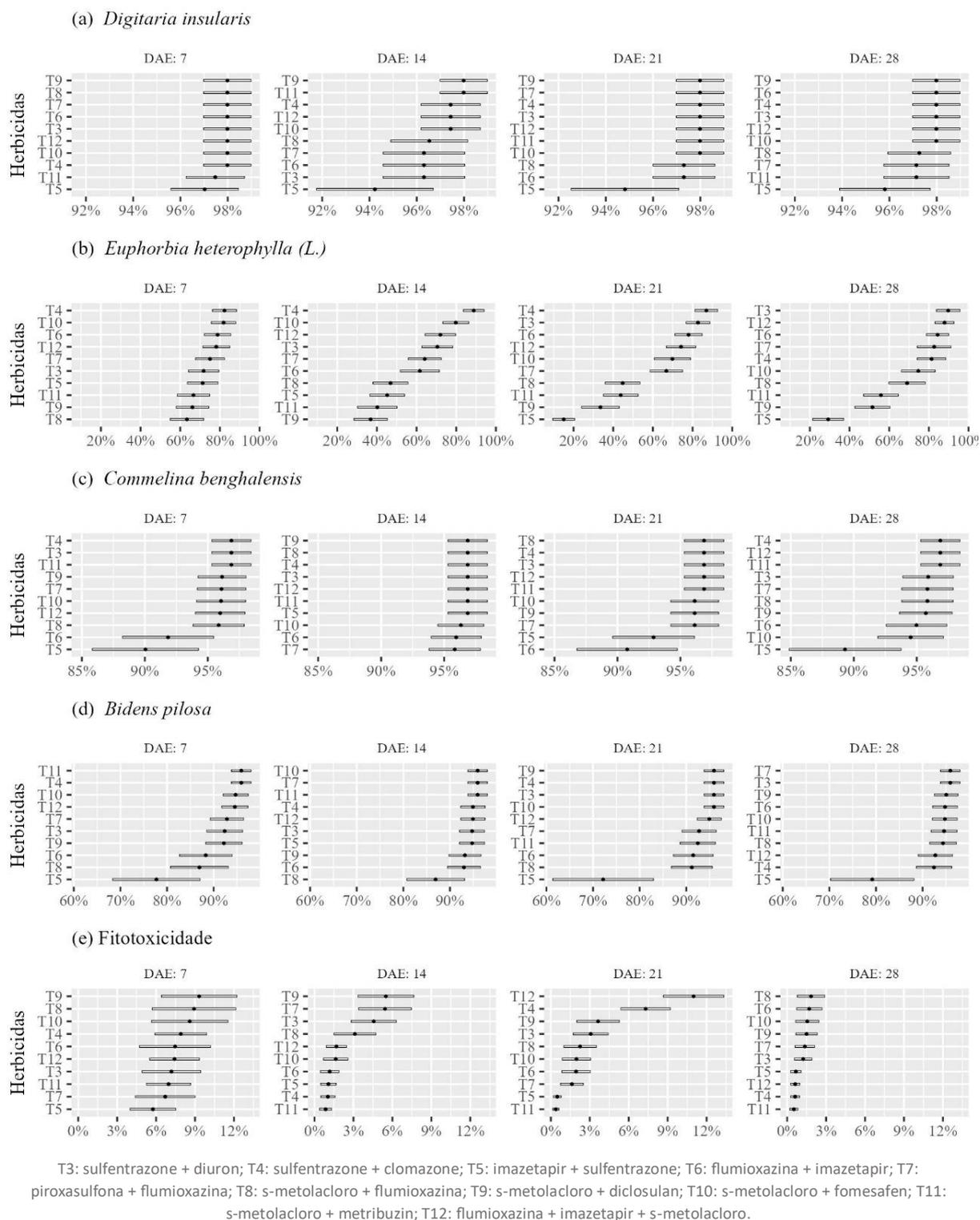


Figura 2: Caterpillar plots para o desdobramento da interação de Herbicida em cada DAT para as variáveis avaliadas em Dourados.

Aos 14 DAE, o T4 (sulfentrazone + clomazone) e aos 21 DAE o T4 (sulfentrazone + clomazone) e T3 (sulfentrazone + diuron) apresentaram controle superior a 80%. Já no último período de avaliação, o T4 (sulfentrazone + clomazone), T6 (flumioxazina + imazetapir), T7

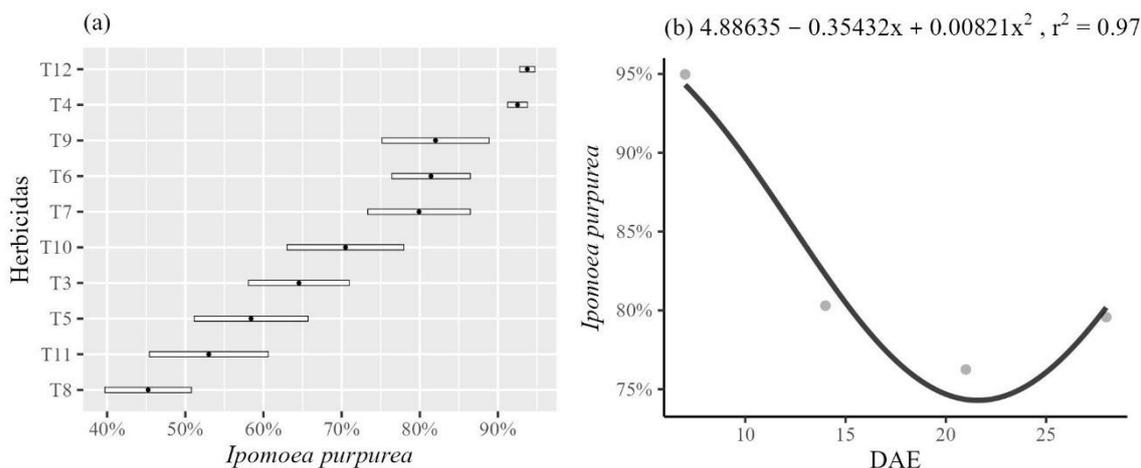
(flumioxazina + piroxasulfona), T12 (flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro) e T3 (sulfentrazone + diuron) resultaram em controle superior a 80%.

Para *C. benghalensis*, independentemente do tratamento e do período de avaliação, o controle foi superior a 85%. Aos 28 DAE, todos os tratamentos apresentaram controle superior a 90% com exceção de T5 (sulfentrazone + imazetapir), que apresentou ligeira involução do controle nesse período, estabelecendo média entre 85-90%.

Para *B. pilosa*, o único tratamento que não resultou em controle superior a 80% em todos os períodos de avaliação foi T5 (sulfentrazone + imazetapir), os demais, resultaram em porcentagens superiores a 90%. Já para *I. purpurea*, não se observou efeito significativo na interação entre herbicidas e períodos de avaliação. Dessa forma, não foi possível apresentar o gráfico de porcentagem de controle dessa espécie de planta daninha ao longo dos períodos de avaliação.

Para fitotoxicidade da soja, aos 7 DAE, independentemente do tratamento, observou-se uma porcentagem entre 6 e 9%. Ao longo dos períodos de avaliação essas porcentagens apresentaram redução gradativa, sendo que aos 28 DAE podem ser consideradas pouco expressivas, pois, para todos os tratamentos se observou valores inferiores a 2%.

Na figura 3a, são apresentadas as médias de controle de cada tratamento, sendo que os tratamentos T4 (sulfentrazone + clomazone), T6 (flumioxazina + imazetapir), T7 (flumioxazina + piroxasulfona), T9 (s-metalocloro + diclosulan) e T12 (flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro) apresentaram médias superiores a 80%. No entanto, isso não significa que necessariamente os demais tratamentos forma ineficazes no controle de *I. purpurea*, pois na figura 3b são apresentadas as porcentagens de controle ao longo dos dias, a qual se inicia com média de 95% aos 7 DAE e termina com 80% aos 28 DAE, indicando controle inicial com posterior diminuição dessas porcentagens para alguns tratamentos. Dessa forma, apenas se observado as porcentagens de controle aos 28 DAE, nota-se que os tratamentos T3 (sulfentrazone + diuron), T10 (s-metalocloro + fomesafen), T11 (s-metalocloro + metribuzin), T5 (sulfentrazone + imazetapir) e T8 (s-metalocloro + flumioxazina) apresentaram porcentagem inferior a 80%.



T3: sulfentrazone + diuron; T4: sulfentrazone + clomazone; T5: imazetapir + sulfentrazone; T6: flumioxazina + imazetapir; T7: piroxasulfona + flumioxazina; T8: s-metolacloro + flumioxazina; T9: s-metolacloro + diclosulan; T10: s-metolacloro + fomesafen; T11: s-metolacloro + metribuzin; T12: flumioxazina + imazetapir + s-metolacloro.

Figura 3: *Caterpillar plot* e ajuste da regressão Beta com função de ligação *logit* para *Ipomoea purpurea* L. avaliada em Dourados-MS.

Em relação à emergência do número de plantas em campo após a aplicação dos tratamentos de herbicidas, houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) na interação do herbicida \times DAE, com o seguinte comportamento *D. insularis* ($F = 3,019$); *E. heterophylla* ($F = 1,786$); *C. benghalensis* ($F = 3,106$); *B. pilosa* ($F = 2,425$) e *I. purpurea* ($F = 3,524$).

Tabela 4 – Resultados da estatística F na análise de Deviance seguindo o teste de Normalidade Shapiro-Wilk (SH) e do coeficiente de variação (%) quando avaliado o número de plantas ($N\ m^{-2}$) em Dourados-MS.

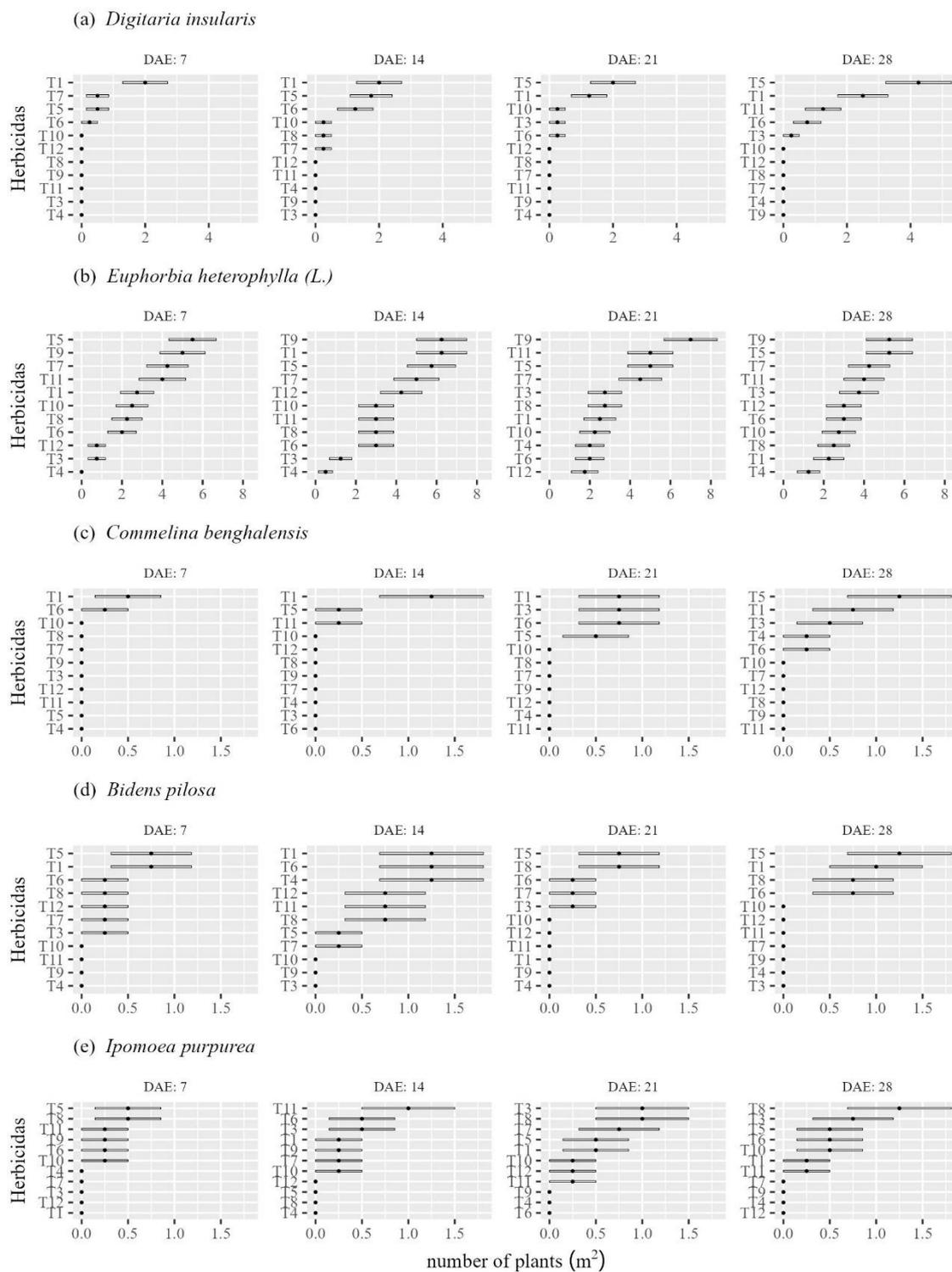
Variáveis	Estatística F				SH	CV (%)
	Bloco	Herbicida (H)	DAT	H \times DAT	Valor p	
<i>Digitaria insularis</i>	1,574	3,158**	3,579**	3,109**	0,600	165,20%
<i>Euphorbia heterophylla</i>	3,049**	1,681	4,452**	1,786**	0,054	48,63%
<i>Commelina benghalensis</i>	3,754**	3,861**	5,644**	3,106**	0,931	197,62%
<i>Bidens pilosa</i>	0,995	2,736**	5,497**	2,425**	0,176	189,79%
<i>Ipomoea purpurea</i>	2,930**	2,911	3,346**	3,524**	0,168	143,31%
Total	2,289	3,219**	11,309**	2,320**	0,028	39,28%

** , significativo pelo teste F ($P < 0,05$)

Os dados do número de plantas emergidas no campo em função dos herbicidas aplicados são apresentados na figura 4, e estes, estão dispostos ainda nas tabelas 5, 6, 7, 8 e 9 com classificações de cada tratamento de acordo com a quantidade de plantas emergidas.

Para *D. insularis*, observou-se aos 7 DAE o tratamento T1 (testemunha absoluta) resultou na maior quantidade de plântulas, com valores próximos a 2 plantas m⁻². Nesse período de avaliação, os demais tratamentos resultaram em menor infestação, com valores inferiores 0,5 plantas m⁻². Aos 14 DAE, T6 (flumioxazina + imazetapir) e T5 (sulfentrazone + imazetapir), apresentaram densidade de infestação superior a 1 plantas m⁻², já o tratamento T1 (testemunha absoluta), resultou em fluxo germinativo superior a 2 plantas m⁻².

Aos 21 DAE, esse padrão se manteve com exceção de T6 (flumioxazina + imazetapir), que apresentou infestação de *D. insularis*. inferior a 1 plantas m⁻², sendo que os demais tratamentos apresentaram infestação próximas a 0 plantas m⁻². Aos 28 DAE, *D. insularis* apresentou fluxo germinativo superior a 0,5, 1, 2 e 4 plantas m⁻², para T6 (flumioxazina + imazetapir), T11 (s-metalocloro + metribuzin), T1 (testemunha absoluta) e T5 (sulfentrazone + imazetapir), respectivamente. T3 (sulfentrazone + diuron) embora pouco expressivo, próximo a 0 plantas m⁻², também houve fluxo germinativo, para os demais tratamentos não se observou fluxo germinativo (0 plantas m⁻²).



T1: testemunha absoluta; T2: testemunha capinada; T3: sulfentrazone + diuron; T4: sulfentrazone + clomazone; T5: imazetapir + sulfentrazone; T6: flumioxazina + imazetapir; T7: piroxasulfona + flumioxazina; T8: s-metolaclo + flumioxazina; T9: s-metolaclo + diclosulan; T10: s-metolaclo + fomesafen; T11: s-metolaclo + metribuzin; T12: flumioxazina + imazetapir + s-metolaclo.

Figura 4: *Caterpillar plots* para o desdobramento da interação de Herbicida em cada DAE para a quantidade de plantas por m^2 em Dourados.

Para *E. heterophylla*, aos 7 DAE, T7 (flumioxazina + piroxasulfona), T9 (s-metolaclo + diclosulan), T11 (s-metolaclo + metribuzin) e T5 (sulfentrazone + imazetapir) resultaram

em fluxo de germinação superior a 4 plantas m^{-2} . Já T6 (flumioxazina + imazetapir), T10 (s-metalocloro + fomesafen), T8 (s-metalocloro + flumioxazina) e T1 (testemunha absoluta), resultaram em emergência superior a 2 plantas m^{-2} . Em relação a T12 (flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro) e T3 (sulfentrazone + diuron), esses tratamentos culminaram em emergência próxima a 1 planta m^{-2} , ao passo que T4 (sulfentrazone + clomazone), teve emergência próxima 0 plantas/ m^2 . Aos 14 DAE, esse mesmo comportamento se manteve, com as exceções de T9 (s-metalocloro + diclosulan) e T1 (testemunha absoluta), com densidade de *Euphorbia heterophylla* L., superior a 6 plantas/ m^2 , T4 (sulfentrazone + clomazone) e T3 (sulfentrazone + diuron) com emergência próxima e 2 e 1 plantas/ m^2 , respectivamente.

Aos 21 DAE, se observou para T9 (s-metalocloro + diclosulan) que a emergência foi de 7 plantas/ m^2 , em relação a T7 (flumioxazina + piroxasulfona), T11 (s-metalocloro + metribuzin) e T5 (sulfentrazone + imazetapir) a emergência foi superior a 4 plantas/ m^2 . Para T3 (sulfentrazone + diuron), T10 (s-metalocloro + fomesafen), T8 (s-metalocloro + flumioxazina) e T1 (testemunha absoluta) a emergência foi superior a 10 plantas/ m^2 , e T12 (flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro), resultou em emergência próxima a 2 plantas/ m^2 . Na última avaliação aos 28 DAE, T9 (s-metalocloro + diclosulan) e T5 (sulfentrazone + imazetapir), apresentaram emergência superior a 5 plantas/ m^2 , T7 (flumioxazina + piroxasulfona) e T11 (s-metalocloro + metribuzin), resultaram em emergência inferior a 4 plantas/ m^2 . Para T4 (sulfentrazone + clomazone) a emergência foi superior a 1 plantas/ m^2 , todos os demais tratamentos culminaram em emergência superior a 2 plantas/ m^2 .

Para *Commelina benghalensis* L., aos 7 DAE, o fluxo germinativo foi pouco expressivo, pois apenas para T6 (flumioxazina + imazetapir) e T1 (testemunha absoluta, ambos inferiores 0,5 plantas/ m^2). Já aos 14 DAE, esse fluxo pouco expressivo se manteve, pois apenas T11 (s-metalocloro + metribuzin) e T5 (sulfentrazone + imazetapir) apresentaram densidade inferior a 0,5 plantas/ m^2 , e T1 (testemunha absoluta), 1,25 plantas/ m^2 . Aos 21 DAE, apenas os tratamentos T6 (flumioxazina + imazetapir), T3 (sulfentrazone + diuron), T5 (sulfentrazone + imazetapir) e T1 (testemunha absoluta), resultaram em plantas emersas no campo, com densidade superior a 0,5 plantas/ m^2 . Na última avaliação aos 28 DAE, T5 (sulfentrazone + imazetapir) e T1 (testemunha absoluta) resultaram em um número superior a 1 e 0,75 plantas/ m^2 , respectivamente, ao passo que T4 (sulfentrazone + clomazone) e T6 (flumioxazina + imazetapir), foram inferiores a 0,5 plantas/ m^2 , os demais tratamentos resultaram em 0 plantas/ m^2 .

Para *Bidens pilosa* L., aos 7 DAE, T5 (sulfentrazone + imazetapir) e T1 (testemunha absoluta), culminaram em 0,75 plantas/m², T7 (flumioxazina + piroxasulfona), T12 (flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro), T3 (sulfentrazone + diuron), T8 (s-metalocloro + flumioxazina) e T1 (testemunha absoluta) apresentaram fluxo germinativo inferior a 0,5 plantas/m², os demais tratamentos não resultaram em infestação no campo. Aos 14 DAE, T4 (sulfentrazone + clomazone), T6 (flumioxazina + imazetapir) e T1 (testemunha absoluta), apresentaram infestação de 1,25 plantas/m², já T12 (flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro), T11 (s-metalocloro + metribuzin) e T18 (s-metalocloro + flumioxazina) resultaram em infestação de 0,75 plantas/m² ao passo que T7 (flumioxazina + piroxasulfona) e T5 (sulfentrazone + imazetapir), resultaram em infestação inferior a 0,5 plantas/m², os demais tratamentos não resultaram em fluxo germinativo.

Aos 21 DAE, T5 (sulfentrazone + imazetapir) e T8 (s-metalocloro + flumioxazina) apresentaram densidade de 0,75 plantas/m², já T6 (flumioxazina + imazetapir), T7 (flumioxazina + piroxasulfona) e T3 (sulfentrazone + diuron), resultaram em número de plantas inferiores 0,5 plantas/m². Os demais tratamentos culminaram em infestação inferior a 0 plantas/m². Em relação a avaliação de 28 DAE, T5 (sulfentrazone + imazetapir) e T1 (testemunha absoluta), resultaram em 1,25 e 1,00 plantas/m² respectivamente e T6 (flumioxazina + imazetapir) e T8 (s-metalocloro + flumioxazina), apresentaram 0,50 plantas/m².

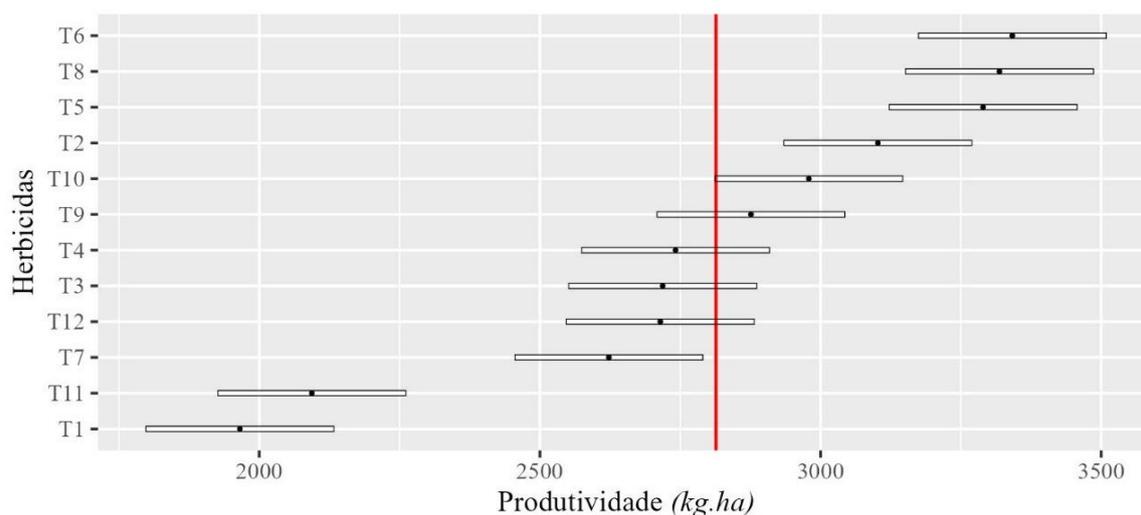
Para *Ipomoea purpurea* L., aos 7 DAE, T9 (sulfentrazone + imazetapir) e T8 (s-metalocloro + flumioxazina), resultaram em 0,50 plantas/m² e T6 (flumioxazina + imazetapir), T9 (s-metalocloro + diclosulan), T10 (s-metalocloro + fomesafen) e T11 (s-metalocloro + metribuzin) e resultaram em 0,25 plantas/m², os demais tratamentos não apresentaram fluxo germinativo em campo (0 plantas/m²). Aos 14 DAE, T11 (s-metalocloro + metribuzin) resultou em 1 plantas/m², já T6 (flumioxazina + imazetapir) e T3 (sulfentrazone + diuron), culminaram em 0,5 plantas/m². T7 (flumioxazina + piroxasulfona), T9 (s-metalocloro + diclosulan), T10 (s-metalocloro + fomesafen) e T1 (testemunha absoluta) apresentaram fluxo de 0,25 plantas/m². Os demais tratamentos não apresentaram fluxo germinativo no campo.

No período de 21 DAE, os tratamentos T3 (sulfentrazone + diuron) e T8 (s-metalocloro + flumioxazina) culminaram em uma densidade de *Ipomoea purpurea* L., de 1 plantas/m², enquanto T7 (flumioxazina + piroxasulfona) resultou em 0,75 plantas/m² e T5 (sulfentrazone + imazetapir) e T1 (testemunha absoluta) em 0,50 plantas/m². Já T12 (flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro), T10 (s-metalocloro + fomesafen) e T11 (s-metalocloro + metribuzin) resultaram em 0,25 plantas/m², os demais tratamentos não apresentaram fluxo germinativo. Aos

28 DAE, T3 (sulfentrazone + diuron) e T8 (s-metalocloro + flumioxazina), resultaram em 0,75 e 1,25 plantas/m² respectivamente, ao passo que, T6 (flumioxazina + imazetapir), T10 (s-metalocloro + fomesafen) e T5 (sulfentrazone + imazetapir) apresentaram 0,50 plantas/m², já T6 (flumioxazina + imazetapir) e T11 (s-metolacloro + metribuzin) resultaram em 0,25 plantas/m². Nos demais tratamentos não se observou fluxo germinativo em campo.

Para análise da produtividade, se utilizou a distribuição normal com função de ligação “log”. Na análise de Deviance foi possível observar o efeito de Tratamento quando avaliada a Produtividade ($F = 4,901$; $P < 0,001$). O teste de Shapiro-Wilk apresentou um valor p de 0,471, indicando que a distribuição normal é adequada aos resíduos do modelo ajustado a produtividade. O Coeficiente de Variação foi de 12,99%.

Como notado na figura 5, os tratamentos T6 (flumioxazina + imazetapir), T5 (sulfentrazone + imazetapir) e T8 (s-metalocloro + flumioxazina) resultaram em maior produtividade apresentando valores superiores a 3250 kg ha⁻¹. Já os tratamentos T2 (testemunha capinada), T10 (s-metalocloro + fomesafen) e T9 (s-metalocloro + diclosulan) culminaram em produtividade superior a 2600 kg ha⁻¹ e os tratamentos T7 (flumioxazina + piroxasulfona), T12 (flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro), T3 (sulfentrazone + diuron) e T4 (sulfentrazone + clomazone), em valores superior a 2500 Kg ha⁻¹. Em relação aos tratamentos T11 (s-metolacloro + metribuzin) e T2 (Testemunha Capinada), estes, apresentaram valores de produtividade com índices próximos a 2000 kg ha⁻¹.



T1: testemunha absoluta; T2: testemunha capinada; T3: sulfentrazone + diuron; T4: sulfentrazone + clomazone; T5: imazetapir + sulfentrazone; T6: flumioxazina + imazetapir; T7: piroxasulfona + flumioxazina; T8: s-metolacloro + flumioxazina; T9: s-metolacloro + diclosulan; T10: s-metolacloro + fomesafen; T11: s-metolacloro + metribuzin; T12: flumioxazina + imazetapir + s-metolacloro.

Figura 5 – *Caterpillar plot* das médias estimadas dos tratamentos seguidos do erro padrão dessas estimativas quando avaliada a Produtividade. A linha vermelha indica a média estimado no experimento.

Nota-se portanto, que todos os tratamentos de herbicidas pré-emergentes não culminaram em efeitos fitotóxicos significativos para a cultura da soja, e portanto, foram seletivos apresentando valores inferiores a 3% de fitotoxicidade aos 28 DAE. Em relação ao controle e espectro, foi possível observar que aos 28 DAE os tratamentos T12 (flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro), T6 (flumioxazina + imazetapir), T7 (flumioxazina + piroxasulfona) e T4 (sulfentrazone + clomazone) obtiveram controle superior a 80% em todas as plantas avaliadas, mostrando-se boas alternativas nesse complexo de plantas daninhas de difícil controle.

Nenhum tratamento de herbicida resultou em fitotoxicidade expressiva na cultura da soja. Alguns aspectos da realização desse experimento justificam esse comportamento, o primeiro é relativo à textura do solo, o qual, nesse experimento, apresentava teor de argila superior a 35% sendo classificado como argiloso, fato que promove maior adsorção à matriz coloidal, reduzindo sua disponibilidade em solução do solo e consequentemente a quantidade de produto disponível para ser absorvido pelo sistema radicular da cultura.

Tal fato é corroborado por Durães *et al.*, (2018), os processos de degradação e adsorção são os principais sofridos pelos herbicidas no solo, afetando sua persistência e mobilidade. O autor ressalta ainda que o movimento do produto no solo é limitado principalmente por fatores como teor de argila e de matéria orgânica. Essa ideia é complementada por Copaja e Sepúlveda, (2022) que ao analisarem diferentes amostras de solo com diferentes adições de teores de argila, notaram que o processo de adsorção do herbicida no solo é determinado principalmente pelo nível de argila presente.

Na análise da figura 1 também se observa uma expressiva chuva de aproximadamente 27,4 mm logo após a semeadura da soja. Esse aspecto contribui para maior lixiviação de herbicidas no perfil do solo, principalmente para produtos de alta solubilidade, a exemplo do sulfentrazone + clomazone e sulfentrazone + imazetapir, com 110 mg L^{-1} (pH 6,0) + 1100 mg L^{-1} (25°C) 1400 mg L^{-1} (25°C) + 110 mg L^{-1} (pH 6,0) de solubilidade respectivamente (Rodrigues e Almeida, 2018), e apresentaram as menores fitotoxicidades em todos os períodos de avaliação. Além disso, a maior umidade do solo, contribui para maior atividade microbiana do solo, favorecendo aspectos de degradação, justificando a rápida involução das porcentagens e fitotoxicidade em soja, ao longo dos períodos de avaliação, pois aos 28 DAE, independentemente do tratamento, se observou porcentagens de fitotoxicidade em sojas inferiores a 3%.

Nesse contexto, Khalil *et al.*, (2019) correlaciona as perdas de eficácia de pré-emergentes ao longo do tempo com processos sofridos pelo produto, como a degradação do

herbicida no solo. Associado a isso, no trabalho de Meite *et al.*, (2018) os volumes e frequências de precipitações se posicionaram como o principal fator na lixiviação de pesticidas, a exemplo, o herbicida s-metalocloro analisado no experimento, teve seu processo de lixiviação significativamente impactado pelos padrões de frequência das chuvas simuladas.

Um aspecto importante é que os herbicidas sulfentrazone + clomazone, flumioxazina + imazetapir, s-metalocloro + diclosulan, flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro, sulfentrazone + diuron, s-metalocloro + metribuzin, sulfentrazone + imazetapir e s-metalocloro + flumioxazina utilizados de forma isolada e/ou associada, são produtos seletivos para a cultura da soja quando aplicado em doses recomendadas em bula, a exemplo do que foi efetuado nesse experimento. Por conseguinte, a associação de textura de solo argiloso, alta pluviosidade após a aplicação dos tratamentos e seletividade dos herbicidas registrados para a cultura, contribuíram para ausência e/ou inexpressividade de efeitos fitotóxicos na cultura da soja nesses experimentos.

Como observado em trabalhos como Takeshita *et al.* (2019); e Arsenijevic *et al.* (2022), os autores também concluem que os níveis de fitotoxicidade estão atrelados a aumentos de doses com fatores físico químicos dos solos, condições climáticas e sensibilidade dos cultivares. Devido a capacidade das plantas em metabolizarem os herbicidas, o trabalho de Galon *et al.* (2014), testando diferentes herbicidas, também constatou essa seletividade com relação aos herbicidas pré emergentes.

Em relação ao manejo de plantas daninhas, um herbicida pode ser considerado eficaz, quando a porcentagem de controle for superior a 80% (Oliveira, Freitas e Vieira, 2009). Nesse sentido, um resultado que se destaca é o controle de *D. insularis*, o qual independentemente do período de avaliação e tratamento, resultou em excelente controle, superior a 90%. Esse aspecto é importante, pois, todos os herbicidas encontram em sua associação, um produto que apresenta espectro de controle para gramíneas, a exemplo clomazone, imazetapir e s-metalocloro.

Corroborando com esse cenário, em trabalhos realizados, Bauer *et al.* (2021), Drehmer *et al.*, (2015), e Gazola *et al.*, (2021) notaram alta eficácia de controle oriunda da aplicação de s-metalocloro e da associação de imazetapir + flumioxazina para *D. insularis* com índices de controle próximos a 100%. Associado a isso, Bottcher *et al.*, (2022) ao comparar a eficácia de controle entre herbicidas isolados ou em associação para a *D. insularis*., notou que os melhores tratamentos foram obtidos através da associação entre herbicidas, como o imazetapir + saflufenacil.

No controle de *E. heterophylla*., aos 14 e 21 DAE, apenas T3 (sulfentrazone + diuron),

T4 (sulfentrazone + clomazone), T6 (flumioxazina + imazetapir), T7 (flumioxazina + piroxasulfona) e T12 (flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro) apresentaram controle superior a 80%. Esses tratamentos apresentaram como característica em comum a associação com herbicidas inibidores PPO, sendo eles sulfentrazone e flumioxazina.

Como notado por Gazola *et al.*, (2021), ainda que tenha apresentado leve decréscimo de controle aos 30 dias após a aplicação, o herbicida flumioxazina obteve índices de controle altamente eficazes para *E. heterophylla* com os valores constantemente acima de 80% mesmo com o decréscimo observado. Resultados semelhantes foram observados pelo autor (citação) para o herbicida sulfentrazone, que por sua vez, foi altamente eficaz para a planta daninha pelo período de pelo menos 30 dias. Por outro lado, tratamentos de associação entre herbicidas inibidores da ALS como imazetapir + imazapic não apresentaram controle sobre biótipos resistentes de *E. heterophylla.*, independentemente do estágio fenológico da planta daninha (citação).

Para *C. benghalensis*, o controle foi considerado adequado e superior a 85%, demonstrando que o manejo em pré- emergência dessa planta daninha é essencial para o seu controle, a qual, apresenta disseminação por sementes e propagação vegetativa, além desses aspectos devemos ressaltar que todos os tratamentos aplicados se trataram de associação de herbicidas, aumentando assim o espectro de controle e efetividade do manejo.

Em trabalho realizado, Bottcher *et al.*, (2022) enfatiza a importância da associação entre herbicidas para o manejo de plantas daninhas, visto que a eficiência de controle oriunda da associação se mostrou mais eficiente do que para herbicidas isolados no controle de plantas como a *C. benghalensis.* Associado a esse fato, Silva *et al.* (2019) notou que – em relação aos herbicidas pré-emergentes, como o indaziflam – a obtenção de controle satisfatório das plantas daninhas está atrelada à menor densidade de plantas na área infestada e conseqüente maior exposição do solo, o que é complementado por Kaur, *et al.*, (2018), que ao comparar o controle através de herbicidas pré e pós emergentes, determinou que o herbicida pré-emergente se posiciona como o mais eficaz.

Em relação a *B. pilosa*, apenas T5 (sulfentrazone + imazetapir) não resultou em controle superior a 80%. Esse resultado desperta atenção, pois, embora o sulfentrazone seja eficaz no manejo dessa planta daninha, não se observou manejo adequado. A possível explicação pode se dar em relação ao histórico de resistência dessa espécie a herbicidas inibidores da ALS (imazetapir) já que havia a infestação natural dessas plantas na área. Tal fato pode ainda ser associado à dose aplicada nessa associação comercial (360 g.ia.ha⁻¹) o que pode ter influenciado nos resultados obtidos. Dessa forma, a associação entre PPO e ALS, não culminou em sinergismo para *B. pilosa*, mesmo

possuindo o sulfentrazone em sua composição. Pereira *et al.*, (2022) concluiu que para o controle de biótipos de *B. pilosa*. resistentes a herbicidas inibidores da ALS, os tratamentos com imazetapir foram ineficazes para seu controle, sendo o único satisfatório, a sua associação ao glifosato.

Em relação à análise do conjunto de dados, os tratamentos T12 (flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro), T6 (flumioxazina + imazetapir), T7 (flumioxazina + piroxasulfona) e T4 (sulfentrazone + clomazone) se mostraram as melhores opções no complexo de plantas daninhas estudado com porcentagens de controle acima de 80% para todas as espécies *E. heterophylla*, *D. insularis*, *C. benghalensis* e *B. pilosa* e ausência de efeitos fitotóxicos em soja. Esses resultados foram obtidos mediante a associação de herbicidas de espectros de controle distintos, sendo um direcionado a monocotiledôneas, e o outro, para eudicotiledôneas, ou seja, tal resultado indicou aumento do espectro de controle.

Em relação aos fluxos de germinação de *D. insularis*, se destaca como de maior expressividade de número de plantas em campo os tratamentos T1 (testemunha absoluta) e T5 (sulfentrazone + imazetapir), sendo que para esses o aumento foi gradativo. O maior número de plantas m⁻², na testemunha era esperado, pois não houve aplicação de herbicidas. Esse resultado é importante, pois demonstra a importância do posicionamento de pré- emergentes como uma forma de evitar fluxos de *D. insularis*, após a emergência da cultura da soja, principalmente, em um cenário em que a disseminação de biótipos resistentes a EPSPs e ACCase em campo, o qual limita a utilização desses herbicidas no manejo em pós-emergência (HRAC, 2023 e Palharini *et al.*, 2023).

Para *E.a heterophylla*, os tratamentos T9 (s-metalocloro + diclosulan) e T9 (sulfentrazone + imazetapir) resultaram em expressivo fluxo germinativo, isso acontece, provavelmente pela presença de herbicidas inibidores da ALS. *E. heterophylla*, teve o primeiro reporte de resistência e no Brasil, no estado do Mato Grosso do Sul (HRAC, 2023), esses biótipos estão altamente disseminados na região, com frequente reporte de escape de controle, havendo a necessidade de associação com outros herbicidas e ajuste de dose.

De Castro *et al.*, (2023) notou em trabalho realizado que a associação de diferentes moléculas de herbicidas foi eficaz no controle de *E. heterophylla*., principalmente para os herbicidas sulfentrazone e diclosulan quando associados a ametrina e mesotrione. Todavia, a aplicação isolada de herbicida inibidor da ALS – como o imazetapir - para controle desta planta daninha não se mostrou eficaz em trabalho realizado por Pereira *et al.*, (2022), sendo este, eficaz apenas quando em associação ao glifosato, herbicida este, que apresentou controle eficiente em outros tratamentos.

Para *C. benghalensis*, *B. pilosa* e *I. purpurea*, o fluxo de germinação foi pouco expressivo, havendo diversos tratamentos de herbicidas que não resultaram em fluxo germinativo em campo, e os que resultaram, podem ser considerados pouco expressivos. Essas plantas daninhas, são importantes para o sistema produtivo de soja, sendo *C. benghalensis*, pela biologia e tolerância ao glifosato (Adegas *et al.*, 2007). *B. pilosa*, pelo histórico de resistência a herbicidas inibidores da ALS e recente reporte para o glifosato (Adegas *et al.*, 2023). Já *I. purpurea*, principalmente em área do estado do Mato Grosso do Sul, que saíram de área de canavial, e migraram para cultivo de soja, em virtude do histórico do banco de sementes, além dos expressivos danos indiretos no momento da colheita.

Esses resultados reforçam a necessidade do posicionamento de herbicidas pré-emergentes objetivando o controle de fluxos germinativos, reduzindo assim as aplicações herbicidas pós-emergentes, demonstrando que esses produtos podem servir como uma ferramenta de na redução de aplicações repetidas e contínuas de herbicidas pós-emergentes, os quais podem culminar em pressão de seleção de biótipos resistentes, que por sua vez aumentam os custos adaptativos no sistema de produção de grãos e resultam em maior complexidade no manejo integrado de plantas daninhas.

Em relação à cultura da soja, o trabalho de Soltani *et al.* (2022) demonstrou as possíveis perdas econômicas relacionadas ao controle tardio de plantas daninhas na cultura, seja em baixa ou alta densidade de infestação. Assim, foi possível notar que a presença de plantas daninhas pelo período de 30 dias é o suficiente para causar perda de produtividade em 5% em baixas densidades de infestações, sendo que para maiores infestações, o tempo passa a ser de apenas 10 dias. Corroborando com esse cenário, Gazola *et al.* (2021), afirma que a utilização de herbicidas residuais – pré-emergentes – permitem a minimização da competição por plantas daninhas, prevenção de perdas de produtividade, além de estender o período anterior à interferência (PAI), período este, que se refere ao tempo em que a planta daninha pode coexistir com a cultura plantada sem causar perdas de produção (Silva *et al.*, 2009).

Além desses aspectos, se destaca que a testemunha sem capina apresentou expressivo fluxo germinativo para diversas plantas daninhas e resultou na menor produtividade de soja, reforçando a necessidade do controle de plantas daninhas, pois alta infestação em área de produção de soja pode culminar em perdas de produtividade na cultura. Em relação às plantas daninhas avaliadas no trabalho, seus dados de infestação ocasionam em perdas de produtividade significativa na cultura da soja. Como notado por Braz *et al.*, (2021), a perda de produtividade da cultura da soja pode chegar a 32% pela interferência de *D. insularis* a uma infestação de 1 planta m⁻². Plantas daninhas como *E. heterophylla* e *I. purpurea*, se destacaram

em questões de redução de produtividade em trabalho realizado por Rudell *et al.*, (2021). Já para *B. pilosa*, sua infestação pode gerar perdas de rendimento da cultura da soja em até 58% como observado por Rizzardi *et al.*, (2003).

O uso de herbicidas na pré-semeadura da cultura da soja, reduz fluxo germinativo de plantas. Logo, no posicionamento de herbicidas pré-emergentes, deve se atrelar eficácia de controle de plantas daninhas à seletividade na cultura da soja. Como demonstrando nesse experimento, a aplicação de herbicidas pré emergentes reduz a competição entre plantas daninhas e a cultura da soja, resultando em aumento de produtividade, reduzindo as aplicações de herbicidas em pós-emergentes e consequentemente a pressão de seleção de biótipos resistentes. No entanto, a escolha de um herbicida pré-emergente deve levar em consideração o histórico da área, preconizar a associação de produtos de diferentes mecanismos de ação para reduzir também o risco de resistência a esta modalidade de aplicação e possibilitando o aumento do espectro de controle (plantas daninhas monocotiledôneas e dicotiledôneas).

3. CONCLUSÃO

As associações de herbicidas pré emergentes contribuíram com o aumento de performance e espectro de controle das plantas daninhas: *E. heterophylla* L., *D. insularis* L., *C. benghalensis* L. e *B. pilosa* L. As associações: flumioxazina + imazetapir + s-metalocloro; flumioxazina + imazetapir; piroxasulfona + flumioxazina e sulfentrazone + clomazone, foram as melhores opções para seu manejo com porcentagens de controle superiores a 80% e ausência de efeitos fitotóxicos na soja. Em relação ao fluxo germinativo, para as plantas *C. benghalensis*, *B. pilosa* e *I. purpurea*, os tratamentos resultaram em fluxos pouco expressivos enquanto que para *E. heterophylla*., a associação sulfentrazone + clomazone resultou no menor fluxo, e para *D. insularis*., as únicas associações que resultaram em maiores fluxos germinativos foram: imazetapir + sulfentrazone; s-metalocloro + metribuzin e flumioxazina + imazetapir. As associações que resultaram em maior produtividade para a cultura foram: flumioxazina + imazetapir; sulfentrazone + imazetapir e s-metalocloro + flumioxazina resultaram em maior produtividade com valores superiores a 3250 kg ha⁻¹.

Nenhuma associação de herbicida apresentou fitotoxicidade significativa para a cultura da soja, sendo que todos os tratamentos indicaram incremento na produtividade da cultura quando comparada à testemunha absoluta.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEGAS, F., GAZZIERO, D. L. P., VOLL, E. Indicações para o uso de glyphosate em-soja transgênica. Londrina: **Embrapa Soja**. p. 2 (Circular Técnica 49). 2007.

ADEGAS, F. S., GAZZIERO, D. L. P., BONANI, J. C., PRECINOTTO, C. V., GARBIATE, M. V., PAES, B. L., ASSIS, D. N., OLIVEIRA JR, R. S. Novo caso de resistência de planta daninha ao glifosato no Brasil: picão-pretp (*Bidens subalternans*). Embrapa Soja, Folhetos. 2023.

ALAM, ASOCIATION LATINOAMERICANA DE MALEZAS. **Recomendaciones sobre unificación de los sistemas de evaluación em ensayos de control de malezas**. Alam.V. 1, p. 35-38. 1974.

ARSENIJEVIC, N., DE WERFF, R., CONLEY, S., RUARK, M., WERLE, R. Influence of integrated agronomic and weed management practices on soybean canopy development and yield. *Weed Technol.*;36(1):73-8. 2022.

BAUER, F. E., ALBRECHT, A. J. P., ALBRECHT, L. P., SILVA, A. F. M., BARROSO, A. A. M., & DANILUSSI, M. T. Y. Digitaria insularis control by using herbicide mixtures application in soybean pre-emergence. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(1), 9403-9411. 2021.

BOTTCHER, A. A., ALBRECHT, A. J. P., ALBRECHT, L. P., KASHIVAQUI, E. S. F., CASSOL, M., SOUZA, C. N. Z. D., & SILVA, A. F. M. Herbicide efficacy in the fall management of *Richardia brasiliensis*, *Commelina benghalensis*, *Conyza sumatrensis* AND *Digitaria insularis*. *Bioscience Journal*, 38(e38025), 1981-3163. 2022.

BRAZ, G. B. P., CRUVINEL, A. G., CANEPPELE, A. B., TAKANO, H. K., SILVA, A. G. D., & OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. D. Sourgrass interference on soybean grown in Brazilian Cerrado. *Revista Caatinga*, 34, 350-358. 2021.

DE CASTRO, A. R., CASTRO, Q. S. G. PIASSA, A. S., PEDROSA, S. G., & TROPALDI, L. Selectivity and control of *Euphorbia heterophylla* in sugarcane by herbicide in post-emergence. *Journal of Environmental Science and Health*, Part B, 1-8. 2023.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira, 12º Levantamento safra 2021/22. Grãos. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=10>. 2022.

COPAJA, S. V., & SEPÚLVEDA, C. DYNAMIC OF HERBICIDES IN SOIL AND SOIL MODIFIED WITH CLAY AND/OR HUMUS. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 67(3), 5587-5594, 2022.

DREHMER, M. H., ZAGONEL, J., FERREIRA, C., & SENGER, M. Herbicides efficacy applied in pre-emergency to control *Digitaria insularis* in bean. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 14(2), 148-154. 2015.

DURÑAES, L.A.B. N., CANDEIAS, E. F. DA SILVA. Distribution, transport and fate of pollutants. In: Duarte, A.C., Cahada, A., Rocha-Santos, T. (Eds.), *Soil Pollution: from*

Monitoring to Remediation. *Academic Press, London, UK*, pp. 29–56. 2018.

EMBRAPA, Guia Clima. Estação – Embrapa – Dourados/MS. Estatística. Disponível em: <https://clima.cpao.embrapa.br/>. Acesso em: 16 jun. 2023.

EUROPEAN WEED RESEARCH COUNCIL [EWRC]. Report of the third and fourth meetings of the European Weed Research Council Committee on methods. *Weed Research*, v. 4, n. 1, p. 79, 1964.

FIETZ, C. R., FISCH, G. F., COMUNELLO, E., FLUMIGNAN, D. L. O clima da região de Dourados-MS. Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos 138. 3ª edição, 2017.

FORTE, C. T. et al. Cultivation systems, vegetable soil covers and their influence on the phytosociology of weeds. *Planta Daninha*, 36: 2-15, 2018.

FRANCISCHINI, A. C., CONSTANTIN, J., OLIVEIRA JR, R. S., SANTOS, G., FRANCHINI, L. H. M., & BIFFE, D. F. Resistência de *Amaranthus retroflexus* a herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase no Brasil. *Planta Daninha*, 32, 437-446. 2014.

GALON, L., FORTE, C. T., KUJAWISKI, R., RADUNZ, A. L., DE DAVID, F. A., PERIN, G. F., & RADUNZ, L. L. Eficácia e fitotoxicidade de herbicidas aplicados para o manejo de plantas daninhas em cevada. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 13(2), 105-116, 2014.

GAZOLA, T., GOMES, D. M., BELAPART, D., DIAS, M. F., CARBONARI, C. A., & VELINI, E. D. Selectivity and residual weed control of pre-emergent herbicides in soybean crop. *Revista Ceres*, 68, 219-229. 2021.

INTERNATIONAL HERBICIDE-RESISTANT WEED DATABASE (HEAP). Herbicide Resistant Weeds in Brazil. International survey of herbicide resistant weeds. 2023. Acesso em: 19 jun. 2023.

KAUR, E., SHARMA, R., & SINGH, N. D. Efficacy of pre-emergence and post-emergence herbicides on weed control and yield in wheat. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 7(2), 883-887. 2018.

KOEHLER-COLE, K., PROCTOR, C.A., ELMORE, R.W., & WEDIN, D.A. Spring-planted cover crops for weed control in soybean. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 36(5), 501-508, 2021.

KHALIL, Y., FLOWER, K., SIDDIQUE, K. H., & WARD, P. Rainfall affects leaching of pre-emergent herbicide from wheat residue into the soil. *Plos one*, 14(2), e0210219. 2019.

LENTH, R. V. 2021. emmeans: Estimated Marginal Means, aka LeastSquares Means. R package version 1.6.2-1. Available at <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans> (accessed June 2023).

LOPEZ-OVEJERO R. F., SOARES, D. J., OLIVEIRA, W. S., FONSECA, L. B., BERGER, G. U., SOTERES, J. K., CHRISTOFFOLETI, P. J. Residual herbicides in weed management for glyphosate resistant soybean in Brazil. *Planta Daninha*. 31(4):947-59, 2013.

LUCIO, F. R., KALSING, A., ADEGAS, F. S., ROSSI, C. V. S., CORREIA, N. M.,

GAZZIERO, D. L. P., *et al.* Dispersal and frequency of glyphosate-resistant and glyphosate-tolerant weeds in soybean producing edaphoclimatic microregions in Brazil. *Weed Technol.*33(1):217-31. Available from: <https://doi.org/10.1017/wet.2018.97>; 2019.

MENDES, M.F., SOUSA, R.N., DIAS, R.C., REIS, M.R. Efeito residual de herbicidas em solos agricultáveis. In *Contaminantes Orgânicos da Análise a Biorremediação*. Tornisielo, V.L., Vilca, F.Z., Guimarães, C.D., Mendes, K., Eds.; FFEALQ: Piracicaba, Brazil, pp. 157–178. 2019.

MEITE, F., ALVAREZ-ZALDÍVAR, P., CROCHET, A., WIEGERT, C., PAYRAUDEAU, S., & IMFELD, G. Impact of rainfall patterns and frequency on the export of pesticides and heavy-metals from agricultural soils. *Science of the Total Environment*, 616, 500-509. 2018.

NAKKA, S., JUGULAM, M., PETERSON, D., & ASIF, M. Herbicide resistance: Development of wheat production systems and current status of resistant weeds in wheat cropping systems. *The Crop Journal*, 7(6), 750-760. 2019.

OLIVEIRA, A. R., FREITAS, S. P., & VIEIRA, H. D. Controle de *Commelina benghalensis*, *C. erecta* e *Tripsogandra diuretica* na cultura do café. *Planta Daninha*, 27, 823-830, 2009.

OPENA, J. L., QUILT, J. R., CORREA JR, T. Q., & CHAUHAN, B. S. Weed population dynamics, herbicide efficacies, and crop performance in a sprinkler-irrigated maize-rice cropping system. *Field Crops Research*, 167, 119-130. 2014.

PALHARINI, W., MAUAD, M., DA SILVA, P. V., DE MEDEIROS, E. S., SCHEDENFFELDT, B. F., & MEDEIROS, B. C. C. Management of *Digitaria insularis* in soybean pre-sowing desiccation by ACCase alternative herbicides and its impact on soybean carryover. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 58(2), 110-119, 2023.

PEREIRA, M. R., MARCHI, S., & MARINS, D. EFFECT OF DIFFERENT HERBICIDES ON *BIDENS PILOSA* AND *EUPHORBIA HETEROPHYLLA* BIOTYPES RESISTANT TO ALS INHIBITORS. *Bioscience Journal*, 38. 2022.

PRYIA, R.S., CHINNUSAMY, C., JANAKI, P.; ARTHANARI, P.M. Persistence and carryover effect of oxyfluorfen residues in red sandy clay loam soil. *J. Pharmacogn. Phytochem*, 6, 527–532. 2017.

R CORE TEAM 2021. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria. Available at <https://www.R-project.org/> (accessed February 2022).

RIGBY, R. A.; Stasinopoulos, D. M. Generalized additive Models for Location, Scale and Shape (with Discussion). *J. Royal Statist. Soc. C*. 2005, 54, 507–554. DOI: 10.1111/j.1467-9876.2005.00510.x.

RIGON, E., AMADO, T. J. C., POTT, L. P., ULGUIM, A. R., & BUSHE, A. K. Densidade de plantas daninhas sob intervenções em três distintas zonas de manejos. *Agrarian*. 13 (49), 405-418. 2020.

RIZZARDI, M. A., ROCKENBACH, A. P. & SCHNEIDER, T. Residual herbicides increase

the period prior to interference in soybean cultivars. *Planta Daninha*, 38, e020222194. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582020380100091>. 2020.

RIZZARDI, M. A., FLECK, N. G., MUNDSTOCK, C. M., & BIANCHI, M. A. Soybean grain yield losses due to interference by beggarticks and arrowleaf sida. *Ciência Rural* 33 (4). 2003.

RODRIGUES, B.N.; ALMEIDA, F.S. **Guia de herbicidas**. 7ª ed., Londrina. 764 p. 2018.

RUDELL, E. C., PETROLI, I. D. S., SANTOS, F. M. D., FRANDALOSO, D., & SILVA, D. R. O. D. Weed interference capacity on soybean yield. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(2), 9541-9547. 2021.

SANTIN, C. O., GIACOMIN, E. L., GALON, A. D., MENEGAT, E. R. ROSSETTO, M. B. FRANCESCHETTI, M. A. BAGNARA, A. M. SILVA, R. J. TONIN, L. BRUNETTO & C. T. FORTE. Association of herbicides for management of weed plants in pre-emergence of soybean culture. *J. Agric. Sci.* 11: 217-224. 2019.

SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T., ANJOS, L. H. C., OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., ALMEIDA, J. A., FILHO, J. C. A., OLIVEIRA, J. B., CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa. 2018.

SILVA, A. F., CONCENÇO, G., ASPIAZÚ, I., FERREIRA, E. A., GALON, L., FREITAS, M. A. M., FERREIRA, F. A. Período anterior à interferência na cultura da soja-RR em condições de baixa, média e alta infestação. *Planta daninha*, 27, 57-66. 2009

DA SILVA, P. V.; BARBOSA, G. C.; FERRARI, A.; TRONQUINI, S. M.; MONQUERO, P. A. Chemical control strategies of *Commelina benghalensis* in Coffee Crop. *Coffee Science* - ISSN 1984-3909, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 231–239, 2019

SOLTANI, N., SHROPSHIRE, C., & SIKKEMA, P. H. Soybean yield loss from delayed postemergence herbicide application based on weed height, days after emergence, accumulated crop heat units, and soybean growth stage. *Weed Technology*, 36(3), 403-408. 2022.

TAKESHITA, V., MENDES, K. F., ALONSO, F. G., & TORNISIELO, V. L. Effect of organic matter on the behavior and control effectiveness of herbicides in soil. *Planta Daninha*, 37, 2019.

TRAVLOUS, I., GAZOULIS, I., KANATAS, P., TSEKOURA, A., ZANNOPOULOS, S., & PAPASTYLIANOU, P. Key factors affecting weed seeds' germination, weed emergence, and their possible role for the efficacy of false seedbed technique as weed management practice. *Frontiers in Agronomy*, 2, 1. 2020.

WESTWOOD, J. H., CHARUDATTAN, R., DUKE, S. O., FENNIMORE, S. A., MARRONE, P., SLAUGHTER, D. C., & Zollinger, R. Weed management in 2050: Perspectives on the future of weed science. *Weed science*, 66(3), 275-285. 2018.

WICKAM, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis (Use R). *O'Reilly Media*: Sebastopol, California, EUA, 2016; 1–224.

CAPÍTULO II – INFLUÊNCIA DE DIFERENTES INTERVALOS E VOLUMES DE CHUVA NA RECUPERAÇÃO DE HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES POSICIONADOS SOBRE A PALHA DO TRIGO.

RESUMO

As climáticas desfavoráveis para semeadura e estabelecimento inicial da soja no campo associados posteriormente para o cultivo do milho demandou o posicionamento de culturas alternativas a esse cereal na segunda safra do Mato Grosso do Sul, a exemplo do trigo, culminando na aplicação de herbicidas pré-emergentes para a soja, sobre sua palhada remanescente no campo. Nesse contexto, o objetivo desse projeto foi avaliar a recuperação dos herbicidas s-metalocloro e s-metalocloro + fomesafen quando posicionados sobre palha de trigo e em variados intervalos entre a aplicação e a simulação de diferentes volumes de chuva. O experimento foi conduzido em laboratório e casa-de-vegetação da Utah State University, na College of Agriculture and Applied Sciences no departamento de plants, soils & climate no laboratório de Weed Science, USA- Estado de UTAH - UT. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, onde as unidades experimentais foram constituídas por painéis de vidro de dimensões 9x9 polegadas nas quais foram posicionadas as palhas de trigo. O experimento foi organizado em esquema fatorial 4x3x2, sendo 4 os períodos de espera entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva (0, 4, 7 e 10 dias), 3 os volumes de precipitação (10, 20 e 30mm), e 2, os herbicidas aplicados (s-metalocloro e s-metalocloro + fomesafen). As aplicações dos tratamentos foram realizadas via câmara de aplicação a uma vazão de 187 l ha⁻¹, e as simulações de chuva, com vazão calibrada para fornecer 1mm/minuto. Imediatamente após a aplicação dos herbicidas, os recipientes foram lavados para quantificação do herbicida não interceptado. Todas as amostras não interceptadas foram levadas para análise em cromatografia líquida de alta performance (HPLC) e quantificadas. Para análise estatística, foi constituído o modelo GAMLASS com distribuição Gama e função de ligação log para o parâmetro de locação e aplicado o teste F. Para desdobramento da interação tripla, o teste de Tukey foi empregado, e, para fatores quantitativos, aplicado o ajuste de regressão. Para o herbicida s-metalocloro, independentemente se isolado ou associado ao fomesafen, após as simulações de chuva, para os três volumes (0, 20 e 30mm) notou-se diferença significativa somente no intervalo de 0 dias entre a aplicação e a simulação de chuva, sendo que, independentemente do produto, as maiores concentrações foram notadas aos 0 dias, enquanto para 4 e 7 dias as diferenças foram pouco expressivas, e, 10 dias apresentou a menor concentração do herbicida. Esse comportamento pode ser explicado pelo alto log K_{ow} do s-metalocloro que lhe confere comportamento lipofílico, resultando em ligações mais estáveis com a palha ao passar do tempo e interferindo na sua recuperação. A recuperação máxima de fomesafen foi aos 0 dias após a aplicação com redução gradativa aos 4, 7 e 10 dias de intervalo. O s-metalocloro é influenciado pelo período de espera entre a aplicação e simulação de chuva, sendo sua recuperação máxima aos 0 dias após a aplicação com expressiva redução em períodos mais longos de espera. O aumento de chuva não foi significativo para o aumento de recuperação do herbicida. Entretanto, para fomesafen, não foi possível estabelecer correlação positiva com a quantidade de chuva simulada, mas sim, com o período de espera, onde, quanto maior o intervalo para a simulação de chuva, menor a recuperação do herbicida.

Palavras – Chave: Interceptação; HPLC; Quantificação.

INFLUENCE OF DIFFERENT INTERVALS AND VOLUME OF RAINFALL IN RECOVERING PRE-EMERGENCE HERBICIDES

ABSTRACT

The unfavorable climatic conditions and soybean's initial establishment at field associated posteriorly to maize's cultivation demanded the positioning of alternative crops to this cereal in second's harvest at Mato Grosso do Sul, as example of wheat, culminating in the application of pre-emergence herbicides for soybean above its remained straw at field. In this context, the objective of this work was to evaluate the recuperation of the herbicides s-metolachlor and s-metolachlor + fomesafen when positioned in wheat's straw and in different intervals of time between the application and the simulation of different rainfall's volume. The experiment was conducted at laboratory and greenhouse of Utah State University, at the College of Agriculture and Applied Sciences at the Department of plants, soils & Climate at the Weeds Science's laboratory, USA – State of UTAH-UT. The experimental delineation utilized was casualized blocks with four repetitions, where the experimental unities were constituted by glass pans of 9x9 inches dimension in which it was positioned the wheat's straw. The experiment was organized in factorial scheme of 4x3x2, where 4 is the waiting periods between the treatment's application and the rainfall's simulation (0, 4, 7 and 10 days), 3 the rainfall's volumes (10, 20 and 30mm), and 2, the applied herbicides (s-metolachlor and s-metolachlor + fomesafen). The treatment's application was done by a Spray Chamber with a flow rate of 187L.ha⁻¹, and the rainfall simulations, with flow rate calibrated to supply 1mm/minute. Immediately after the herbicide's application, the recipients were washed for the non-intercepted herbicide's quantification. All the non-intercepted samples were taken for analysis by high-performance-liquid-chromatography (HPLC) and quantified. For statistical analysis, it was constructed the GAMLASS model with Gama distribution, log's connection function for location's parameter and it was applied the F test. For the triple interaction's unfolding, it was applied the Tukey's test, and, for quantitative factors, applied the regression's adjustment. For the herbicide s-metolachlor, independently if isolated or associated to fomesafen, after the rainfall simulations, for the three volumes (10, 20 and 30mm) it was noticed significant difference only in the interval of 0 days between the application and rainfall simulation, and, independently of the product, the biggest concentrations were noticed at 0 days, while for 4 and 7 days, the difference were not very expressive, and, 10 days presented the lower herbicide's concentration. This behavior can be explained by s-metolachlor's high log K_{ow}, which confers a lipophilic behavior, resulting in mor stable connections with the straw as the time pass and interfering in its recuperation. Fomesafen's maximum recovery were at 0 days after the application with gradual reduction at 4, 7 and 10 days of interval. S-metolachlor is influenced by the waiting period between the application and rainfall simulation, with its maximum recovery at 0 days after the application with expressive reduction in longer waiting periods. The rainfall increasement was not significant for increasing the herbicide's recovery. However, for fomesafen, it wasn't possible to establish a positive correlation with the simulated rainfall's quantity, but it was possible, with the waiting period, which, how longer the interval for the rainfall simulation, lower was the herbicide's recovery.

Key – words: Interception; HPLC; quantification.

1. INTRODUÇÃO

No estado do Mato Grosso do Sul o milho se posiciona como a principal cultura semeada na sucessão da soja. No entanto, no sul do estado, a sucessão soja/milho tem sido rediscutida com o intuito de se buscar culturas alternativas ao milho. Na safra 2019/2020 e 2020/2021 foi observado atraso no início das chuvas, o que resultou, na semeadura tardia das lavouras de soja no estado. Por conseguinte, a semeadura do milho safrinha também sofreu atraso nas lavouras do sul do Mato Grosso do Sul em consequência do atraso da colheita da soja, ocasionando com que o desenvolvimento do cereal ocorra em períodos de ocorrência de geadas (Embrapa, 2020; Embrapa, 2021).

Esse cenário elevou os riscos de semeadura do milho na safrinha, levando o produtor a repensar qual cultura deve ser posicionada na rotação e/ou sucessão com a soja, e assim, a considerar outras hipóteses como o trigo (Embrapa, 2021). Dessa forma, a prática de colheita do trigo e manutenção da palhada na superfície do solo no momento de posicionamento de herbicidas pré-emergentes na cultura da soja, torna importante a avaliação da dinâmica desses herbicidas em relação à recuperação desses produtos, ou seja, a quantidade de herbicida que é transportada da palha até a solução do solo (Kong *et al.*, 2022; Matos *et al.*, 2016).

Nessas condições, para que a barreira imposta pela palha não afete a eficácia de um herbicida, é necessário que ele apresente algumas características específicas, tais como: não sofrer fotodegradação (sendo preferencialmente degradado por microrganismos), não ser lipofílico (produtos com baixo $\log K_{ow}$) e apresentar alta solubilidade em água (Lamoreaux *et al.*, 1993; Watts e Hall, 1996). Por conseguinte, herbicidas pré-emergentes com baixo K_{ow} posicionados sobre a palha são fracamente adsorvidos às matérias lipofílicas, resultando assim, em uma ligação fraca com esse material e possibilitando uma fácil remobilização para o solo quando as chuvas se iniciarem (Locke e Bryson, 1997). Segundo Cavenaghi *et al.*, (2007), é necessário uma chuva de no mínimo 20 mm para que ocorra a mobilidade de herbicidas com alto K_{ow} através da palha de cana de açúcar. Portanto, a quantidade de chuva que ocorre após a aplicação do herbicida é fundamental para a transposição desses produtos da palha até o solo, onde irão exercer a sua função no controle de plantas daninhas (Silva e Monquero, 2013).

Outro aspecto importante é o período de permanência de um produto sobre a palha de trigo até que ocorram as primeiras chuvas, pois, quanto maior a permanência do herbicida na palha, mais suscetível ele estará a degradações, e conseqüentemente, menor será a sua biodisponibilidade no controle de plantas daninhas (Cavenaghi *et al.*, 2007; Tofoli *et al.*, 2009; Toledo *et al.*, 2009; Rossi *et al.*, 2013). Portanto, esse período de permanência do herbicida

sobre a palha exerce grande influência no controle de plantas daninhas na cultura da soja (Patel *et al.*, 2023).

Essa correlação é fundamental principalmente para herbicidas como o s-metalocloro, com baixa solubilidade (480 mg/L) e alto log K_{ow} (3.13) (PPDB, 2023) especialmente no cenário em que o posicionamento de herbicidas pré-emergentes tem ganhado destaque. Além disso, é importante observar que a associação de outros produtos ao s-metalocloro, como o fomesafen, demanda por verificar se a recuperação de herbicidas em palha de trigo será afetada. Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi determinar a recuperação dos herbicidas s-metalocloro e s-metalochlor + fomasafen, quando posicionados em palha de trigo em diferentes intervalos entre aplicação e simulação de diferentes volumes de chuva.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCAL EXPERIMENTAL E OBTENÇÃO DA PALHA DE TRIGO

Os trabalhos foram realizados no laboratório e casa-de-vegetação da Utah State University, na College of Agriculture and Applied Sciences no departamento de plants, soils & climate no laboratório de Weed Science, USA- Estado de UTAH - UT. A palha de trigo vermelho de inverno com alta concentração orgânica foi adquirida pela Thunder ACRES.

2.2 ORGANIZAÇÃO EXPERIMENTAL PARA INTERCEPTAÇÃO DE HERBICIDAS RESIDUAIS PELA PALHA DE TRIGO

As unidades experimentais foram constituídas por painéis de vidro com dimensões de 9x9 polegadas (22x22 cm) (Anchor Hocking) para posicionar a palha seca, sendo que cada painel de vidro foi considerada uma unidade experimental. Foram inseridas 14,52g de palha por painel, obtendo assim, um valor equivalente a 3 t.ha⁻¹. A média de pesagem das palhas de trigo – as quais foram destinadas para cada uma das 96 unidades experimentais – foi de 14,644 gramas. Dessa forma, a estimativa de perda foi de 1g, considerando a estimativa de perda após o posicionamento do resíduo vegetal sobre as cestas metálicas, deslocamento para estufa e retorno para *Spray chamber*, totalizando 13,64g, o que corresponde a 2.818,18 toneladas por hectare de resíduo.

Uma cesta de metal vazia (sem qualquer quantidade de palha) foi posicionada sobre um dos recipientes de vidro. Esse conjunto, foi considerado uma unidade de controle, a qual, foi utilizada para determinar a quantidade total de herbicida aplicado em cada unidade experimental sem interceptação.

2.3 APLICAÇÃO DOS HERBICIDAS

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. O experimento foi organizado em esquema fatorial do tipo 2x4x3 ilustrado na Tabela 2, sendo o primeiro fator, os herbicidas (s-metalocloro e s-metalocloro + fomesafen) descritos na Tabela 1, no segundo fator os períodos de espera após aplicação dos tratamentos com herbicidas para simulação de chuva (0, 4, 7 e 10 dias), e no último fator, as simulações de chuva (10, 20 e 30mm). As aplicações foram efetuadas sobre o equivalente a 3 t.ha⁻¹ de palha e as unidades controle foram constituídas da aplicação dos herbicidas sem a presença de palha e sem a simulação de chuva, com a repetição de três unidades experimentais para cada regime

hídrico (10, 20 e 30mm), e para cada herbicida, sendo assim 24 amostras de interceptação sem palha visando a identificação do volume total de passagem dos herbicidas na aplicação.

Tabela 1. Tratamentos de herbicidas pré emergentes.

Tratamentos	Herbicidas ¹ Ativos	Herbicidas ² Nome comercial	Dose I.A. (g i.a ha ⁻¹)	Dose Comercial (L/Kg.ha ⁻¹)
T1	s-metalocloro	Dual Gold	1440	1,5
T2	s-metalocloro + fomesafen	Eddus	1035 + 228	2,0

Tabela 2. Esquema Herbicidas x Intervalo de Precipitação x Volume de Precipitação.

Nome comercial herbicidas	Intervalo precipitação após aplicação (dias)	Volume precipitação (mm)
Dual Gold	0	10
		20
		30
	4	10
		20
		30
	7	10
		20
		30
10	10	
	20	
	30	
Eddus	0	10
		20
		30
	4	10
		20
		30
	7	10
		20
		30
10	10	
	20	
	30	

Os herbicidas s-metalocloro e s-metalocloro + fomesafen, nas doses de 1440 e 1035 + 228 g i.a.ha⁻¹, sendo 1,5 e 2,0 L.ha⁻¹ respectivamente, foram aplicados de forma isolada, ou seja, um único produtos sobre cada unidade experimental, usando para tal, uma câmara de aplicação de pesquisa do tipo trilha da Geração III (DeVries Manufacturing Corp, Hollandale, MN) equipado com um bico de pulverização do tipo leque plano TeeJet 8002 EVS (TeeJet Spraying Systems Co., Wheaton, IL) calibrado para obter uma vazão de 187 L.ha⁻¹ a 172 Kpa (25 lb-in²). As simulações de chuva foram realizadas após cada período analisados e calibradas de forma a fornecer 1mm de precipitação/minute a 172 Kpa.

2.4 COLETA DE AMOSTRAS E ANÁLISES DE HERBICIDAS

Imediatamente após a aplicação dos herbicidas, os recipientes de vidro foram lavados com 50 mililitros de água anteriormente às simulações de chuva para quantificar a quantidade de herbicida não interceptada pela palha de trigo, para aplicações dos herbicidas (s-metalocloro + fomesafen – Eddus e s-metalocloro – Dual Gold). O volume total de água foi coletado em frascos de vidro de 50mL (Corning Life Sciences, Corning, NY) e armazenado a 4°C para posterior análise.

Após cada período de espera entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva, as cestas de aço inoxidável foram trazidas de volta à casa de vegetação, onde foi realizada as simulações de chuva através da câmara de aplicação. Após cada simulação, o volume total de chuva em cada panela de vidro foi coletado em frascos de vidro e armazenados a 4°C para análise. A média total de volume por intensidade de precipitação foi 335.94mL, 734.22mL e 1151.25mL aos 10mm, 20mm e 30mm respectivamente.

Todas as amostras coletadas não interceptadas e soluções de precipitação foram filtradas em frascos de 2mL através de 0.22 µm de malha, filtro de seringa PTFE de 25mm para análise em cromatografia líquida de alta performance (HPLC). A concentração dos herbicidas foi determinada através da separação cromatográfica do s-metalocloro e fomesafen utilizando-se uma coluna Poroshell 120 EC-C18 (100 x 4.6mm, 2.7µm, Agilent Technologies, Santa Clara, CA) em um Sistema 1260 Infinity II (Agilent Technologies, Santa Clara, CA). A fase móvel foi composta de 0,1% ácido fórmico/fosfórico (A) e acetanitrila contendo 0,1% de ácido fosfórico (B). A vazão utilizada foi de 1 mL/min com uma evolução gradiente de 25 para 100% B por 10 minutos. O volume de injeção foi 5µL e a detecção de ambos os herbicidas foram por (Agilent Technologies, Santa Clara, CA). Picos de fomesafen e s-metolacloro foram identificados entre 7.4 e 7.6 minutos, e, 7.6 e 7.8 minutos respectivamente.

2.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Quando avaliada as variáveis HPLC.S MocAll e HPLC Fomesafen foi aplicado os modelos GAMLSS com distribuição Gama e função de ligação log para o parâmetro de locação. Nesse ajuste o efeito aleatório da parcela foi inserido durante o ajuste dos modelos GAMLSS.

O teste Tukey tem sido utilizado para comparação entre os níveis de Produto, embora houvessem apenas dois tipos de produto e o teste F fosse conclusivo, optou-se por apresentar os resultados do teste Tukey devido ao desdobramento da interação tripla. Para os fatores quantitativos, esses foram submetidos aos ajustes da regressão. Nesse estudo, o software R (R Core Team, 2023) foi utilizado nas análises estatísticas. Adicionalmente, foram carregadas as bibliotecas `gamlss` (Rigby e Stasinopoulos, 2005), `emmeans` (Lenth, 2023) e `ggplot2` (Wickham, 2016).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação aos dados de transporte de herbicidas pré-emergentes em palha de trigo, na Tabela 3 são apresentados os resultados da análise de Deviance para o ajuste da variável de quantificação dos herbicidas através da metodologia de HPLC. Através da análise dos dados se observa que a interação tripla Produtos x Dias após a aplicação x Chuva foi significativa, e por conseguinte, foi realizado o desdobramento dessa interação.

Tabela 3 – Resultados da análise de Deviance para as variáveis experimentais analisadas.

Fonte de Variação	Gl	Valor F	Valor p	Normalidade	CV
Produto	1	66,2961	0,0000		
Dias após aplicação	3	1431,5184	0,0000		
Chuva	2	89,7245	0,0000		
Produto x Dias após aplicação	3	15,3976	0,0000	0,1015	12,27%
Produto x Chuva	2	6,2868	0,0085		
Dias após aplicação x Chuva	6	4,9160	0,0004		
Produto x Dias após aplicação x Chuva	6	6,4281	0,0000		

Na análise da figura 1, são apresentados os dados inerentes à interação tripla Produtos x Dias após a aplicação x Chuva. Nessa figura são apresentados os dados relativos da concentração de s-metalocloro, o qual se trata do único ingrediente ativo do herbicida Dual Gold e um dos ingredientes ativos do Eddus. Na simulação de chuva de 10 mm efetuada aos 0 dias após a aplicação dos herbicidas, se observou uma diferença significativa entre os herbicidas Eddus e Dual Gold, sendo a concentração de s-metalocloro detectada para o primeiro herbicida de 2000 µg, e para o segundo, próximo a 3500 µg. Nessa simulação de chuva (10 mm), para os períodos de 4, 7 e 10 dias após a aplicação dos tratamentos, não houve diferença significativa entre os tratamentos Eddus e Dual Gold.

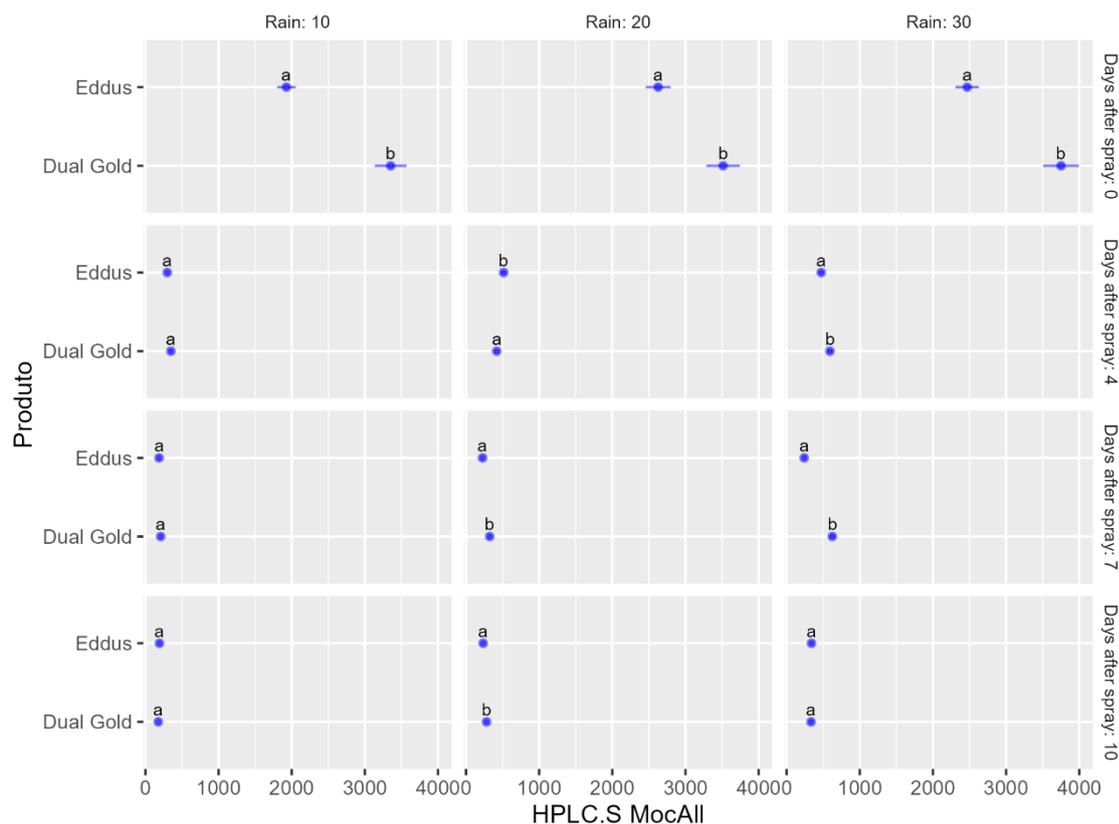


Figura 1 – Análise do desdobramento de produto na interação Dias após aplicação vs Chuva

Em relação à chuva de 20mm, para o intervalo de 0 dias após a aplicação dos tratamentos, também se observou diferença significativa entre os herbicidas Eddus e Dual Gold, sendo que a concentração de s-metalocloro para o primeiro, foi próxima a 2500 μg e de 3500 μg para o segundo. Na mesma simulação de chuva (20mm), para os períodos de 4, 7 e 10 dias após a aplicação dos herbicidas, se observou uma concentração de s-metalocloro inferior a 500 μg independente do produto (figura 1).

Já na simulação de chuva de 30 mm, para o intervalo de 0 dias após a aplicação dos tratamentos, se observou uma concentração de 2500 μg e próxima a 4000 μg para os herbicidas Eddus e Dual Gold, respectivamente. Para o período de 4 dias após a aplicação dos tratamentos, se observou diferença significativa entre Eddus e Dual Gold com valores muito próximos, no entanto, o primeiro herbicida apresentou um valor ligeiramente inferior quando comparado ao segundo. Ainda na simulação de chuva de 30 mm, também se observou diferença significativa entre Eddus e Dual Gold, com concentração de s-metalocloro inferior a 500 μg e superior a 500 μg respectivamente. No período de 10 dias após a aplicação dos herbicidas, não houve diferença significativa entre os produtos. Na figura 2 são apresentados os valores da correlação quantidade de s-metalocloro por volume de chuva para o herbicida s-metalocloro e sua associação comercial com o fomesafen (Eddus). A primeira observação é que

independentemente do herbicida, s-metalocloro e s-metalocloro + fomesafen, o maior valor de recuperação do s-metalocloro está relacionado ao período de 0 dias de intervalo entre a aplicação dos herbicidas e a simulação de chuva. Logo, aos 0 dias de simulação de chuva após a aplicação dos herbicidas, se obteve valores superiores a 3000 μg e 2000 μg de concentração de s-metalocloro para s-metalocloro isolado e em associação com fomesafen, respectivamente. A segunda observação se dá que independentemente dos dias de simulação de chuva após a aplicação do herbicida, a recuperação de s-metalocloro foi maior quando o produto foi aplicado de forma isolada quando em comparação ao produto posicionado de forma associada ao fomesafen. Na análise das regressões, independentemente do produto, as maiores concentrações foram detectadas aos 0 dias após a aplicação dos tratamentos, enquanto, para 4 e 7 dias, as diferenças foram pouco expressivas e aos 10 dias notou-se a menor concentração de s-metalocloro.

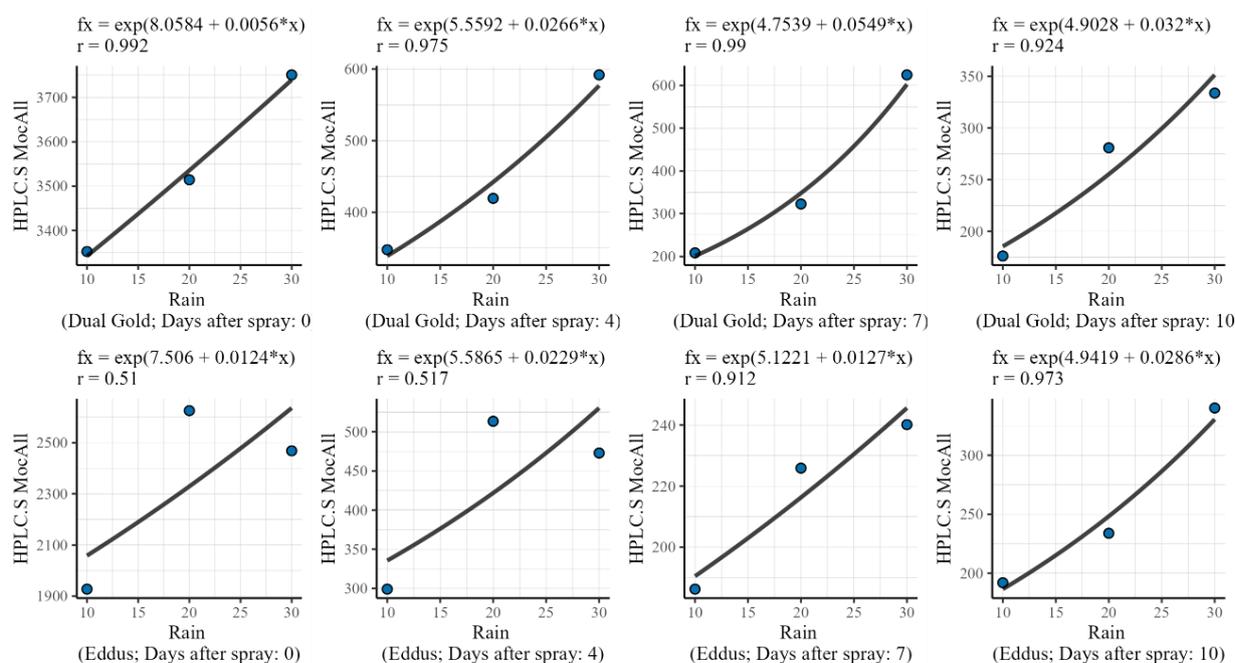


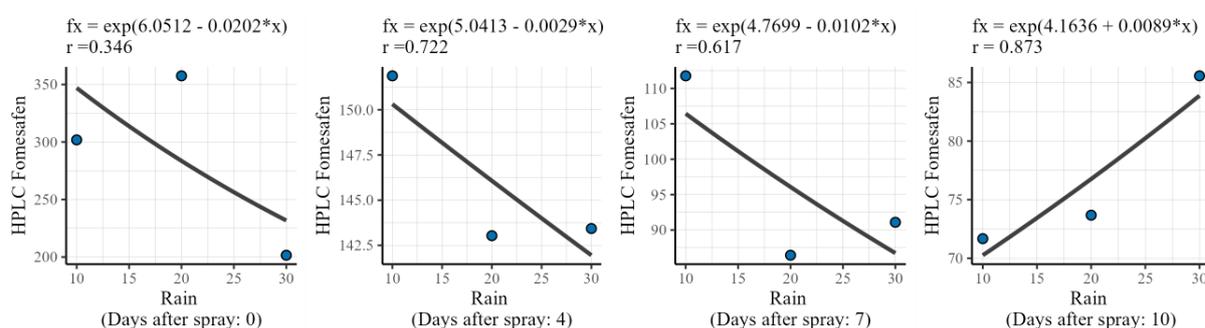
Figura 2 – Ajuste da regressão da variável HPLC.S MocAll em função da Chuva

Já na tabela 4, são apresentados os resultados da análise de Deviance para o ajuste da variável HPLC Fomesafen. A interação, Days after spray vs Rain, foi significativa, sendo necessário realizar a desdobramento dessa interação.

Tabela 4 – Resultado da análise de Deviance quando avaliado a variável HPLC Fomesafen

Fonte de Variação	gl	F-value	p-value	Normalidade	CV
Dias após aplicação	3	93,0611	0,0000		
Chuva	2	1,3499	0,3071	0,7030	20,21%
Dias após Aplicação X Chuva	6	3,2003	0,0167		

Na figura 3 são apresentados os dados relativos à recuperação de fomesafen em relação à aplicação do herbicida comercial Eddus (s-metalocloro + fomesafen). De uma forma geral, a recuperação de fomesafen não apresentou linearidade em relação à recuperação desse herbicida. No primeiro gráfico, se observa a recuperação de fomesafen aos 0 dias de simulação de chuva após a aplicação do herbicida. Para esse período se observou o maior valor de recuperação em comparação aos demais períodos. Dessa forma, a recuperação máxima de fomesafen foi aos 0 dias após a aplicação dos herbicidas apresentando redução gradativa aos 4, 7 e 10 de simulação de chuva após a aplicação dos tratamentos.

**Figura 3** – Ajuste da regressão da variável HPLC Fomesafen em função de “Rain” (Chuva).

Na figura 4 são apresentadas três figuras relativas à correlação entre a recuperação de fomesafen e os intervalos para ocorrência de chuva após a aplicação do herbicida s-metalocloro + fomesafen em função das simulações de chuva. Dessa forma, é possível afirmar que, independentemente da quantidade de chuva simulada, quanto maior o período de espera entre a aplicação do herbicida e a simulação de chuva, menor foi a recuperação do herbicida. Portanto, para todas as simulações de chuva a maior recuperação foi aos 0 e a menor aos 10 dias sem chuva após a aplicação do herbicida.

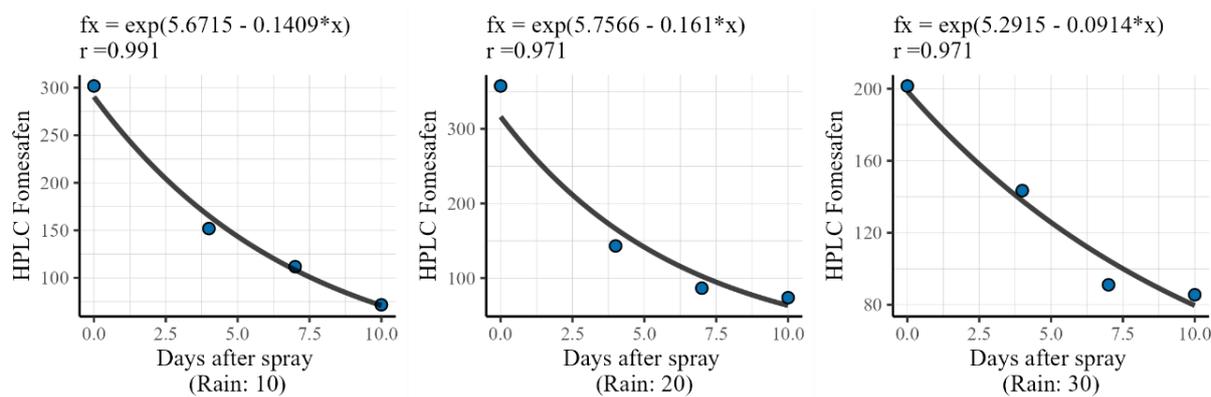


Figura 4 – Ajuste da regressão da variável HPLC Fomesafen em função do “Dias após aplicação”

Para a aplicação de s-metalocloro e s-metalocloro + fomesafen, o intervalo de tempo entre a aplicação e ocorrência de chuvas, independentemente da quantidade chuva, 10, 20 e 30 mm observa-se que no período de 0 dias sem chuva após a aplicação do herbicida, se observou a maior recuperação de s-metalocloro. Esse comportamento também é reforçado pela análise da concentração do s-metalocloro, pois, independentemente do produto, a recuperação foi maior no período de 0 dias de intervalo entre a aplicação do herbicida e a simulação de chuva, pois nos demais períodos esse valor chega a ser 75% inferior nos períodos de 4, 7 e 10 dias.

Isso indica que quanto maior o período de espera dos herbicidas sobre a palha de trigo, mais difícil se torna a recuperação do s-metalocloro, independentemente se aplicado isolado ou em associação com o fomesafen. Esse comportamento pode ser associado à característica físico-química do s-metalocloro de apresentar alto $\log K_{ow}$, o qual, confere comportamento lipofílico ao herbicida, ocasionando com que o maior período de espera sobre a palha de trigo (que também é um material lipofílico e com alto teor de lignina) resulte em ligações de maior estabilidade, dificultando a sua recuperação em longos períodos independentemente da quantidade de chuva simulada.

Outro aspecto relevante é que a aplicação de s-metalocloro e de s-metalocloro + fomesafen, a chuva de 10 mm nos períodos de 4, 7 e 10 dias após a aplicação dos tratamentos não é suficiente para recuperação desse produto já que não houve diferença significativa entre os tratamentos nesses períodos. Esse comportamento era esperado, visto que a quantidade mínima de chuva para a recuperação de herbicidas posicionados sobre a palha é de 20 mm. Nesse sentido, a simulação da chuva de 10mm não foi suficiente para transposição do herbicida da palha para dentro da unidade experimental, comprovando a necessidade de maiores volumes de chuva, independentemente se aplicado o produto de forma isolada ou associada.

Clark *et al.*, (2019), comprovaram a influência do período de espera entre a aplicação de herbicidas e a simulação de chuva. Os autores verificaram que a chuva simulada aos 0 dias após a aplicação dos herbicidas rimsulfuron e imazapic sobre palha de *Bromus tectorum*, recuperaram 100% dos produtos inicialmente interceptados, enquanto que, a recuperação desses mesmos herbicidas diminuiu para 65% quando a chuva ocorreu aos 1 e 7 dias após a aplicação. Para o herbicida indaziflam, apenas 54% foi recuperado aos 0 dias além de apresentar redução para 33% quando simulada a chuva aos 1 ou 7 dias após a aplicação. Os autores também observaram a influência da chuva na recuperação dos herbicidas, principalmente, os lipofílicos, a exemplo do indaziflam. Nesse sentido, a recuperação de indaziflam aos 0 dias foi linear e apresentou resultado positivo de correlação entre quantidade de chuva e dessorção ($R^2 = 0,96$, $P < 0,001$). Na menor quantidade de precipitação (3 mm), $9,3 \pm 1,1\%$ do herbicida interceptado foi recuperado, enquanto $53,7 \pm 1,9\%$ foi recuperado com a maior quantidade de chuva (24 mm).

Para o período de simulação de chuva de 0 dias após a aplicação dos herbicidas, independentemente da quantidade de chuva simulada, a recuperação da aplicação de s-metalocloro foi maior quando comparada à aplicação de s-metalocloro + fomesafen. Esse comportamento está associado à maior concentração de s-metalocloro na aplicação isolada, a qual associada à ausência de espera para simulação de chuva após a aplicação, resultou em maior recuperação desse produto quando comparada à aplicação de s-metalocloro + fomesafen.

Para a recuperação de s-metalocloro, independentemente do intervalo entre a aplicação do produto e a simulação de chuva, quanto maior o volume hídrico, maior foi a concentração de s-metalocloro observada na unidade experimental. Entretanto, se destaca que apenas o aumento da quantidade de chuva após diferentes intervalos, não necessariamente resulta em alta recuperação do herbicida, pois, aos 0 dias, a concentração de s-metalocloro foi superior a $3.000 \mu\text{g}$ independentemente da chuva. Em contrapartida, nos períodos de 4 e 7 dias, a recuperação máxima foi de 600 e 350 μg , o que indica que quanto maior o tempo de espera do s-metalocloro sobre a palha de trigo, mais difícil se torna sua recuperação, além do fato de que o aumento de quantidade de chuva não resulta em incremento nessa recuperação.

Como notado por Duque *et al.*, (2023), a cobertura vegetal pode atuar como antagonico para a eficácia de herbicidas residuais devido à presença de celulose e lignina em seus resíduos, o que acaba por favorecer principalmente a sua adsorção e biodegradação. Isso é corroborado pelo próprio autor ao notar que tratamentos com a presença de palha causaram a absorção dos herbicidas s-metalocloro + glifosato pela cobertura vegetal, e conseqüentemente, passassem a apresentar redução de eficácia. Isso se dá pelo fato que o s-metalocloro apresenta solubilidade

em água relativamente baixa (480 mg/L) e hidrofobicidade moderada ($\log K_{ow} = 3.13$) (PPDB, 2023), o que, portanto, ocasiona em maior adsorção aos resíduos orgânicos. Dessa forma, é possível notar que a maior disponibilidade do s-metolacloro quando em comparação ao s-metolacloro + fomesafen se dá pela concentração do ingrediente ativo no produto comercial, visto que, os herbicidas apresentam concentrações de s-metolacloro respectivas de 960 e 119,54 g i.a.L⁻¹ (Agrofit, 2023).

Para o herbicida fomesafen, os valores em μg foram todos inferiores a 400 μg , sendo que a curva de identificação não ficou tão clara utilizando o equipamento e software em questão, desta forma, não é possível afirmar que o aumento de volumes de chuva culmina em maiores recuperações desse produto. Estudos sobre o fomesafen são importantes devido ao fato que, no Brasil, esse produto não era posicionado como pré-emergente e sim como pós-emergente na cultura da soja.

4. CONCLUSÃO

Logo, conclui-se que o s-metalocloro é influenciado pelo período de espera entre a aplicação e simulação de chuva, sendo que a recuperação máxima foi obtida aos 0 dias após a aplicação. Além disso, houve uma expressiva redução em períodos mais longos de espera e o aumento de chuva não significou necessariamente aumento de recuperação do herbicida. Em contrapartida, para fomesafen, não foi possível estabelecer uma correlação positiva com a quantidade de chuva simulada, mas se estabeleceu uma correlação significativa com o período de espera, no qual, quanto maior o tempo de espera para simulação de chuva, menor foi a recuperação do herbicida.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROFIT. Sistemas de agrotóxicos fitossanitários. Disponível em: https://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 02 set. 2023.
- CAVENAGHI, A.L. et al. Dinâmica do herbicida amicarbazone (Dinamic®) aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). *Planta Daninha*, v.25, n.4, p.831-37, 2007.
- CLARK, S. L., DA SILVA, P. V., DAYAN, F. E., NISSEN, S. J., & SEBASTIAN, D. J. The influence of winter annual grass litter on herbicide availability. *Weed Science*, 67(6), 702-709. 2019.
- DUQUE, T. S., OLIVEIRA, F. S., SOUZA, I. M., FERNANDES, B. C. C., DA SILVA RODRIGUES, L. L. L., SILVA, D. V., & DOS SANTOS, J. B. Efficacy of S-metolachlor+ glyphosate for Weed Control in Different Levels of Eucalyptus Straw. *Forests*, 14(9), 1828. 2023.
- EMBRAPA. Trigo: Projeção de crescimento em todo o Brasil. Notícias. Busca por notícias. Abr. 202. Acesso em: 26 jun. 2023.
- KONG, D., REN, C., YANG, G., LIU, N., SUN, J., ZHU, J., & FENG, Y. Long-term wheat-soybean rotation and the effect of straw retention on the soil nutrition content and bacterial community. *Agronomy*, 12(9), 2126. 2022.
- LAMOREAUX, R. J., JAIN, R., HESS, F. D. Efficacy of dimethenamid, metolachlor and encapsulated alachlor in soil covered with crop residue. Brighton *Crop Protec.* Conf. Weeds, v. 3, p. 1015-1020, 1993.
- LENTH R. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.8.4-1, <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>. 2023.
- LOCKE, M.A. & BRYSON, C.T. Herbicide-soil interaction in reduced tillage and plant residue management systems. *Weed Sci.*, 45(2): 307-320. <http://dx.doi.org/10.1017/S0043174500092882>, 1997.
- DE MATOS, A. K. A., CARBONARI, C. A., & COTRICK, G. L. G. Dynamics of preemergent herbicides in production systems with straw1. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 15(1), 97-106. 2016.
- PATEL, F., TREZZI, M. M., NUNES, A. L., BITTENCOURT, H. V. H., DIESEL, F., & PAGNONCELLI JR, F. D. B. The straw presence preceding soybean crop increases the persistence of residual herbicides. *Advances in Weed Science*, 41, e020200051. 2023.
- PPDB, Footprint Pesticides Properties Database database. 2023.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. 2022.

RIGBY R.A. e STASINOPOULOS D.M. Generalized additive models for location, scale and shape (with discussion), *Appl. Statist.*, 54, part 3, pp 507-554. 2005.

ROSSI, C.V.S., VELINI, E.D., LUCHINI, L.C., NEGRISOLI, E., CORREA M.R., PIVETTA, J.P., *et al.* Dinâmica do herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar (*Saccarum officinarum*). *Planta Daninha*, v.31, n.1, p.223- 230, 2013.

DA SILVA, P. V., & MONQUERO, P. A. Influência da palha no controle químico de plantas daninhas no sistema de cana crua. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 12(1), 94-103. 2013.

TOFOLI, G.R.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CAVENAGHI, A.L.; MARTINS, D. Dinâmica do tebuthiuron em palha de cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, v.27, n.4, p.815-821, 2009.

TOLEDO, R.E.B., PERIM, L., NEGRISOLI, E.; CORREA, M.R., CARBONARI, C.A., ROSSI, C.V.S., VELINI, E.D. Eficácia do herbicida amicarbazone aplicado sobre a palha ou no solo no controle de plantas daninhas na cultura de cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, v.27, n.2, p.319-326, 2009.

WATTS, D. W., HALL, J. K. Tillage and application effects on herbicide leaching and runoff. *Soil and Tillage Research*, v. 39, n. 3-4, p. 241-257, 1996.

WICKHAM, H.. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, <https://ggplot2.tidyverse.org>, 2016.