



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ABILIO FELIPE OLIVEIRA LOPES

**SELETIVIDADE DE MESOTRIONA + ATRAZINA EM DIFERENTES
CULTIVARES DE SOJA E EFICÁCIA NO CONTROLE DE BUVA (*Conyza*
spp.)**

Londrina
2023

ABILIO FELIPE OLIVEIRA LOPES

**SELETIVIDADE DE MESOTRIONA + ATRAZINA EM DIFERENTES
CULTIVARES DE SOJA E EFICÁCIA NO CONTROLE DE BUVA (*Conyza*
spp.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do Título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Giliardi Dalazen.

Londrina
2023

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

Lopes, Abílio Felipe Oliveira.

SELETIVIDADE DE MESOTRIONA + ATRAZINA EM DIFERENTES CULTIVARES DE SOJA E EFICÁCIA NO CONTROLE DE BUVA (*Conyza spp.*) / Abílio Felipe Oliveira Lopes. - Londrina, 2023.
68 f.

Orientador: Giliardi Dalazen.

Dissertação (Mestrado Profissional em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023.

Inclui bibliografia.

1. Plantas daninhas - Tese. 2. Mistura de herbicidas - Tese. 3. Seletividade - Tese. 4. Sinergismo - Tese. I. Dalazen, Giliardi. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

ABILIO FELIPE OLIVEIRA LOPES

**SELETIVIDADE DE MESOTRIONA + ATRAZINA EM DIFERENTES
CULTIVARES DE SOJA E EFICÁCIA NO CONTROLE DE BUVA (*Conyza*
spp.)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do Título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Giliardi Dalazen
Universidade Estadual de Londrina –
UEL

Prof. Dr. Halley Caixeta de Oliveira
Universidade Estadual de Londrina –
UEL

Prof. Dra. Neriane Hijano
Universidade Estadual de Londrina –
UEL

Londrina, 27 de julho 2023.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Londrina – UEL e a todos os docentes e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Agronomia;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos durante os anos desta pesquisa;

Ao meu orientador Prof. Dr. Giliardi Dalazen pela amizade, pelas orientações e sugestões;

Aos membros que compõem a banca de defesa, Prof. Dr. Halley Caixeta de Oliveira e a Prof. Dra. Neriane Hijano, por aceitarem o convite e pelas contribuições para o aperfeiçoamento do meu trabalho;

Aos meus pais, Abílio José e Cleide Lopes, à minha namorada Amanda Sena, aos meus sogros, Wilson e Sílvia Sena, pelo amor, apoio, incentivo e estímulo ao estudo, e que sempre torceram por mim;

Aos meus amigos do grupo de estudos em Herbologia da Universidade Estadual de Londrina, em especial, Édson Amorim, Gustavo Gasque, João Endí, João Paulo Sartori, Leonardo Zarelli, Marcos Fico, Rafael Magro, Sérgio Faraum e Victor Volante, por me ajudarem em todas as etapas deste trabalho;

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram com a minha formação e meu trabalho, muito obrigado!

LOPES, Abilio Felipe Oliveira. **Seletividade de mesotriona + atrazina em diferentes cultivares de soja e eficácia no controle de buva (*Conyza spp.*)**. 2023. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

RESUMO

Mesotriona e atrazina são herbicidas tradicionalmente recomendados para a cultura do milho, e não seletivos para a cultura da soja. Recentemente foi lançada no mercado uma mistura comercial de mesotriona + atrazina, com posicionamento de aplicação entre 30 e 45 dias antes da semeadura da soja, para o controle antecipado de plantas daninhas como a buva. Os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar a sensibilidade de diferentes cultivares de soja ao residual da mistura comercial de mesotriona + atrazina aplicadas em diferentes doses e épocas; (ii) avaliar a eficiência da mistura comercial de mesotriona + atrazina no controle de buva em comparação à atrazina isolada. Para determinar a sensibilidade das cultivares de soja foram conduzidos dois experimentos a campo, em solo argiloso. O primeiro experimento foi um fatorial 3 x 3, em que o fator A foi composto por três cultivares de soja e o fator B foi composto pela aplicação de duas doses de mesotriona + atrazina (50 + 500 g i.a. ha⁻¹ e 100 + 1000 g i.a. ha⁻¹, respectivamente), 45 dias antes da semeadura da soja, além da testemunha. O segundo experimento foi um fatorial 4 x 2, sendo o fator A composto por quatro intervalos entre a aplicação do herbicida e a semeadura da soja, sendo; 7, 15, 30 e 45 dias; e o fator B foi composto por testemunha e uma dose do herbicida mesotriona + atrazina (50 + 500 g i.a. ha⁻¹). Aos 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a semeadura (DAS) foram avaliadas a injúria causada pelo herbicida, a eficiência quântica máxima e efetiva do fotossistema II (Fv/Fm), taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) e o teor de clorofila através do índice SPAD. Na maturação fisiológica de cada cultivar foi avaliada a produtividade de grãos. Para determinar a eficiência da mistura comercial de mesotriona + atrazina no controle de buva e estudar o potencial sinergismo entre os ingredientes ativos foi conduzido um experimento em casa de vegetação. A atrazina foi aplicada nas doses de 62,5; 125; 250; 500; 1000 e 2000 g i.a. ha⁻¹ na formulação isolada e na formulação com mesotriona, além da aplicação isolada de mesotriona e um tratamento testemunha. Foi avaliado o controle de buva aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após aplicação dos herbicidas, além das massas fresca e seca da parte aérea aos 35 DAT. Para o experimento conduzido com diferentes cultivares de soja, a cultivar Brasmax Fibra apresentou maiores valores de Fv/Fm e SPAD quando comparada com as demais cultivares, mostrando uma tolerância maior ao residual do herbicida no início do desenvolvimento da cultura, aos 14 e 21 DAS. Na avaliação de produtividade não foram observadas diferenças em relação às doses de herbicida testadas, as diferenças ocorreram apenas em relação às diferentes cultivares. A aplicação de mesotriona + atrazina mostrou-se seletiva quando aplicada na cultura da soja, independentemente da dose, cultivar e época de aplicação. A atrazina apresentou controle satisfatório de buva (> 85%) apenas na dose máxima aplicada (2000 g i.a. ha⁻¹). Já a mistura comercial de mesotriona + atrazina apresentou controle satisfatório a partir da dose de 500 g de atrazina ha⁻¹, resultando em sinergismo pelo método de Colby. Conclui-se que a mistura comercial de mesotriona + atrazina não causa efeitos negativos sob a produtividade da soja e é eficaz no controle de buva, resultando em sinergismo.

Palavras-chave: *Carry-over*; Formulação; Inibidores do Fotossistema II; Inibidores da

síntese de Carotenoides; Sinergismo.

LOPES, Abilio Felipe Oliveira. **Selectivity of mesotrione + atrazine in different soybean cultivars and effectiveness in controlling horseweed (*Conyza* spp.)**. 2023. 68 p. Dissertation (Master Degree in Agronomy) – Londrina State University, Londrina, 2023.

ABSTRACT

Mesotrione and atrazine are herbicides traditionally recommended for corn, not selective for soybeans. A commercial mixture of mesotrione + atrazine was recently launched on the market, with application positioning between 30 and 45 days before soybean sowing, for the early control of weeds such as horseweed. The objectives of this work were: (i) to evaluate the sensitivity of different soybean cultivars to the residual of the commercial mixture of mesotrione + atrazine applied at different doses and times; (ii) evaluate the efficiency of the commercial mixture of mesotrione + atrazine in the control of horseweed compared to atrazine alone. To determine the sensitivity of soybean cultivars, two field experiments were carried out in clayey soil. The first experiment was a 3 x 3 factorial, in which factor A was composed of three soybean cultivars and factor B was composed of the application of two doses of mesotrione + atrazine (50 + 500 g i.a. ha⁻¹ and 100 + 1000 g i.a. ha⁻¹, respectively), 45 days before soybean sowing, in addition to the control. The second experiment was a 4 x 2 factorial, with factor A consisting of four intervals between herbicide application and soybean sowing, namely; 7, 15, 30 and 45 days; and factor B was composed of a control and a dose of the herbicide mesotrione + atrazine (50 + 500 g i.a. ha⁻¹). At 14, 21, 28, 35 and 42 days after sowing (DAS) the injury caused by the herbicide, the maximum and effective quantum efficiency of photosystem II (Fv/Fm), relative electron transport rate (ETR) and the chlorophyll content through the SPAD index. At the physiological maturation of each cultivar, grain yield was evaluated. To determine the efficiency of the commercial mixture of mesotrione + atrazine in controlling horseweed and to study the potential synergism between the active ingredients, an experiment was conducted in a greenhouse. Atrazine was applied at doses of 62.5; 125; 250; 500; 1000 and 2000 g ai ha⁻¹ in the isolated formulation and in the formulation with mesotrione, in addition to the isolated application of mesotrione and a control treatment. The control of horseweed was evaluated at 7, 14, 21, 28 and 35 days after herbicide application, in addition to the fresh and dry mass of the aerial part at 35 DAT. For the experiment conducted with different soybean cultivars, the Brasmax Fibra cultivar showed higher Fv/Fm and SPAD values when compared to the other cultivars, showing greater tolerance to the herbicide residue at the beginning of crop development, at 14 and 21 DAS. In the productivity evaluation, no differences were observed in relation to the herbicide doses tested, the differences only occurred in relation to the different cultivars. The application of mesotrione + atrazine proved to be selective when applied to soybeans, regardless of dose, cultivar and time of application. Atrazine showed satisfactory control of horseweed (> 85%) only at the maximum applied dose (2000 g i.a. ha⁻¹). The commercial mixture of mesotrione + atrazine, on the other hand, showed satisfactory control from the dose of 500 g of atrazine ha⁻¹, resulting in synergism by the Colby method. It is concluded that the commercial mixture of mesotrione + atrazine does not cause negative effects on soybean productivity and is effective in controlling horseweed, resulting in synergism.

Keywords: *Carry-over*; Formulation; Photosystem II inhibitors; Carotenoid synthesis inhibitors; Synergism.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO A

- Figura 1** - Condições meteorológicas desde a aplicação das doses de herbicida e a semeadura das cultivares de soja em experimento conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina- PR. 32
- Figura 2** - Eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm) das diferentes cultivares de soja aos 14 DAE independente da dose de herbicida, em experimento conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR 37
- Figura 3** - Teor de clorofila (SPAD) das diferentes cultivares de soja aos 14 DAE, em experimento conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR. 38
- Figura 4** - Eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm) das diferentes cultivares de soja aos 21 DAE, em experimento conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR 40
- Figura 5** - Teor de clorofila (SPAD) das diferentes cultivares de soja aos 21 DAE, em experimento conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR 40
- Figura 6** - Produtividade (kg ha⁻¹) das diferentes cultivares de soja submetidas às doses do herbicida mesotriona + atrazina em experimento conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR 41

ARTIGO B

- Figura 7** - Controle de buva (*Conyza* spp.) em resposta à aplicação de doses de atrazina e atrazina + mesotriona (Atz + Meso) aos 7 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de

Londrina, Londrina-PR.	54
Figura 8 - Controle de buva (<i>Conyza</i> spp.) aos 14 DAT no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.	56
Figura 9 - Controle de buva (<i>Conyza</i> spp.) aos 21 DAT no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.	57
Figura 10 - Controle de buva (<i>Conyza</i> spp.) aos 28 DAT no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.	58
Figura 11 - Controle de buva (<i>Conyza</i> spp.) aos 35 DAT no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.	59
Figura 12 - Controle visual de buva (<i>Conyza</i> spp.) aos 35 DAT sob aplicação de atrazina e atrazina + mesotriona no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.	60
Figura 13 - Massa fresca da parte aérea (MFPA) das plantas de buva (<i>Conyza</i> spp.) determinada aos 35 DAT no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.	61
Figura 14 - Massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de buva (<i>Conyza</i> spp.) determinada aos 35 DAT no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR	61

LISTA DE TABELAS

ARTIGO A

- Tabela 1** - Doses do herbicida mesotriona + atrazina utilizadas nos experimentos conduzidos no verão de 2021/22 e de 2022/23 na fazenda escola da Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina- PR. 33
- Tabela 2** - Escala de avaliação visual de controle utilizada em todos experimentos de campo conduzidos na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR. 35
- Tabela 3** - Eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm) e teor de clorofila (SPAD) aos 14, 21, 28, 35 e aos 42 DAE submetidas às doses do herbicida mesotriona + atrazina em experimento conduzido no verão de 2021/22 na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR. 39
- Tabela 4** - Produtividade média da cultivar Brasmax Fibra submetida à aplicação do herbicida mesotriona + atrazina em diferentes períodos antes do plantio conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR. 42

ARTIGO B

- Tabela 5** - Escala de avaliação visual de controle utilizada no experimento conduzido na casa de vegetação na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR. 53
- Tabela 6** - Parâmetros das equações logísticas ajustadas para cada curva de dose-resposta 55
- Tabela 7** - Efeito da atividade conjunta da dose correspondente à 1 litro do herbicida mesotriona + atrazina no controle de buva (*Conyza* spp.) calcula seguindo o método de Colby (1967) 62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
FS II	Fotossistema II
HPPD	p-hidroxifenilpiruvato desidrogenase
ERO's	Espécies reativas de oxigênio
MIPD	Manejo integrado de plantas daninhas
IDR-Paraná	Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER
DAE	Dias após a emergência
Fv/Fm	Eficiência quântica máxima e efetiva do fotossistema II
ETR	Taxa relativa do transporte de elétrons
Índice SPAD	Teor de clorofila
DAT	Dias após aplicação dos tratamentos
MFPA	Massa fresca da parte aérea
MSPA	Massa seca da parte aérea

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA	17
2.2	INTERFERÊNCIA E CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS	18
2.3	BUVA	20
2.4	ATRAZINA	22
2.5	MESOTRIONA	23
2.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
3	ARTIGO A	28
3.1	RESUMO	28
3.2	ABSTRACT	29
3.3	INTRODUÇÃO	30
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.6	CONCLUSÃO	45
3.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
4	ARTIGO B	48
4.1	RESUMO	48
4.2	ABSTRACT	49
4.3	INTRODUÇÃO	50
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	51
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.6	CONCLUSÃO	65
4.7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no mundo, com produção de 151,4 milhões de toneladas na safra 2022/23 (CONAB, 2023). Entre os fatores que podem reduzir a produtividade e rentabilidade das lavouras de soja estão as pragas, doenças e as plantas daninhas, principalmente quando se trata de espécies resistentes aos herbicidas. Atualmente existem 54 casos de plantas daninhas resistentes a herbicidas no Brasil, e medidas para prevenir e manejar a resistência são extremamente necessárias.

O manejo integrado de plantas daninhas preconiza a utilização de práticas preventivas, culturais, mecânicas e químicas integradas dentro de uma mesma área e período. Considerando os métodos químicos, a utilização de herbicidas pré-emergentes tem sido vista como uma estratégia importante na redução de infestações de plantas daninhas resistentes. Esses produtos apresentam uma série de vantagens, dentre elas a redução no número de aplicações, o menor desenvolvimento das plantas daninhas, o controle no início do ciclo da cultura, além da possibilidade de rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação. Outra estratégia de controle, ainda dentro do método químico, é a utilização de misturas de herbicidas com diferentes mecanismos de ação. As misturas permitem o aumento do espectro de ação da aplicação, além da possibilidade de sinergismo, o que melhora o controle de plantas daninhas em comparação à aplicação isolada dos ingredientes ativos.

Seguindo esses conhecimentos, recentemente foi lançada no mercado a mistura de mesotriona + atrazina, o primeiro um inibidor da biossíntese de carotenoides e o segundo um inibidor do fotossistema II (FSII). A mistura de herbicidas com esses mecanismos de ação reconhecidamente resulta em sinergismo. Além disso, no Brasil são poucos os casos de resistência a esses herbicidas.

Um dos principais alvos da aplicação dessa mistura é o controle de buva. Essa planta Asteraceae é uma das principais plantas daninhas nas lavouras brasileiras, e apresenta casos de resistência ao glifosato, inibidor da enzima EPSPS, e a outros mecanismos de ação, dentre eles os inibidores do Fotossistema I, do Fotossistema II, da enzima ALS e dos mimetizadores de Auxina. A aplicação antecipada da mistura de atrazina + mesotriona coincide com momentos em que as plantas de buva estão menos desenvolvidas em comparação às aplicações tardias.

Portanto, o posicionamento antecipado da mistura pode resultar em melhores níveis de controle da planta daninha. Contudo, ambos os herbicidas são tradicionalmente recomendados e registrados para aplicações em culturas poáceas, como milho e cana-de-açúcar. Mesmo assim, a empresa detentora dessa mistura tem posicionado a aplicação para o manejo antecipado de plantas daninhas, em um intervalo entre 30 e 45 dias antes da semeadura da soja.

Os herbicidas do grupo químico triazinas, tal como a atrazina, são persistentes no solo, podendo causar *carryover* na cultura da soja cultivada em sucessão. Essa interferência é relacionada ao intervalo entre aplicação de atrazina e a semeadura da soja, da formulação utilizada, da dose aplicada, do tipo de solo e das condições meteorológicas. De forma semelhante, a mesotriona também tem potencial de persistir no solo, podendo causar impacto no desenvolvimento da soja cultivada após a aplicação.

Por serem herbicidas até então não utilizados em cultivos de soja, acredita-se que seja importante a realização de estudos que avaliem a tolerância de cultivares de soja à essa mistura contendo mesotriona + atrazina, assim como a eficácia no controle de buva em comparação à aplicação isolada de atrazina. Como hipóteses tem-se que a tolerância de cultivares de soja à mistura de mesotriona + atrazina é variável e também dependente da dose de herbicida aplicada. Além disso, hipotetiza-se que a mistura de atrazina + mesotriona seja eficaz no controle de buva. Mediante o exposto, os objetivos com este trabalho são avaliar a sensibilidade de diferentes cultivares de soja e o controle de buva (*Conyza* spp.) utilizando a mistura comercial de mesotriona + atrazina.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) originou-se no leste da Ásia, na China, onde passou por domesticação e melhoramento a partir do cruzamento de plantas selvagens (VAL, 2014). Cultivada no oriente há mais de cinco mil anos, no Brasil a cultura foi introduzida no final do século XIX e, em 1882 adaptou-se bem na região sul do país embora seu potencial comercial passou a ser explorado somente na década de 1970 (MISSÃO, 2006).

Considerada uma planta leguminosa, pertencente à família Fabaceae, apresenta raiz tipo pivotante com grande número de ramificações laterais. Seu caule é ereto, herbáceo e de porte médio (SEDIYAMA, 2009). Suas flores são completas, de coloração branca ou violeta e se autofecundam antes da antese (VERNETTI JÚNIOR, 2009). Seus frutos são do tipo vagem ou legume, contendo de uma a cinco sementes em cada, variando sua coloração de acordo com a variedade. O número de vagens pode chegar a 20 por inflorescência, alcançando mais de 400 vagens por planta (SEDIYAMA et al., 1985).

A soja apresenta hábito de crescimento determinado, semideterminado ou indeterminado. As cultivares disponíveis no mercado brasileiro de sementes variam entre 100 e 160 dias de ciclo, podendo ser classificadas quanto à maturação, em precoce, semiprecoce, médio, semitardio e tardio.

Seu metabolismo fotossintético é C₃, em que a enzima responsável pela fixação de CO₂ é a rubisco, resultando em uma molécula de três carbonos como primeiro produto estável desta rota (TAIZ; ZEIGER, 2017). Além disso, apresenta um mecanismo de simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* que fixam nitrogênio atmosférico, nutriente este de ampla importância para o crescimento e desenvolvimento da cultura (VERNETTI; GASTAL, 1979).

Esta leguminosa possui grande importância para o agronegócio nacional e mundial, sendo a principal cultura nas regiões agrícolas do Brasil. Na safra 2022/2023, foram cultivados aproximadamente 43,5 milhões de hectares de soja, com produção de 151,4 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2023), com produtividade média de 3.479 kg ha⁻¹, consolidando a liderança brasileira no ranking mundial de

produção de soja, sendo a grande maioria das áreas exploradas com cultivares transgênicas.

No Brasil, principalmente nas regiões mais quentes, a soja é cultivada em sucessão ao milho (*Zea mays* (L.)). O milho é o segundo grão mais cultivado em solo brasileiro, com área de 22 milhões de hectares, com produtividade média de 5.658 kg ha⁻¹ e produção estimada em 124,6 milhões de toneladas (CONAB, 2023). A sucessão desses cultivos consolidou-se principalmente após a adoção da semeadura direta.

Pelo fato da soja ser uma leguminosa e o milho uma gramínea, o manejo de plantas daninhas nessas lavouras que praticam a sucessão é complexo. Os herbicidas utilizados na soja ou no milho devem controlar as invasoras sem causar danos à cultura e não devem apresentar um período de *carryover* prolongado, para que não causem danos a soja ou milho cultivado em sucessão.

2.2 INTERFERÊNCIA E CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

As plantas daninhas estão presentes em praticamente todas as áreas agrícolas do planeta. Plantas daninhas são aquelas que ocorrem em local não desejado, interferindo com os objetivos do homem e que, quando presentes no agroecossistema, interferem no manejo e na produção de culturas econômicas. As principais características dessas plantas são a capacidade de germinar, desenvolver-se e reproduzir-se em condições adversas, como déficit hídrico, salinidade, solos ácidos ou alcalinos e temperaturas pouco propícias (VASCONCELOS et al., 2012).

A presença de plantas daninhas nas áreas de cultivo é um dos fatores que mais causam prejuízos à produtividade das culturas, seja pela competição por água, luz, nutrientes e espaço físico, pela produção de substâncias consideradas alelopáticas, ou até mesmo por serem hospedeiras de pragas e doenças que vêm a causar prejuízos futuros às lavouras (VASCONCELOS et al., 2012), causando assim quebra na produção agrícola.

Scholten et al. (2011) relataram que a interferência causada por plantas daninhas pode reduzir entre 15 e 80% da produtividade da cultura da soja, principalmente devido à competição por recursos essenciais ao crescimento e desenvolvimento da planta. O correto manejo das plantas daninhas visa a manutenção do potencial produtivo das lavouras, evitando perdas na qualidade e/ou

quantidade dos produtos colhidos em uma área cultivada. Essas perdas podem ser ocasionadas pela competição direta por água, luz e nutrientes entre a cultura de interesse e as plantas daninhas. As plantas daninhas podem gerar também interferência indireta, atuando como hospedeiras alternativas de pragas e doenças que posteriormente podem causar danos nas lavouras.

Atualmente, o manejo químico utilizando herbicidas é amplamente difundido no controle das plantas daninhas. Os herbicidas são a classe de agrotóxicos mais utilizada no Brasil, com cerca de 407,4 mil toneladas de ingredientes ativos comercializados, correspondendo à 56,6% do mercado de produtos fitossanitários no ano de 2022 (IBAMA, 2022).

Os herbicidas são classificados de acordo com seu mecanismo de ação, sendo organizados em ordem alfabética pelos sítios de ação e sua classificação química internacional fornecida pelo *Herbicide Resistance Action Committee - HRAC*. Atualmente, essa classificação conta com quatorze sítios de ação de herbicidas e alguns deles apresentam divisões devido aos grupos químicos que compartilham do mesmo mecanismo de ação (HRAC-BR, 2018).

Além do mecanismo de ação, os herbicidas podem ser classificados quanto à sua modalidade de aplicação, sendo classificados em pré e pós-emergentes. Os herbicidas considerados pré-emergentes são aqueles que possuem característica de permanecerem no solo por períodos considerados longos, ou seja, apresentam efeito residual, controlando as sementes de plantas daninhas presentes no banco de sementes do solo, evitando novos fluxos de emergência e a competição no período crítico de desenvolvimento das culturas (SANTOS et al., 2012; GONÇALVES et al., 2018). Os herbicidas pós-emergentes são aplicados quando as plantas daninhas já passaram pelo processo de germinação e emergência e estão com suas partes aéreas expostas. Estes produtos têm sua eficácia comprometida de acordo com a planta daninha alvo e com o estágio em que esta planta se encontra no momento da aplicação (KARAM; OLIVEIRA, 2011).

Estes produtos apresentam seletividade para a cultura, causando a morte ou redução significativa no desenvolvimento de plantas indesejadas (OLIVEIRA JUNIOR, 2011; GALVÃO et al., 2014). A utilização de herbicidas apresenta pontos positivos, como a capacidade de prevenir a germinação de plantas daninhas no período crítico de interferência, proporcionar um controle eficaz na linha de cultivo, dar

maior flexibilidade quanto a época de aplicação e maior rendimento operacional quando comparado com o manejo mecânico (OLIVEIRA JUNIOR, 2011). Por outro lado, a utilização demasiada do mesmo herbicida por várias safras leva à seleção de plantas daninhas resistentes. Atualmente existem 502 casos de resistência no mundo e 53 casos de plantas daninhas resistentes a herbicidas no Brasil (HEAP, 2021).

A resistência de plantas daninhas aos herbicidas vem ganhando cada vez mais importância. Existem fatores que influenciam na resistência de plantas daninhas a herbicidas, incluindo características das plantas daninhas, as propriedades químicas dos herbicidas e as práticas culturais empregadas (CHRISTOFFOLETI, 2016). Os herbicidas pré-emergentes estão voltando a apresentar relevância para driblar as resistências das plantas daninhas aos pós-emergentes e proporcionar um controle efetivo das invasoras (NUNES et al., 2018). Outra estratégia que vem sendo utilizada para manejar efetivamente as plantas daninhas é a formulação de misturas de dois mecanismos de ação no mesmo herbicida.

O uso de herbicidas pré-emergentes, além do efeito residual prolongado no período crítico de estabelecimento da cultura, também auxilia no impedimento de um novo fluxo de emergência das plantas daninhas. Desta maneira, com o término do efeito residual, o manejo pós-emergente torna-se mais facilitado, por esse agir em plantas de porte pequeno e uniforme, ideal para a aplicação (MONQUERO et al., 2008).

O potencial de atividade residual no solo é dependente do tipo de herbicida utilizado, podendo ocasionar o fenômeno denominado *carryover*, no qual são causadas injúrias em plantas da cultura subsequente devido à atividade residual mais longa que o intervalo entre cultivos (ALONSO et al., 2013; SANTOS et al., 2012). Dessa forma, a escolha de um herbicida pré-emergente possui algumas premissas básicas para que este não cause danos no estabelecimento da cultura seguinte como, o conhecimento do espectro de ação do produto, a dose que será utilizada, as condições climáticas e o intervalo entre a aplicação e a semeadura da próxima cultura.

2.3 BUVA

A buva (*Conyza* spp.) é uma das principais plantas daninhas do mundo. Originária da América do Sul, mais especificamente na Argentina, Uruguai,

Paraguai e Brasil. As espécies mais frequentes associadas ao gênero são *Conyza canadenses*, *Conyza bonariensis* e *Conyza sumatrensis* (KISSMANN & GROTH, 1999). Possuem ciclo anual, porte ereto, podem produzir até 200 mil sementes por planta e com pouco período de dormência. As suas sementes são facilmente dispersas pelo vento, fenômeno conhecido como anemocoria. Outra característica importante das suas sementes é a necessidade de luz para germinar, sendo então considerada fotoblástica positiva, ou seja, necessitam de luz solar para dar início ao processo de germinação (GAZZIERO, 2015).

A espécie *Conyza bonariensis* apresenta folhas com margens lisas ou em certas variedades pequenos dentes, seus ramos na parte central são maiores e podem ultrapassar o topo do caule. A *Conyza canadenses* possui folhas com margens dentadas e os ramos laterais não ultrapassam seu ápice, fazendo com que a planta atinja formato piramidal, enquanto, a *Conyza sumatrensis* também apresenta aspecto piramidal, porém sua haste principal apresenta maior pilosidade (GAZZIERO, 2015).

A buva é considerada uma das plantas daninhas de mais difícil controle e é também uma das principais plantas daninhas presentes nas lavouras brasileiras, podendo causar prejuízos severos na produtividade das culturas. A maior parte dos produtores de grãos no Brasil estão enfrentando problemas no controle dessa invasora, pois com o sucessivo uso de herbicidas com os mesmos mecanismos de ação e a não utilização da rotação de culturas, tornou as três espécies de buva resistentes a alguns e herbicidas (TREZZI, 2011).

De acordo com Heap (2022), 515 casos de espécies de plantas daninhas resistentes a herbicidas foram registrados no mundo, enquanto no Brasil, estão registrados 54 casos. Ressalta-se que no Brasil existem biótipos de buva que apresentam resistência múltipla a até seis mecanismos de ação diferentes, incluindo inibidores da enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintase (EPSPS), inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS), inibidores do fotossistema I (FSI), inibidores do fotossistema II (FSII), dos mimetizadores de auxinas e dos inibidores da enzima protoporfirinogênio sintase PROTOX.

Estudos de Lorenzetti (2019) demonstraram que uma planta de buva por metro quadrado, durante todo o ciclo em uma lavoura de soja, pode levar à perdas de até 14% de produtividade. Segundo Coelho (2019), a produtividade de soja foi

reduzida em 19% quando a cultura foi submetida ao convívio com cerca de 13 plantas m⁻² de buva. Neste sentido, considerando uma produtividade média de 80 sacas ha⁻¹ a presença destas 13 plantas por metro quadrado causou a perda de 15,2 sacas por hectare. Portanto o manejo adequado desta espécie de planta daninha é de extrema importância para a manutenção e até mesmo o aumento na produtividade.

2.4 ATRAZINA

Os herbicidas inibidores do fotossistema II (FSII) são responsáveis pelo controle de plantas de folhas largas (dicotiledôneas) e algumas plantas de folhas estreitas (gramíneas). Apresentam três sítios de ligação que compreendem os diferentes grupos de herbicidas (PETERSON et al., 2001). O sítio C1 compreende o grupo das triazinas e uracila (ametrina, atrazina, metribuzin, simazina), o sítio C2 abrange as feniluréias (diuron, linuron, propanil e tebutiuram), e o sítio C3 os benzotiadiazonas (bentazona e octanoato de loxinila) (HRAC-BR, 2018).

Pertencente à família das s-triazinas, a molécula 2-cloro-4-etilamino-6-isopropilamino-s-triazina é popularmente conhecida por atrazina, um herbicida seletivo utilizado para controle em pré e pós-emergência de plantas daninhas em lavouras de milho e cana-de-açúcar (AQUINO, 2008).

A ação seletiva deste grupo de herbicidas é determinada pelo metabolismo secundário, e em espécies como o milho que possui a enzima glutathione-S-transferase, que é capaz de metabolizar os herbicidas triazínicos em substâncias não tóxicas (PETERSON et al., 2001). Ainda segundo os autores, o herbicida pode ser absorvido por parte aérea e raízes, sendo translocado pelo xilema, afetando as plantas a partir do momento em que a fotossíntese é iniciada.

As moléculas de atrazina tem o poder de inibir o FSII quando ligadas a proteína D1, que pertence ao centro de reação deste fotossistema. Estas moléculas competem com a plastoquinona B pelo sítio de ligação na proteína D1, promovendo a sua saída e a interrupção do fluxo de elétrons na cadeia de transporte de elétrons (VARGAS, 2003), proporcionando assim a formação de ERRO's. Os sintomas visuais característicos deste herbicida inibidor do FSII é a clorose internervural e nas bordas das folhas, em decorrência da foto-oxidação da clorofila e também da morte de células devido ao rompimento das membranas pela peroxidação de lipídeos (KARAM; OLIVEIRA, 2007).

Nas áreas onde é possível o cultivo de duas safras em um ano, a soja pode sofrer com o efeito *carryover* quando semeada após a colheita do milho segunda safra, devido à presença residual da atrazina utilizada no controle de plantas daninhas. A gravidade dessa interferência no desenvolvimento das plantas de soja está relacionada ao período entre aplicação e semeadura, quantidade de resíduo, tipo de solo e condições meteorológicas (BRECKE et al., 1980; FRANK et al., 1983).

O sucesso da semeadura da soja após o milho será influenciado pelo residual dos herbicidas aplicados ao longo do ciclo do milho. Muitos estudos relatam impacto de herbicidas residuais usados no milho sobre a cultura da soja. Segundo Soltani et al. (2010), a gravidade das lesões causadas pela atrazina em plantas de soja aumenta proporcionalmente à diminuição do período entre aplicação e a semeadura da soja. As lesões são maiores quando o intervalo fica entre zero e duas semanas comparadas com intervalos entre quatro e seis semanas. Ainda no mesmo trabalho, Soltani et al. apresentam resultados que aplicações de atrazina diminuíram a biomassa da soja em até 49% quando aplicada na mesma semana da semeadura, e redução de até 25 % quando aplicada seis semanas antes da semeadura. A redução da biomassa aumenta na medida em que o intervalo entre aplicação e semeadura diminui. Portanto, estudos devem ser feitos para validação de produtos que contêm atrazina em sua composição, para que este ingrediente ativo não cause danos na cultura da soja cultivada em sucessão.

2.5 MESOTRIONA

Os herbicidas inibidores da biossíntese de carotenóides controlam plantas daninhas de folhas largas (dicotiledôneas) e algumas plantas de folhas estreitas (gramíneas). Os carotenóides apresentam um importante papel para as clorofilas, evitando a sua fotooxidação. Após a clorofila ser sintetizada e tornar-se eletronicamente excitada através da absorção de fótons de luz, é transformada da forma singlet para a forma triplet. Em situações normais, esse excesso de energia é dissipado pelos carotenóides, porém, quando aplicamos herbicidas inibidores da síntese de carotenóides, a clorofila em forma triplet inicia algumas reações de degradação, formando ERRO's, causando assim sua destruição. Assim sendo, sem a presença dos carotenóides, a clorofila não é capaz de se manter funcional e estável (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2011).

Os inibidores de carotenóides apresentam três sítios de ação que se diferem entre si pelo sítio de ação de inibição da biossíntese de carotenóides. O sítio F1 compreende o grupo das piridazinonas, piridinecarboxamidas e fluridone (norflurazon, diflufenican, picolinafen), o sítio F2 compreende as tricetonas, isoxazoles e pirazoles (isoxaflutole, mesotrione, tembotrione), e o sítio F3 compreende as isoxalidionas (clomazone) (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2011).

A mesotriona, 2-(4-mesy-2-nitrobenzoyl) cyclohexane- 1,3-dione, pertencente a família das tricetonas, é um herbicida seletivo utilizado no controle em pós-emergência (SYNGENTA, 2020), tem ação sistêmica e é indicado para o controle de diversas espécies de plantas daninhas eudicotiledôneas e gramíneas em lavouras de milho e cana-de-açúcar (JOHNSON; YOUNG; MATTHEWS, 2002; OLIVEIRA JR., 2011).

Ainda que o crescimento de folhas novas apresente uma coloração esbranquiçada, estes herbicidas não inibem diretamente a síntese de clorofila. A clorofila é destruída pela luz através da fotooxidação ou pela falta de carotenóides, que indiretamente causam a suspensão indireta da biossíntese de clorofila e conseqüentemente desenvolvimento do cloroplasto (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2011).

O mecanismo de ação da mesotriona inibe a síntese da enzima p-hidroxifenilpiruvato desidrogenase (HPPD), responsável pela conversão de p-hidroximetilpiruvato à homogentisato, importantíssima na síntese de plastoquinona (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2011). A inibição da síntese de plastoquinona resulta nos sintomas característicos deste grupo de herbicidas, o branqueamento das folhas que emergem após aplicação do herbicida. O branqueamento das folhas resultam na inibição indireta da síntese dos carotenóides nos cloroplastos, que posteriormente geram espécies reativas de oxigênio (ERO's) que destroem as membranas das células (SENSEMAN et al., 2007; MARTINAZZO, 2010).

Recentemente a mesotriona foi registrada para uso em pré-emergência na cultura da soja para manejo da buva (*Conyza bonariensis*) (SYNGENTA, 2021). Este herbicida possui ação sistêmica e pode ser absorvido pela parte aérea e pelas raízes das plantas.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO, D.G.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J. Potencial de carryover de herbicidas com atividade residual usados em manejo outonal. In: CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R.S.; OLIVEIRA NETO, A.M. (E.). **Buva: Fundamentos e recomendações para manejo**. Curitiba: Omnipax, p.91-104. 2013.

AQUINO, R.F. **Transporte de atrazina em parcelas de solo sob calagem e fosfatagem em uma área de cultivo de milho**. 2008. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

BRECKE, B.J.; CURREY, W.L.; TEEM, D.H. Atrazine persistence in a corn-soybean double cropping system. **Agronomy Journal Abstract**, v.73, n.3, p.534-537, 1980.

CHRISTOFFOLETI, P. J.; LOPES-OVEJERO, R. F.; NOCOLAI, M.; VARGAS, L.; CARVALHO, S. J. P.; CATANEO, A.C.; CARVALHO, J. C.; MOREIRA, M. S. **Aspectos da resistência de plantas daninhas a herbicidas**. 4 ed. Piracicaba, 2016. 262 p.

CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira**. v.10. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 15 mar. 2023.

FRANK, R.; SIRONS, G.J.; ANDERSON, G.W. Atrazine: the impact of persistence residues in soil on susceptible crop species. **Canadian Journal of Soil Science**, v.63, p.315-325, 1983.

GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V.; TROGELLO, E.; FRITSCHÉ-NETO, R. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v.61, p.819-828, 2014.

GONCALVES, F.A.R.; MELO, C.A.D.; QUEIROZ, P.C.; ENDO, R.T.; SILVA, D.V.; REIS, M.R. Atividade residual de herbicidas nas culturas do milho e da soja. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v.61, 2018.

HEAP, I. **The international herbicide-resistant weed database**. 2021. Disponível em: <<https://www.weedscience.org/Pages/SOASummary.aspx>>. Acesso em: 14 fev. 2023.

HRAC-BR - Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas Daninhas aos Herbicidas. **Classificação dos herbicidas quanto aos mecanismos de ação: 2018**. HRAC-BR: Paulínea, folder, 2018.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos: Boletim 2017**. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>>. Acesso em: 20 out. 2022.

JOHNSON, B. C.; YOUNG, B. G.; MATTHEWS, J. L. Effect of postemergence

application rate and timing of mesotrione on corn (*Zea mays*) response and weed control. **Weed Technology**, Lawrence, v. 16, n. 2, p. 414-420, 2002.

KARAM, D.; OLIVEIRA, M.F. **Seletividade de herbicidas na cultura do milho**. Circular Técnica 98. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 8p, 2007.

LORENZETTI, J.B. Interferência de *Conyza* spp. na produtividade da soja e nível de dano econômico. 28 p. 2019. **Dissertação de Mestrado (Mestrado)**, UFPR: Palotina, 2019.

MARTINAZZO, R. Dinâmica da atrazina e da mesotriona em solos: degradação acelerada, sorção e implicações ambientais. 2010. 135 f. **Tese (Doutorado)**-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MISSÃO, M.R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Maringá Management**, v.3, n.1, p.7-15, 2006.

MONQUERO, P.A.; BINHA, D.P.; SILVA, A.C.; SILVA, P.V.; AMARAL, L.R. Eficiência de herbicidas pré-emergentes após períodos de seca. **Planta Daninha**, Viçosa, v.26, n.1, p.185-193, 2008.

NUNES, A.L.; LORENSET, J., GUBIANI, J.E.; SANTOS, F.M. A multy-year study reveals the importance of residual herbicides on weed control in glyphosate-resistant soybean. **Planta Daninha**. v. 36. 2018.

OLIVEIRA JUNIOR, R.S. Mecanismos de ação de herbicidas (2011). In: OLIVEIRA JUNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. (E.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. 1. ed. Curitiba: Omnipax, p. 141-192. 2011.

PETERSON, D.E.; THOMPSON, C.R.; REGEHR, D.L.; AL-KHATIB, K. **Herbicide mode of action**. Topeka: Kansas State University, 24p, 2001.

SANTOS, G.; FRANCISCHINI, A.C.; CONSTANTIN, J.; OLIVEIRA JUNIOR, R.S. Carryover proporcionado pelos herbicidas s-metolachlor e trifluralin nas culturas de feijão, milho e soja. **Planta Daninha**, Viçosa, v.30, n.4, p.827-834, 2012

SCHOLTEN, R.; PARREIRA, M.C.; ALVES, P.L.C.A. Período anterior à interferência das plantas daninhas para a cultivar de feijoeiro 'Rubi' em função do espaçamento e da densidade de semeadura. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 33, n. 2, p. 313-320, 2011.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina. Ed. Mecenas, 2009, 314 p.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M.G.; SEDIYAMA, C.S.; GOMES, J.L.L. **Botânica, descrição da planta e cruzamentos artificial**. In: Cultura da Soja – I Parte. Viçosa: UFV, p. 5-6. 1985.

SENSEMAN, S. A. Herbicide handbook. 9. ed. Lawrence: **Weed Science Society of America**, 2007.

SOLTANI, N.; MASHHADI, R. H.; MESGARAN, M. B.; COWBROUGH, M.; TARDIF, F. J.; CHANDLER, K.; SWANTON, C. J.; SIKKEMA, P. H. The effect of residual corn herbicides on injury and yield of soybean seeded in the same season. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 91, n. 3, p. 571-576, 2011.

SYNGENTA (2020) Disponível em: <https://www.syngenta.com.br/sites/g/files/zhg256/f/callisto_0.pdf?token=1601334792>. Acesso em: 05 de julho de 2021.

SYNGENTA (2021). Disponível em: <https://www.syngenta.com.br/sites/g/files/zhg256/f/media/2020/06/23/calaris.pdf?token=1618314876>>. Acesso em: 05 de julho de 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.A.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed., Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.

VAL, B.H.P. **Estimativas de parâmetros genéticos em linhagens avançadas de soja**. 2014. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2014.

VARGAS, L. **Sintomas e Diagnóstico de Toxicidade Herbicida na Cultura da Maçã**. Circular 44. Bento Gonçalves: Embrapa. 9p. 2003.

VASCONCELOS, M.C.C.; SILVA, A.F.A.; LIMA, R.S. Interferência de Plantas Daninhas sobre Plantas Cultivadas. **Agropecuária científica no semiárido**. v. 8, n. 1, p. 01-06. 2012.

VERNETTI, F.J.; VERNETTI JÚNIOR, F.J. **Genética da soja: caracteres quantitativos e diversidade genética**. Brasília. EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009.

VERNETTI, F.J.; GASTAL, M.F.C. **Descrição botânica da soja**. Circular Técnica 7, Pelotas: UEPAE/Embrapa. 15p. 1979.

3 ARTIGO A

SELETIVIDADE DE MESOTRIONA + ATRAZINA EM DIFERENTES DOSES E PERÍODOS ANTECEDENDO A SEMEADURA DA SOJA

RESUMO

A mesotriona e a atrazina são herbicidas tradicionalmente recomendados para a cultura do milho, e não seletivos para a cultura da soja. Contudo, recentemente foi lançada no mercado uma mistura de mesotriona + atrazina, com posicionamento de aplicação entre 30 e 45 dias antes da semeadura da soja, para o controle antecipado de plantas daninhas. No entanto, vários fatores estão envolvidos na seletividade e persistência dos herbicidas no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a sensibilidade de cultivares de soja ao residual da mistura comercial de mesotriona + atrazina aplicadas em diferentes doses e épocas. Para isso foram realizados dois experimentos complementares, em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. O primeiro experimento foi um fatorial 3 x 3, em que o fator A foi composto por três cultivares de soja recomendadas para cultivo no estado do Paraná, sendo elas, Brasmax Fibra, Don Mario 64i63 e Don Mario 66i68. O fator B foi composto pela aplicação de duas doses de mesotriona + atrazina, sendo 50 + 500 g i.a. ha⁻¹ e 100 + 1000 g i.a. ha⁻¹, respectivamente, 45 dias antes da semeadura da soja, além do controle sem herbicida. O segundo experimento foi conduzido em esquema fatorial 4 x 2, sendo que o fator A foi composto por quatro intervalos entre a aplicação do herbicida e a semeadura da cultura da soja (cultivar Brasmax Fibra), sendo eles; sete, quinze, trinta e quarenta e cinco dias. O fator B foi composto por testemunha e uma dose do herbicida mesotriona + atrazina (50 + 500 g i.a. ha⁻¹). Aos 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a emergência (DAE) foram avaliadas a injúria causada pelo herbicida, a eficiência quântica máxima e efetiva do fotossistema II (Fv/Fm), taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) e o teor de clorofila através do índice SPAD. Na maturação fisiológica de cada cultivar foi avaliada a produtividade de grãos. No experimento 1, aos 14 e aos 21 DAE, a cultivar Brasmax Fibra apresentou os maiores valores de Fv/Fm e SPAD quando comparada com as demais cultivares, mostrando uma tolerância pouco maior ao residual do herbicida no início do desenvolvimento da cultura. Porém, aos 28, 35 e 42 DAE os parâmetros avaliados se igualaram, portanto nenhuma cultivar se sobressaiu às outras. Em ambos os experimentos, na avaliação de produtividade não foram observadas diferenças em relação às doses e épocas de aplicação da mistura, as diferenças ocorreram apenas em função das cultivares de soja. Portanto, pode-se concluir que a mistura comercial de mesotriona + atrazina não causa efeitos negativos sob a produtividade da cultura da soja, embora alguns parâmetros fisiológicos possam ser afetados de forma negativa inicialmente.

Palavras-chave: *Carry-over*; *Glycine max*; Residual; Triazinas; Tolerância.

ABSTRACT

Mesotrione and atrazine are herbicides traditionally recommended for corn, not selective for soybean. However, a mixture of mesotrione + atrazine was recently launched on the market, with application positioning between 30 and 45 days before soybean sowing, for the early control of weeds. However, several factors are involved in the selectivity and persistence of herbicides in the soil. The objective of this work was to evaluate the sensitivity of soybean cultivars to the residual of the commercial mixture of mesotrione + atrazine applied at different doses and times. For this, two complementary experiments were carried out, in a randomized block design, with four replications. The first experiment was a 3 x 3 factorial, in which factor A was composed of three soybean cultivars recommended for cultivation in the state of Paraná, namely, Brasmax Fibra, Don Mario 64i63 and Don Mario 66i68. Factor B was composed by the application of two doses of mesotrione + atrazine, being 50 + 500 g i.a. ha⁻¹ and 100 + 1000 g i.a. ha⁻¹, respectively, 45 days before soybean sowing, in addition to the control without herbicide. The second experiment was conducted in a 4 x 2 factorial arrangement, with factor A consisting of four intervals between herbicide application and soybean sowing (Brasmax Fibra cultivar), namely; seven, fifteen, thirty and forty-five days. Factor B was composed of a control and a dose of the herbicide mesotrione + atrazine (50 + 500 g i.a. ha⁻¹). At 14, 21, 28, 35 and 42 days after emergence (DAE), the injury caused by the herbicide, the maximum and effective quantum efficiency of photosystem II (Fv/Fm), relative electron transport rate (ETR) and the chlorophyll content through the SPAD index. At the physiological maturation of each cultivar, grain yield was evaluated. At 14 and 21 DAE, the Brasmax Fibra cultivar showed the highest Fv/Fm and SPAD values when compared to the other cultivars, showing a slightly greater tolerance to the herbicide residue at the beginning of the crop's development. However, at 28, 35 and 42 DAE the evaluated parameters were equal, so no cultivar stood out over the others. In both experiments, in the evaluation of productivity, no differences were observed in relation to the doses and times of application of the mixture. Therefore, it can be concluded that the commercial mixture of mesotrione + atrazine does not cause negative effects on soybean productivity, although some physiological parameters may be negatively affected initially.

Keywords: *Carry-over; Glycine max; Residual; Triazines; Tolerance.* .

3.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no mundo, com produção de 151,4 milhões de toneladas na safra 2022/23. Esses números são decorrentes do aumento da área cultivada, mas principalmente do aumento da produtividade obtida nas últimas décadas, protegendo o potencial produtivo da cultura. Entre os fatores que podem reduzir a produtividade e a rentabilidade das lavouras de soja estão as plantas daninhas, principalmente quando se trata de espécies resistentes aos herbicidas, sobretudo ao glifosato. Atualmente existem 54 casos de plantas daninhas resistentes a herbicidas no Brasil, sendo que ocorrem 11 espécies resistentes ao glifosato, principal herbicida utilizado. Portanto, a adoção de medidas para prevenir e manejar a resistência é necessária.

Para o manejo de plantas daninhas a recomendação é que seja adotada a integração de métodos de controle, o que é chamado de manejo integrado de plantas daninhas (MIPD). O MIPD preconiza a utilização de práticas preventivas, culturais, mecânicas e químicas, de forma integrada dentro de uma mesma área e período. Contudo, sabe-se que o método químico é amplamente utilizado, dadas suas vantagens, como a capacidade operacional, custo relativamente baixo, seletividade, entre outras vantagens. Por outro lado, algumas desvantagens desse método podem ser listadas, destacando a seleção de plantas daninhas resistentes.

Como forma de reduzir a seleção e dispersão de plantas daninhas resistentes, algumas medidas dentro do próprio método químico podem ser adotadas. A utilização de herbicidas pré-emergentes tem sido vista como uma estratégia importante na redução de infestações de plantas daninhas resistentes. Esses produtos apresentam uma série de vantagens, dentre elas a redução no número de aplicações, o menor desenvolvimento das plantas daninhas, o controle no início do ciclo da cultura, além da possibilidade de rotação de herbicidas com diferentes mecanismos de ação. Outra estratégia de controle, ainda dentro do método químico, é a utilização de misturas de herbicidas com diferentes mecanismos de ação. As misturas permitem o aumento do espectro de ação da aplicação, além da possibilidade de sinergismo, o que melhora o controle de plantas daninhas em comparação à aplicação isolada dos ingredientes ativos.

Alguns casos clássicos de sinergismo são relatados na literatura. A mistura de herbicidas inibidores da biossíntese de carotenoides com inibidores do

fotossistema II (FSII) é sabidamente passível de sinergismo. Seguindo esses conhecimentos, recentemente foi lançada no mercado a mistura de mesotriona + atrazina, o primeiro um inibidor da biossíntese de carotenoides e o segundo um inibidor do fotossistema II (FSII), com foco no manejo antecipado de buva (*Conyza* spp.). Além do sinergismo, são poucos os casos de resistência a esses herbicidas, principalmente no Brasil. Contudo, ambos os herbicidas são tradicionalmente recomendados e registrados para aplicações em culturas poáceas, como milho e cana-de-açúcar. Mesmo assim, a empresa detentora dessa mistura tem posicionado a aplicação para o manejo antecipado de plantas daninhas, em um intervalo entre 30 e 45 dias antes da semeadura da soja.

As triazinas, grupo químico da atrazina, são persistentes no solo, podendo causar fitotoxicidade na cultura da soja cultivada em sucessão devido ao potencial de *carryover*. De forma semelhante, a mesotriona também tem potencial de persistir no solo, podendo causar impacto no desenvolvimento da soja cultivada após a aplicação. Contudo, o potencial fitotóxico é variável e dependente de fatores como o intervalo entre a aplicação e semeadura da soja, da dose aplicada, do tipo de solo, cultivar e das condições meteorológicas.

Por serem herbicidas até então não utilizados em cultivos de soja, acredita-se que seja importante a realização de estudos que avaliem a tolerância de cultivares de soja à essa mistura contendo mesotriona + atrazina. Como hipótese tem-se que a tolerância de cultivares de soja à mistura de mesotriona + atrazina é variável e também dependente da dose de herbicida aplicada e do intervalo entre a aplicação e a semeadura. Mediante o exposto, o objetivo foi avaliar a sensibilidade de diferentes cultivares de soja a mistura de mesotriona + atrazina aplicada em diferentes doses e intervalos entre a aplicação e a semeadura da cultura.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local e período de condução dos experimentos

Foram conduzidos dois experimentos na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina - Fazesc UEL (23°20'25"S; 51°12'36"O), a uma altitude de 540 m, com início na safra de verão 2021/22. Os dados meteorológicos de precipitação pluviométrica, temperaturas máximas e mínimas foram obtidos na

estação meteorológica do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná), em Londrina-PR, conforme a Figura 1.

A semeadura da soja foi realizada mecanicamente, utilizando espaçamento entre linhas de 0,45 metros e profundidade de semeadura de 5 centímetros aproximadamente. Foram semeadas 12,5 sementes por metro linear, resultando em população de aproximadamente 250 mil plantas ha⁻¹.

As sementes foram previamente tratadas com piraclostrobina + tiofanato de metila + fipronil (Standak Top, 25 + 225 + 250 g i.a.L⁻¹), nas doses de 2,5 + 22,5 + 25 g i.a. 100 kg⁻¹ de sementes. Para o manejo da cultura em pós-emergência, foram realizadas aplicações de fungicidas e inseticidas quando necessário, de acordo com monitoramento e recomendações técnicas para a cultura.

3.2.2 Delineamento Experimental e Tratamentos

- Experimento 1- Seletividade de atrazina + mesotriona aplicada em diferentes doses e cultivares de soja

O experimento foi disposto em delineamento de blocos inteiramente casualizados com quatro repetições em esquema fatorial 3 x 3. Cada parcela possuía 3,5 m de largura e 7 m de comprimento, totalizando 24,5 m² por parcela. O fator A foi composto por três cultivares de soja recomendadas para cultivo no estado do Paraná, sendo elas, Brasmax Fibra, Don Mario 64i63 e Don Mario 66i68. O fator B foi composto por uma testemunha e duas doses do herbicida mesotriona + atrazina, de acordo com a tabela 1. A dose recomendada pelo fabricante varia de 50 + 500 a 100 + 1000 g i.a. ha⁻¹ de mesotriona + atrazina, respectivamente, com aplicação aos 45 dias antes da semeadura da soja. Dessa forma, foram avaliadas o mínimo (X) e o máximo da dose recomendada (2X).

Tabela 1. Doses do herbicida mesotriona + atrazina utilizadas no experimento conduzido na fazenda escola da Universidade Estadual de Londrina - UEL, Londrina-PR.

Ingrediente ativo (concentração)	Marca comercial	g i.a. ha ⁻¹	L p.c. ha ⁻¹	Detentor
Testemunha	-	-	-	-
Mesotriona (50 g kg ⁻¹) + Atrazina (500 g kg ⁻¹)	Calaris	50 + 500	1,0	Syngenta
Mesotriona (50 g kg ⁻¹) + Atrazina (500 g kg ⁻¹)	Calaris	100 + 1000	2,0	Syngenta

Fonte: O próprio autor.

- Experimento 2- Seletividade de atrazina + mesotriona aplicada em diferentes intervalos antecedendo a semeadura da soja

Para o segundo experimento foi utilizado apenas a cultivar Brasmax Fibra. O experimento foi disposto em delineamento de blocos inteiramente casualizados com quatro repetições em esquema fatorial 4 x 2. Cada parcela possuía

3,5 m de largura e 7 m de comprimento, totalizando 24,5 m² por parcela. O fator A foi composto por quatro intervalos entre a aplicação do herbicida e a semeadura da cultura da soja, sendo eles, sete, 15, 30 e 45 dias. O fator B foi composto por testemunha e uma dose do herbicida mesotriona (50 g kg⁻¹) + atrazina (500 g kg⁻¹), correspondente à 1 litro do produto comercial ha⁻¹.

3.2.3 Aplicação dos Tratamentos Herbicidas

Os tratamentos com herbicida foram aplicados em pré-semeadura da cultura da soja, de acordo com seu respectivo intervalo em relação à semeadura em cada experimento. A pulverização foi realizada com pulverizador costal pressurizado a gás carbônico (CO₂), dotado de barra com seis pontas tipo leque TeeJet110.02, com pressão de trabalho de 30 psi e volume de calda equivalente a 150 L ha⁻¹.

3.2.4 Avaliações

- Injúrias na soja

Foram avaliadas as injúrias causadas pelo herbicida na cultura da soja aos 14, 21, 28, 35 e 42 dias após emergência da cultura da soja (DAE). Para essa avaliação foi utilizada a escala de zero a 100% proposta por Frans e Crowley (1986), conforme a Tabela 2, onde zero significa ausência de sintomas e 100 corresponde ao efeito total (morte) das plantas. As avaliações foram realizadas por dois avaliadores, sendo que cada tratamento será comparado à sua respectiva testemunha.

Tabela 2. Escala de avaliação visual de controle utilizada em todos experimentos de campo conduzidos na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.

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

Fonte: Franz and Crowley, 1986.

- Eficiência quântica máxima e efetiva do fotossistema II (F_v/F_m) e taxa relativa do transporte de elétrons (ETR) da soja

Pelo fato da atrazina ser um inibidor de FSII, foram realizadas análises quanto as eficiências máxima e efetiva do FSII e a taxa relativa do transporte de elétrons nas plantas de soja aos 14, 21, 28, 35 e 42 dias após emergência da soja (DAE).

A análise de fluorescência da clorofila para determinar a eficiência quântica máxima do FSII foi realizada utilizando fluorômetro OS1p (OptiSciences) através do cálculo da razão F_v/F_m . Para realizar estas análises, foram coletados dois folíolos do último trifólio completamente desenvolvido, de duas plantas aleatórias da unidade experimental, logo no início da manhã. Em seguida, as folhas ficaram no escuro por aproximadamente 1 hora (entre a coleta e transporte do material para o laboratório) em tubo falcon contendo água e envolto por papel alumínio, para permitir a medida da intensidade inicial de fluorescência (F_0). Posteriormente, a fluorescência máxima (F_m) foi registrada após um pulso de luz saturante, e a fluorescência variável (F_v) calculada como: $F_v = F_m - F_0$ (BAKER et al., 2008).

A eficiência efetiva do fotossistema II (Y_{II}) também foi avaliada adaptando as folhas às PAR (Photosynthetically Active Radiation), ou seja, a porção

do espectro de luz fotossinteticamente ativa, de 500 e 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante 30 segundos cada. Os valores para a taxa relativa do transporte de elétrons (rETR) foram calculados a partir de $rETR = YII \times PAR \times 0,5 \times 0,84$ (BAKER, 2008).

- Teor de clorofila (índice SPAD) da soja

Pelo motivo da mesotriona ser um inibidor da biossíntese de carotenoides, realizamos a quantificação indireta da clorofila nas plantas. Para determinação dos teores de clorofila, foi avaliado o índice SPAD aos 14, 21, 28, 35 e 42 dias após emergência da soja (DAE). Nessa avaliação foi utilizado o medidor portátil de clorofila Clorofi LOG- CFL 1030 (FALKER). Foram avaliadas duas plantas por unidade experimental em cada avaliação.

- Produtividade

No estágio R8 foi determinada a produtividade da soja. Foram colhidos quatro metros lineares manualmente em duas linhas centrais de cada parcela. Em seguida, as plantas foram trilhadas e as amostras classificadas, retirando-se as impurezas com auxílio de peneiras. Em sequência, foi determinada a umidade de grãos utilizando o medidor de umidade portátil modelo Gehaka 600. Após a determinação da umidade, as amostras foram pesadas em balança analítica e os valores convertidos para kg ha^{-1} , determinado assim o rendimento de grãos por hectare.

- Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise exploratória para testar a homogeneidade das variâncias e normalidade dos resíduos. Posteriormente foi realizada análise de variância (ANOVA) ($p < 0,05$) utilizando o programa estatístico R. Quando existiu significância as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

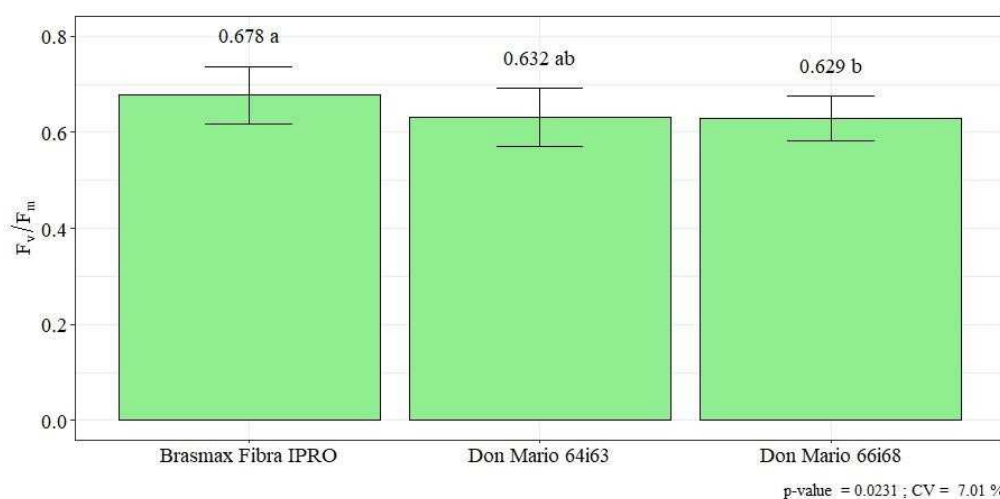
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Experimento 1- Seletividade de atrazina + mesotriona aplicada em diferentes doses e cultivares de soja

De maneira geral, os resultados demonstram que independente da dose de herbicida utilizado, os parâmetros avaliados neste trabalho não diferiram estatisticamente, em ambos os experimentos. As diferenças observadas ocorreram apenas em função das cultivares de soja utilizadas neste estudo.

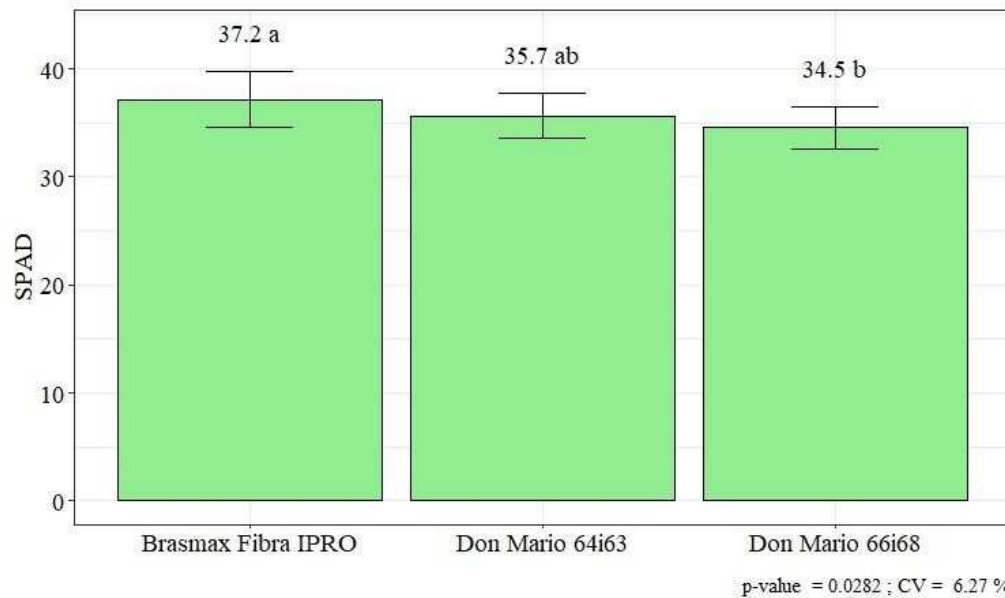
Nas avaliações realizadas aos 14 DAE, os resultados mostram que existe diferença significativa entre as cultivares Brasmax Fibra e Don Mario 66i68 para as variáveis avaliadas. A cultivar Brasmax Fibra apresentou os maiores valores de F_v/F_m (Figura 2) e SPAD (Figura 3), correspondendo a maiores valores de fotossíntese efetiva e maiores teores de clorofila, independente da dose de herbicida utilizada. Por outro lado, a cultivar Don Mario 66i68 apresentou os menores valores de F_v/F_m e SPAD, independente da dose de herbicida utilizada. Já a cultivar Don Mario 64i63 apresentou valores que não diferem estatisticamente das demais cultivares testadas neste estudo, conforme dados da Tabela 3.

Figura 2. Eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m) das diferentes cultivares de soja aos 14 DAE independente da dose de herbicida, em experimento conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.



Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Figura 3. Teor de clorofila (SPAD) das diferentes cultivares de soja aos 14 DAE, em experimento conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.



Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

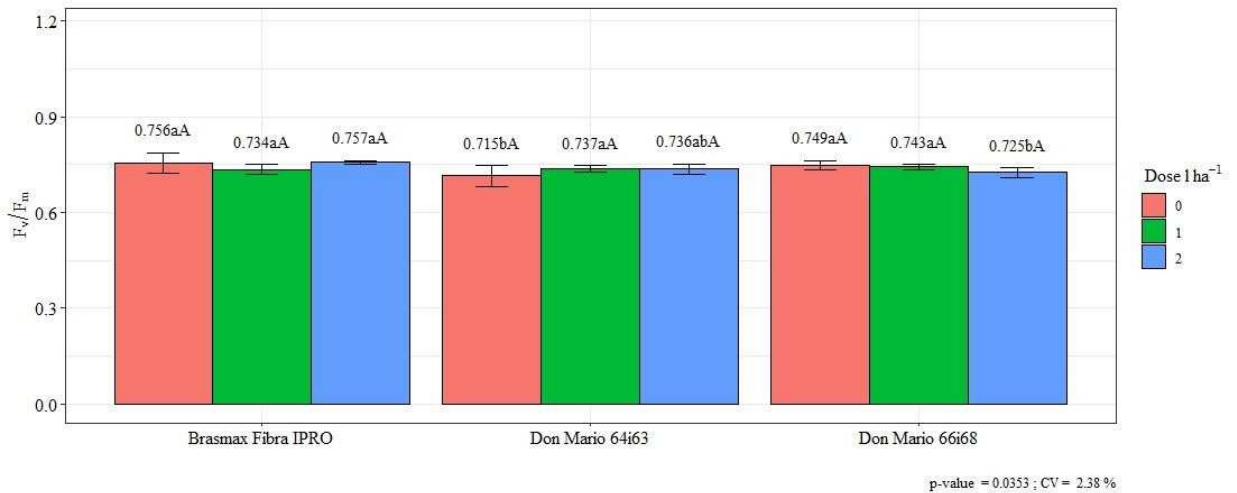
Tabela 3. Eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm) e teor de clorofila (SPAD) aos 14, 21, 28, 35 e aos 42 DAE submetidas às doses do herbicida mesotriona + atrazina em experimento conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.

Cultivares	Dose de Herbicida (L ha ⁻¹)					
	0		1		2	
	Avaliação 14 DAE					
	Fv / Fm			SPAD		
Brasmax Fibra	0,690 a	0,662 a	0,682 a	37,4 a	37,5 a	36,6 a
Don Mario 64i63	0,622 ab	0,617 ab	0,658 ab	35,1 ab	36,9 ab	35,0 ab
Don Mario 66i68	0,603 b	0,628 b	0,656 b	35,0 b	33,8 b	34,7 b
CV (%)	7,01%			6,27%		
	Avaliação 21 DAE					
	Fv / Fm			SPAD		
Brasmax Fibra	0,756 a	0,734 a	0,757 a	34,55 a	35,23 a	33,8 a
Don Mario 64i63	0,715 b	0,737 a	0,736 ab	32,8 ab	32,8 ab	31,6 ab
Don Mario 66i68	0,749 a	0,743 a	0,725 b	30,4 b	29,9 b	31,4 b
CV (%)	2,38%			7,83%		
	Avaliação 28 DAE					
	Fv / Fm			SPAD		
Brasmax Fibra	0,691 a	0,702 a	0,727 a	29,7 a	28,8 a	26,2 a
Don Mario 64i63	0,655 a	0,706 a	0,651 a	31,1 a	27,1 a	25,8 a
Don Mario 66i68	0,667 a	0,680 a	0,717 a	27,5 a	28,5 a	30,7 a
CV (%)	6,91%			13,43%		
	Avaliação 35 DAE					
	Fv / Fm			SPAD		
Brasmax Fibra	0,733 a	0,742 a	0,752 a	27,1 a	28,9 a	28,6 a
Don Mario 64i63	0,762 a	0,750 a	0,735 a	30,3 a	28,9 a	30,5 a
Don Mario 66i68	0,729 a	0,727 a	0,749 a	28,8 a	28,3 a	30,5 a
CV (%)	4,37%			7,29%		
	Avaliação 42 DAE					
	Fv / Fm			SPAD		
Brasmax Fibra	0,706 a	0,685 a	0,718 a	28,2 a	30,0 a	26,8 a
Don Mario 64i63	0,710 a	0,685 a	0,690 a	27,8 a	27,4 a	25,7 a
Don Mario 66i68	0,702 a	0,709 a	0,665 a	27,7 a	27,4 a	28,0 a
CV (%)	6,14%			14,32%		

Médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Aos 21 DAE, a cultivar Don Mario 64i63 apresentou estatisticamente menores valores de fotossíntese efetiva (Fv/Fm) comparado com as demais cultivares no tratamento sem herbicida, mostrando assim que está cultivar apresenta menor taxa fotossintética em relação as demais cultivares, conforme a figura 4.

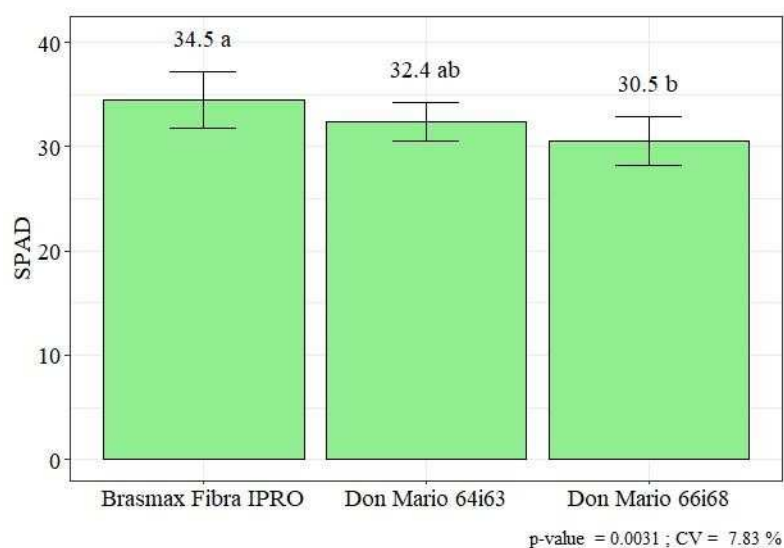
Figura 4. Eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m) das diferentes cultivares de soja aos 21 DAE, em experimento conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.



Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para a variável SPAD, a cultivar Don Mario 66i68 apresentou os menores teores de clorofila, e a cultivar Brasmax Fibra apresentou os maiores teores de clorofila, porém ambas cultivares não diferiram estatisticamente da cultivar Don Mario 64i63, conforme dados da Figura 5.

Figura 5. Teor de clorofila (SPAD) das diferentes cultivares de soja aos 21 DAE, em experimento conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.

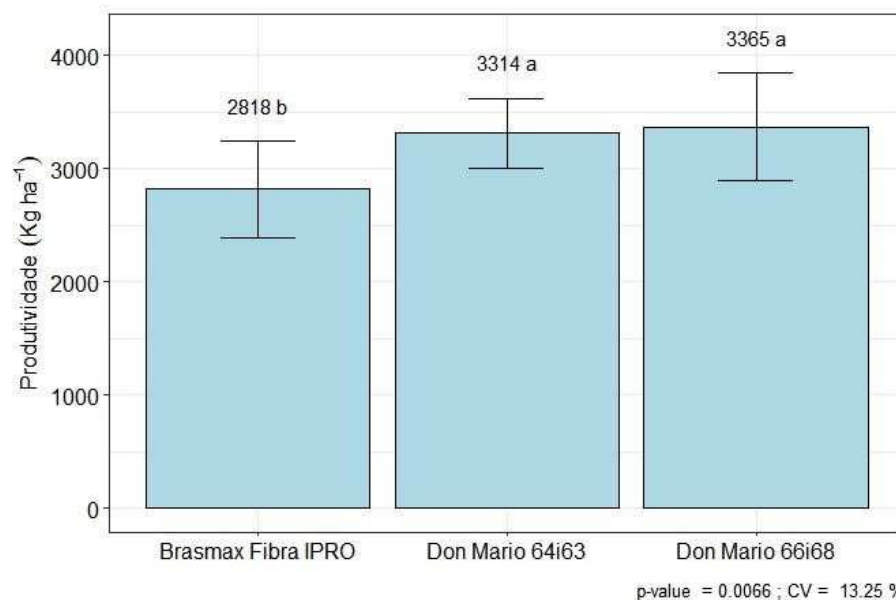


Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Nas avaliações realizadas aos 28, 35 e 42 DAE, as cultivares Brasmax Fibra, Don Mario 64i63 e Don Mario 66i69 não apresentaram diferenças estatísticas entre si para ambas variáveis avaliadas neste trabalho, conforme dados da tabela 3.

Na avaliação de produtividade, a cultivar Brasmax Fibra apresentou os menores rendimentos, e, as cultivares Don Mario 64i63 e Don Mario 66i68 não apresentaram diferença significativa entre si, independente da dose de herbicida utilizada, conforme dados da Figura 6.

Figura 6. Produtividade (kg ha^{-1}) das diferentes cultivares de soja submetidas às doses do herbicida mesotriona + atrazina em experimento conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.



Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

- Experimento 2- Seletividade de atrazina + mesotriona aplicada em diferentes intervalos antecedendo a semeadura da soja

No ensaio de diferentes períodos entre a aplicação do herbicida mesotriona + atrazina e a semeadura da cultura da soja, os parâmetros de eficiência quântica máxima e efetiva do fotossistema II (F_v/F_m), taxa relativa do transporte de elétrons (ETR), e teor de clorofila (SPAD) da cultura da soja não apresentaram diferenças estatísticas em ambos os anos. Na avaliação de produtividade os dados também não diferiram estatisticamente, conforme Tabela 4. Porém, a produtividade na testemunha, onde não foi aplicado o herbicida mesotriona + atrazina, foi menor

quando comparada com as parcelas onde o herbicida foi aplicado.

Tabela 4. Produtividade média da cultivar Brasmax Fibra submetida à aplicação do herbicida mesotriona + atrazina em diferentes períodos antes do plantio conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.

Intervalo	Produtividade (kg ha⁻¹)
Testemunha	2.444,9 a
45	2.779,6 a
30	2.624,9 a
15	2.647,4 a
7	2.721,2 a
CV (%)	13,78%

Médias seguidas da mesma letra minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em ambos experimentos conduzidos neste estudo, as cultivares de soja utilizadas não apresentaram nenhuma diferença estatística, dependente da variável avaliada. Alguns autores obtiveram resultados semelhantes entre a aplicação de atrazina e a semeadura da cultura da soja em sequencia, como Caratti e coloboradores (2014), que concluíram que se faz necessário um intervalo mínimo de 18 dias entre aplicação de atrazina na dose de 3,25 kg ha⁻¹ e a semeadura da soja, para que assim a cultura não sofra pelo efeito residual do herbicida. Carvalho e colaboradores (2010) testaram diferentes períodos entre aplicação de atrazina e a semeadura de culturas consideradas sensíveis como a soja. Em suas conclusões, obtiveram um intervalo seguro entre 15 e 30 dias entre a aplicação de nicosulfuron (30 g ha⁻¹) + atrazina (1500 g ha⁻¹) e a semeadura da cultura da soja. Vale ressaltar que em intervalo de 7 dias entre aplicação dos herbicidas e a semeadura da soja, a fitotoxicidade apresentada pela cultura da soja foi de aproximadamente 7 % aos 15 dias após a semeadura, 4 % de fitotoxicidade aos 30 dias, e 3 % de fitotoxicidade aos 45 dias após a semeadura da cultura da soja (CARVALHO et al., 2010).

Por outro lado, em trabalho realizado por Preisler et al. (2019), em condições controladas, os autores observaram efeito fitotóxicos sobre a soja. A aplicação de atrazina (2.000 g i.a. ha⁻¹) com intervalo de 17 e 60 dias antecedendo a semeadura da soja resultaram em redução na atividade fotossintética das plantas, menor crescimento de parte aérea e de raízes. Nesse estudo, a cultivar de soja utilizada foi a BRS 232, e o solo utilizado no experimento apresentava 32% de argila,

42% de areia e 25% de silte. Esses efeitos não foram observados no presente trabalho, possivelmente pelas características do solo onde foi conduzido o experimento, que possui cerca de 65% de argila, tornando assim a adsorção de atrazina ao solo muito mais forte e em maior quantidade.

Para a mesotriona, estima-se que a meia vida seja de apenas 15 dias (SHANER, 2014), e que seu residual não seja um problema para a cultura da soja. Em trabalho realizado em três localidades dos Estados Unidos, observou-se que a aplicação de 25 ou 50% da dose de mesotriona recomendada, simulando a degradação, não afetou a produtividade de soja semeada em sucessão, tanto em sistema convencional de preparo de solo quanto semeadura direta na palha (GRINT et al., 2022). De modo semelhante, não foram observadas injúrias em plantas de soja semeadas 1 ano após a aplicação de 3 doses de mesotriona, sendo a recomendada ($144 \text{ g i.a. ha}^{-1}$), o dobro da recomendada ($288 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) e quatro vezes a dose recomendada ($576 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) (PINTAR et al., 2020).

Alguns fatores podem ter colaborado para os resultados do presente estudo, incluindo o volume de chuvas após aplicação do herbicida e as características destes herbicidas. A atrazina por exemplo, possui $pka=1,7$, $kow = 481$, koc médio de mL g^{-1} de solo e solubilidade em água de 33 ppm, tornando-a assim fortemente adsorvida pelos colóides e pela matéria orgânica do solo (EMBRAPA TRIGO, 2006). Entre a aplicação das diferentes doses do herbicida e semeadura das diferentes cultivares de soja a precipitação foi de 348 milímetros (Figura 1). Peruzzo et al. (2020) também tiveram resultados semelhantes em relação a produtividade e demais fatores avaliados em seu estudo, onde a precipitação entre aplicação dos herbicidas atrazina ($2000 \text{ g i.a. L}^{-1}$) e atrazina + simazina ($1000 \text{ g i.a. L}^{-1} + 1000 \text{ g i.a. L}^{-1}$) foi de 490 milímetros de chuva.

Outro fator que pode ter contribuído para os resultados deste estudo está associado ao escoamento superficial e/ou lixiviação, processos estes que são fatores importantes relacionados à perda dos herbicidas para águas superficiais e subterrâneas (INOUE et al., 2003). De acordo com Correia e colaboradores, o herbicida atrazina foi encontrado a 50 centímetros de profundidade em 60 dias após aplicação, respaldando a alegação que a atrazina possui alto potencial de lixiviação. Conforme aumenta-se a profundidade do solo, a matéria orgânica é reduzida, reduzindo assim os compostos orgânicos do solo, associada com a baixa capacidade

de sorção da atrazina com a fração mineral dos solos, o potencial de lixiviação do herbicida aumenta (MARTINAZZO et al., 2011). Os herbicidas pertencentes ao grupo das triazinas são moderadamente persistentes na maioria dos solos, podendo variar entre um mês a dois anos, dependendo da dose aplicada, da formulação e das características climáticas, além de apresentarem processo de hidrólise lento e alto potencial de escoamento superficial (VIDAL; MEROTTO, 2001).

A atrazina aplicada no solo pode sofrer outros processos além do escoamento superficial e a lixiviação, como a adsorção, retenção e degradação. Estes processos são diretamente influenciados pela umidade do solo, temperatura, capacidade de troca catiônica e pH. Alguns autores relatam que quanto maior a quantidade de argila presente no solo e o teor elevado de matéria orgânica permitem maior adsorção, reduzindo o movimento do herbicida no solo (CORREIA; LANGENBACH, 2006) (KASOZI et al., 2012). Neste estudo, conforme análise de solo, a área experimental possui 65% de argila, dessa forma as moléculas de atrazina possivelmente podem ter também ficado fortemente adsorvidas aos colóides orgânicos e minerais do solo sendo influenciados pelo pH, que afeta diretamente a sorção da atrazina pelo efeito direto sobre as cargas elétricas da matéria orgânica do solo, da argila e da atrazina (KASOZI et al., 2012) (INOUE et al., 2003).

Recentemente, a empresa fabricante do herbicida mesotriona (50 g kg⁻¹) + atrazina (500 g kg⁻¹) reduziu para 30 dias o intervalo entre aplicação e a semadura de culturas como a soja, trigo, aveia, centeio, cevada e triticale, evidenciando a seletividade do produto para estas culturas (SYNGENTA, 2022). Contudo, ressalta-se que vários fatores podem ter interferido na quantidade de atrazina presente na solução do solo no período próximo ao plantio das cultivares de soja, fatores estes que possivelmente foram fundamentais para a seletividade da mistura de mesotriona + atrazina para as três cultivares de soja testadas neste estudo.

3.4 CONCLUSÃO

A aplicação do herbicida mesotriona (50 g kg^{-1}) + atrazina (500 g kg^{-1}) não causou redução significativa na produtividade das cultivares Brasmax Fibra, Don Mario 64i63 e Don Mario 66i68, as diferenças ocorreram apenas em função da cultivar.

As três cultivares avaliadas no experimento 1 não apresentaram reduções significativas nos parâmetros avaliados. As diferenças de produtividade ocorreram basicamente em função da cultivar, e não da dose de herbicida utilizada.

A cultivar Brasmax Fibra não apresentou reduções nas variáveis avaliadas e também na sua produtividade, portanto, a cultivar é tolerante ao herbicida mesotriona (50 g kg^{-1}) + atrazina (500 g kg^{-1}) mesmo quando aplicado apenas 7 dias antes da semeadura. Contudo, ressalta-se a importância dos efeitos edafoclimáticos sobre essa resposta, devendo ser respeitada a recomendação do fabricante.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, N.R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.89-113, 2008.

CARATTI, F. C.; REINEHR, M.; FABIANI, M. F.; TURRA, M. A.; BASSO, C. J.; LAMEGO, F. P. Efeito residual de atrazina na cultura da soja. In: **Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas**, Gramado, 2014.

CARVALHO, F. T.; MORETTI, T. B.; SOUZA, P. A. Efeito do residual no solo de nicosulfuron isolado e em mistura com atrazine sobre culturas agrícolas subsequentes. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 9, n. 1, p. 26-34, 2010.

CORREIA, F. V.; LANGENBACH, T. Dinâmica da distribuição e degradação de atrazina em argissolo vermelho-amarelo sob condições de clima tropical úmido. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 183-192, 2006.

EMBRAPA TRIGO. Principais herbicidas indicados para a cultura do milho no sistema plantio direto e no preparo convencional de solo. **Documentos online**. Passo Fundo, RS, 2006

GRINT, K. R. et al. Low carryover risk of corn and soybean herbicides across soil management practices and environments. **Weed Technology**, v. 36, n. 1, p. 160-167, 2022.

INOUE, M. H.; OLIVEIRA JR, R. S.; REGITANO, J. B.; TORMENA, C. A.; TORNISIELO, V. L.; CONSTANTIN, J. Critérios para avaliação do potencial de lixiviação dos herbicidas comercializados no estado do Paraná. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 313-323, 2003.

KASOZI, G. N.; NKEDI-KIZZA, P.; LI, Y.; ZIMMERMAN, A. R. Sorption of atrazine and ametryn by carbonatic and non-carbonatic soils of varied origin. **Environmental Pollution**, v. 169, n. 1, p. 12-19, 2012.

MARTINAZZO, R.; DICK, D. P.; HIRSCH, M. M.; LEITE, S. B.; PERALBA, M. C. R. Sorção de atrazina e mesotriona em latossolos e estimativa potencial de contaminação. **Revista Química Nova**, v. 34, n. 8, p. 1378-1384, 2011.

PERUZZO, F. T.; SILVA, D. R. O.; SILVA, A. A. A.; NOVELLO, B. D.; CUCHI, M. L. Efeito do residual de atrazina e atrazina + simazina em soja. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 1, p. 64-72, 2020.

PINTAR, A. et al. Crop sensitivity to mesotrione residues in two soils: Field and laboratory bioassays. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 80, n. 4, p. 496-504, 2020.

PREISLER, A. C. et al. Atrazine nanoencapsulation improves pre-emergence herbicidal activity against *Bidens pilosa* without enhancing long-term residual effect on Glycine max. **Pest Management Science**, v. 76, n. 1, p. 141-149, 2019.

SHANER, D. L. Herbicide Handbook. 10th ed. Lawrence, KS: **Weed Science Society of America**. 513 p. 2014.

SYNGENTA. Bula Calaris. Disponível em: <<https://www.syngenta.com.br/product/crop-protection/calaris>>. Acesso em: 24 fev. 2023.

VIDAL, R. A.; MEROTTO JR., A. **Herbicidologia**. Porto Alegre: Evangraf. 152p. 2001.

ARTIGO B

EFICIÊNCIA DO HERBICIDA MESOTRIONA + ATRAZINA NO CONTROLE DE BUVA (*Conyza* spp.)

RESUMO

Os recentes casos de resistência múltipla da buva à herbicidas amplamente utilizados, como glifosato e 2,4-D, demandam a inserção de outros mecanismos de ação no sistema produtivo. A adoção de herbicidas pré-emergentes, bem como a comercialização de misturas formuladas com mecanismos de ação distintos, a fim de aumentar o espectro de controle, são atualmente práticas bastante difundidas. Recentemente foi lançada no mercado uma mistura comercial de mesotriona + atrazina. Estes dois herbicidas apresentam relatos de sinergismo na literatura. Mediante isso, os objetivos com este trabalho foram: (i) avaliar a eficiência da mistura comercial de mesotriona + atrazina no controle de buva em comparação à atrazina isolada; (ii) estudar o potencial sinergismo entre os dois ingredientes ativos presentes neste herbicida. O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Agronomia na Universidade Estadual de Londrina. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado. A atrazina foi aplicada nas doses de 62,5; 125; 250; 500; 1000 e 2000 g i.a. ha⁻¹ na formulação isolada e na formulação com mesotriona, além da aplicação isolada de mesotriona na dose de 100 g i.a. ha⁻¹, mais uma testemunha sem aplicação. Em todos os tratamentos foi adicionado óleo mineral (0,5% v/v). Foi avaliado o controle de buva aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após aplicação dos herbicidas, além da massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA) aos 35 DAT. Os dados foram submetidos à análise exploratória para testar a homogeneidade das variâncias e normalidade dos resíduos. Posteriormente foi realizada análise de variância (ANOVA) ($p < 0,05$) e o ajuste de regressões logísticas, utilizando o programa estatístico R. O efeito da mistura foi calculado pelo método de Colby. O herbicida mesotriona aplicado isolado não resultou em controle satisfatório das plantas de buva, com controle máximo de 55% aos 35 DAT. A atrazina aplicada de forma isolada apresentou controle satisfatório, na faixa de 85%, apenas na dose máxima aplicada (2000 g i.a. ha⁻¹). A mistura comercial de mesotriona + atrazina apresentou controle satisfatório das plantas de buva nas três maiores doses utilizadas neste trabalho, sendo (50 + 500 g i.a. ha⁻¹), (100 + 1000 g i.a. ha⁻¹) e (200 + 2000 g i.a. ha⁻¹) de mesotriona + atrazina, respectivamente. Os resultados de MFPA e MSPA seguiram o padrão esperado, ou seja, com o aumento das doses de herbicida aplicados, houve redução nos valores de ambas as variáveis. De acordo com o método de Colby, a mistura de mesotriona + atrazina pode ser considerada sinérgica para o controle pós-emergente de buva. Portanto, conclui-se que a mistura de mesotriona + atrazina controla este biótipo de buva de forma satisfatória a partir da dose de 50 g de mesotriona ha⁻¹ + 500 g de atrazina ha⁻¹, e que os ingredientes ativos deste herbicida apresentam efeito sinérgico, sendo uma excelente opção para o manejo de buva.

Palavras-chave: Formulação; Inibidores do Fotossistema II; Inibidores da síntese de Carotenoides; Mistura de herbicidas; Sinergismo.

ABSTRACT

The recent cases of multiple resistance of horseweed to widely used herbicides, such as glyphosate and 2,4-D, demand the insertion of other mechanisms of action in the productive system. The adoption of pre-emergent herbicides, as well as the commercialization of mixtures formulated with different mechanisms of action, in order to increase the spectrum of control, are currently widespread practices. Recently, a commercial mixture of mesotrione + atrazine was launched on the market. These two herbicides present reports of synergism in the literature. Therefore, the objectives of this work were: (i) to evaluate the efficiency of the commercial mixture of mesotrione + atrazine in the control of horseweed compared to atrazine alone; (ii) study the potential synergism between the two active ingredients present in this herbicide. The experiment was carried out in the greenhouse of the Department of Agronomy at the State University of Londrina. The treatments were arranged in a completely randomized design. Atrazine was applied at doses of 62.5; 125; 250; 500; 1000 and 2000 g a.i. ha⁻¹ in the isolated formulation (Primoleo 400 g of atrazine L⁻¹) and in the formulation with mesotrione (Calaris 50 g of mesotrione L⁻¹ + 500 g of atrazine L⁻¹), in addition to the isolated application of mesotrione (Callisto 480 g of mesotrione L⁻¹) at a dose of 100 g i.a. ha⁻¹, plus one witness without application. Mineral oil (0.5% v/v) was added to all treatments. The control of horseweed was evaluated at 7, 14, 21, 28 and 35 days after herbicide application, in addition to shoot fresh mass (MFPA) and shoot dry mass (MSPA) at 35 DAT. Data were submitted to exploratory analysis to test the homogeneity of variances and normality of residuals. Subsequently, analysis of variance (ANOVA) ($p < 0.05$) and the adjustment of logistic regressions were performed, using the statistical program R. The effect of the mixture was calculated using the Colby method. The mesotrione herbicide applied alone did not result in satisfactory control of horseweed plants, with a maximum control of 55% at 35 DAT. Atrazine applied alone showed satisfactory control, in the range of 85%, only at the maximum applied dose (2000 g i.a. ha⁻¹). The commercial mixture of mesotrione + atrazine showed satisfactory control of horseweed plants at the three highest doses used in this work, namely (50 + 500 g ai ha⁻¹), (100 + 1000 g ai ha⁻¹) and (200 + 2000 g i.a. ha⁻¹) of mesotrione + atrazine, respectively. The results for MFPA and MSPA followed the expected pattern, that is, with the increase in the applied herbicide doses, there was a reduction in the values of both variables. According to Colby's method, the mixture of mesotrione + atrazine can be considered synergistic for the post-emergence control of horseweed. Therefore, it is concluded that the mixture of mesotrione + atrazine controls this horseweed biotype satisfactorily from the dose of 50 g of mesotrione ha⁻¹ + 500 g of atrazine ha⁻¹, and that the active ingredients of this herbicide have an effect synergistic, being an excellent option for the management of horseweed..

Keywords: Formulation; Photosystem II inhibitors; Carotenoid synthesis inhibitors; Mixture of herbicides; Synergism.

4.1 INTRODUÇÃO

A presença de plantas daninhas em áreas cultivadas traz inúmeros prejuízos aos sistemas produtivos. Caracterizadas por sua alta adaptabilidade e competitividade, as plantas daninhas causam redução de produtividade, aumento de custos de produção e causam prejuízos na qualidade final do produto, se não controladas no momento adequado.

A buva (*Conyza* spp.) é uma planta daninha encontrada em grande parte das áreas agrícolas do Brasil, e é caracterizada pela facilidade de dispersão, principalmente pela grande capacidade de produção de sementes, que são facilmente dispersas pelo vento. Essa planta daninha é altamente competitiva, e se não manejada pode causar prejuízos de até 80% na produtividade de grãos de soja.

A falta da rotação de culturas e de mecanismos de ação de herbicidas favorece a ocorrência de casos de resistência de buva, o que dificulta o controle dessa planta daninha. A utilização de um mesmo produto em larga escala e de forma repetida, subdoses, aplicações fora do estágio recomendado são os fatores que favorecem a seleção de plantas daninhas resistentes. Inicialmente foram selecionados biótipos de buva resistentes ao glifosato. Atualmente já existem vários casos de buva resistente a herbicidas no Brasil, incluindo casos de resistência múltipla da buva à herbicidas amplamente utilizados, como glifosato, 2,4-D, diuron, saflufenacil e paraquat. Isso faz com que novas opções sejam estudadas, incluindo a inserção de outros mecanismos de ação no sistema produtivo.

A adoção de herbicidas pré-emergentes, bem como a comercialização de misturas formuladas com mecanismos de ação distintos, a fim de aumentar o espectro de controle, são atualmente, práticas bastante difundidas. Recentemente foi lançada no mercado, uma mistura comercial de mesotriona + atrazina. Trata-se de um herbicida composto por dois ingredientes ativos distintos, para os quais já existem relatos na literatura de efeitos sinérgicos entre seus modos de ação, sendo a mesotriona um inibidor da síntese de carotenoides, e a atrazina é um inibidor do fotossistema II (FSII). Ambos apresentam tanto ação pré quanto pós-emergente inicial.

A atrazina atua substituindo a quinona B (Qb) na proteína D1 do FSII. Como consequência ocorre o acúmulo de elétrons que reagem com moléculas de oxigênio, levando à produção de espécies reativas de oxigênio, que são tóxicas para

as membranas celulares. Em virtude dos danos causados pelas EROs, é comum a ocorrência de necrose dos tecidos, principalmente em folhas maduras, uma vez que o herbicida se transloca pelo xilema. Já a mesotriona inibe a enzima 4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenase (HPPD), integrante da rota de biossíntese de carotenoides. Esses pigmentos atuam como protetores contra o excesso de energia nos fotossistemas. Os sintomas típicos envolvem a coloração albina dos tecidos jovens em resposta à fotodegradação da clorofila e à translocação pelo floema. Portanto, a ausência de carotenoides nas plantas faz com que o efeito de herbicidas que inibem o FSII seja ainda mais pronunciado, o que explica o sinergismo entre esses mecanismos de ação.

Embora seja comum a ocorrência de sinergismo entre inibidores de FSII e de carotenoides, essa relação é dependente da espécie de planta daninha. Mediante o exposto, e a dificuldade de controle de plantas de buva, o objetivo com este estudo foi avaliar a eficiência da mistura comercial de mesotriona + atrazina no controle de buva, assim como estudar o potencial sinergismo entre os dois ingredientes ativos presentes neste herbicida.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Local e Material Vegetal

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina (UEL), na cidade de Londrina-PR, entre os meses de junho e agosto de 2022.

As sementes de buva foram coletadas na Fazenda Escola da UEL, e semeadas em uma bandeja plástica contendo substrato Carolina Soil. Após 30 dias, quando as plântulas já estavam com duas a três folhas, foram transplantadas uma planta por vaso. Os vasos tinham capacidade de 1 litro, contendo substrato formado por solo e areia, na proporção 1:1. Foram adicionados fertilizante NPK (05-20-20) na proporção de 2,5 g kg⁻¹ de substrato, além de calcário dolomítico (PRNT 70%) na proporção de 7,5 g kg⁻¹ de substrato. As plantas foram irrigadas diariamente, mantendo a umidade do solo próxima à da capacidade de campo.

4.2.2 Delineamento Experimental e Tratamentos

Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente

casualizado (DIC), com quatro repetições. Os tratamentos foram dispostos na forma de curvas de dose-resposta, com seis doses de atrazina. A atrazina foi aplicada nas doses de 62,5 g i.a. ha⁻¹, 125 g i.a. ha⁻¹, 250 g i.a. ha⁻¹, 500 g i.a. ha⁻¹, 1000 g i.a. ha⁻¹ e 2000 g i.a. ha⁻¹ na formulação isolada (Primóleo, 400 g de atrazina L⁻¹) e na formulação com mesotriona (Calaris, 500 g de atrazina L⁻¹ + 50 g de mesotriona L⁻¹), além da aplicação isolada de mesotriona (Callisto 480 g de mesotriona L⁻¹) na dose de 100 g i.a. ha⁻¹, mais uma testemunha sem aplicação. Em todos os tratamentos foi adicionado óleo mineral (0,5% v/v).

4.2.3 Aplicação dos Tratamentos

Os tratamentos com herbicida foram aplicados quando as plantas de buva estavam no estágio entre 8 e 10 folhas. A pulverização foi realizada com pulverizador costal pressurizado a gás carbônico (CO₂), dotado de barra com duas pontas tipo leque TeeJet110.02, com pressão de trabalho de 30 psi e volume de calda equivalente a 150 L ha⁻¹. No momento da aplicação as condições meteorológicas eram favoráveis para a realização da aplicação, com temperatura de 25 °C, umidade relativa do ar de aproximadamente 65% e velocidade do vento de 2,5 km h⁻¹.

4.2.4 Avaliações

Foram realizadas avaliações visuais de controle aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após aplicação dos tratamentos (DAT). As avaliações foram realizadas sempre por dois avaliadores diferentes e seguindo a escala visual de controle proposta por Frans e Crowley (1986), conforme a Tabela 5, onde zero significa ausência de sintomas e 100 corresponde ao efeito total (morte) das plantas.

Tabela 5. Escala de avaliação visual de controle utilizada no experimento conduzido na casa de vegetação na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.

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

Fonte: Franz and Crowley, 1986.

Aos 35 DAT, a parte aérea das plantas de buva foram colhidas manualmente com auxílio de alicate de poda. Imediatamente após a coleta, as amostras foram pesadas para obtenção da massa fresca da parte aérea (MFPA). Em seguida as amostras acondicionadas em sacos de papel e foram colocadas para secagem em estufa, na temperatura de 60°C por 72 horas. Após o período de secagem, as amostras foram pesadas individualmente para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA), ambas expressas em gramas por planta.

4.2.5 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise exploratória para testar a homogeneidade das variâncias e normalidade dos resíduos. Posteriormente foi realizada análise de variância (ANOVA) ($p < 0,05$) e o ajuste de regressões logísticas, utilizando o programa estatístico R. O efeito da mistura (sinergismo, antagonismo ou aditividade) foi calculado utilizando-se o método proposto por Colby (1967).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 7 dias após aplicação dos tratamentos, o controle de buva já se mostrava superior nos tratamentos onde foram aplicados o herbicida mesotriona +

atrazina na dose de 2000 g i.a. ha⁻¹, com aproximadamente 20% de controle quando comparado com a aplicação isolada do herbicida atrazina, com controle correspondente a aproximadamente 10%. Na menor dose recomendada do herbicida mesotriona + atrazina, que corresponde à 500 g i.a. ha⁻¹, o controle foi de aproximadamente 14% na mistura formulada, contra um controle de 10% na atrazina isolada, e, na maior dose recomendada do herbicida mesotriona + atrazina, que corresponde à 1000 g i.a. ha⁻¹, o controle ficou novamente próximo dos 14% na mistura formulada, contra 12% de controle na aplicação isolada de atrazina, conforme Figura 7. Os dados de C₅₀ também se mostravam promissores logo na primeira avaliação de controle, onde para a aplicação de atrazina isolada a C₅₀ foi de 166,84 g i.a. ha⁻¹, na mistura formulada de mesotriona + atrazina a C₅₀ foi de 130,89 g i.a. ha⁻¹, com razão de 1,27, conforme dados da Tabela 6.

Figura 7. Controle de buva (*Coryza* spp.) em resposta à aplicação de doses de atrazina e atrazina + mesotriona (Atz + Meso) aos 7 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.

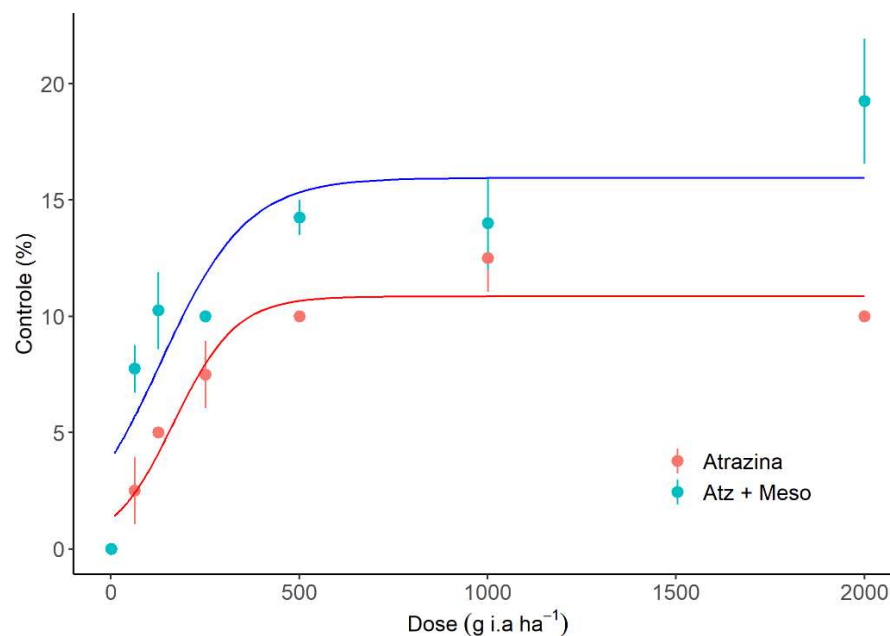
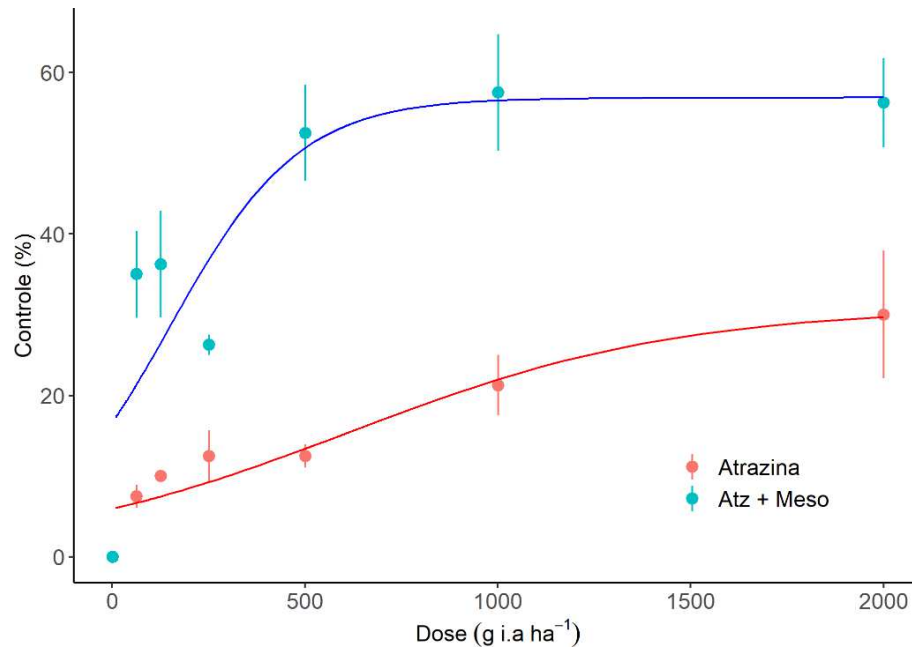


Tabela 6. Parâmetros das equações logísticas ajustadas para cada curva de dose-resposta.

	Parâmetros da equação				
	A	b	C ₅₀	Razão C ₅₀ (Atz/Atz + mes)	R ₂
	7 DAT				
Atrazina	-1.5899e+00	1.1454e+01	166.840	1,27	0.83
Atrazina + mesotriona	-3.4919e-01	4.4254e+02	130.891		0.79
	14 DAT				
Atrazina	-4.9599e-01	1.4860e+02	612.970	4,12	0.65
Atrazina + mesotriona	-2.8273e-01	1.3695e+02	148,737		0.71
	21 DAT				
Atrazina	-4.9751e-01	2.3861e+02	617.050	13,29	0.67
Atrazina + mesotriona	-2.1307e+02	1.5689e+02	46.411		0.84
	28 DAT				
Atrazina	-6.6966e-01	6.5398e+02	2235.6	45,32	0.74
Atrazina + mesotriona	-3.3384e-01	1.4266e+02	49.328		0.91
	35 DAT				
Atrazina	-0.80503	1052.418	3624.347	27,28	0.76
Atrazina + mesotriona	-0.92915	106.405	132.809		0.90
	MFPA				
Atrazina	-0.38910	165.63	13365.34	26,61	0,45
Atrazina + mesotriona	-0.44460	120.07	502.24		0,66
	MSPA				
Atrazina	-0.12395	74.421	328.53	2,17	0,56
Atrazina + mesotriona	-0.19126	86.614	151.22		0,65

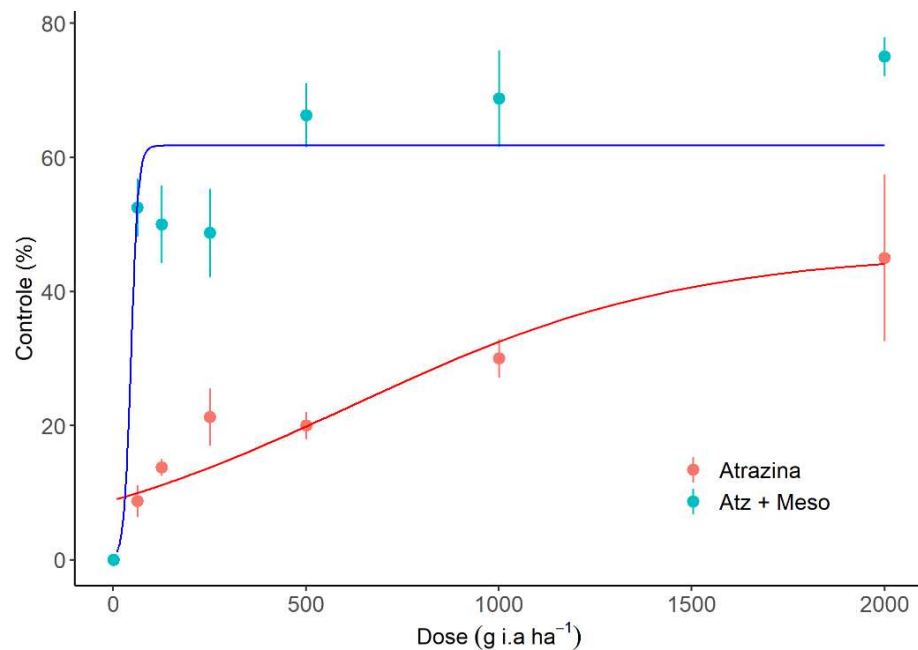
Aos 14 DAT a diferença de controle das plantas de buva pelos herbicidas mesotriona + atrazina e atrazina isolada ficaram mais evidentes, assim como a C₅₀, que foi de 612,97 gramas na aplicação isolada de atrazina e de 148,73 gramas na aplicação da mistura comercial, correspondendo à uma razão de 4,12, conforme dados da tabela 6. O controle das plantas de buva pela mistura formulada mesotriona + atrazina apresentou valores em torno de 52% e 57%, nas doses correspondentes à 500 g i.a. ha⁻¹ e 1000 g i.a. ha⁻¹ de atrazina, respectivamente, enquanto que na aplicação isolada de atrazina o controle ficou em torno de 12,5% e 21%, nas mesmas doses correspondentes de atrazina (Figura 8).

Figura 8. Controle de buva (*Conyza* spp.) aos 14 DAT sob aplicação de atrazina e atrazina + mesotriona no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.



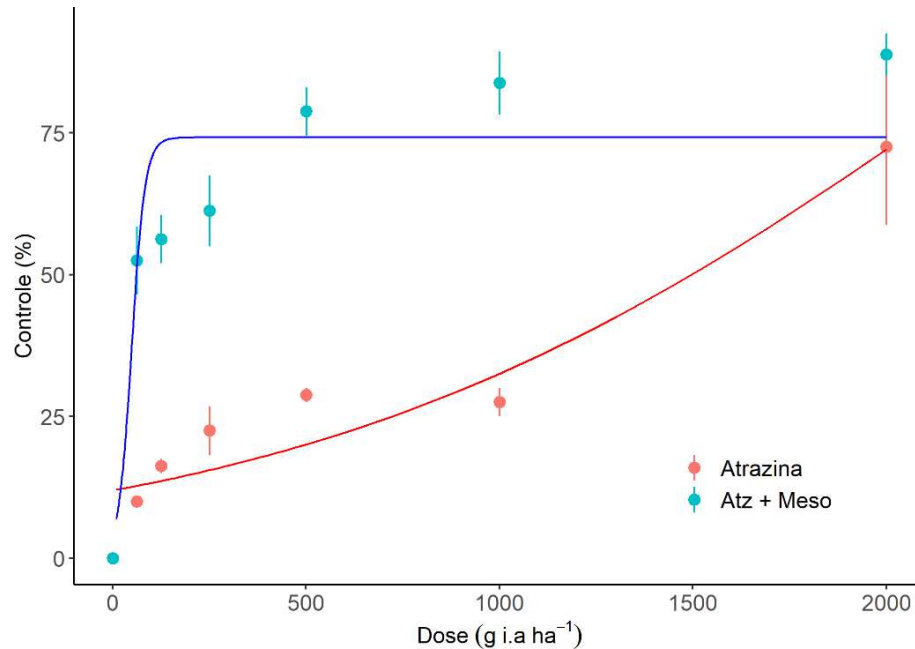
Aos 21 DAT, os dados de C_{50} ficaram em torno de 617,05 gramas de atrazina quando aplicada isolada e 46,41 gramas de atrazina quando aplicada a mistura formulada, conforme tabela 6. Quando aplicado a mistura comercial de atrazina + mesotriona na dose correspondente à 2000 g i.a. ha⁻¹ de atrazina, o controle de buva apresentou valores na casa de 75%. Já nas doses recomendadas do herbicida mesotriona + atrazina, o controle foi de 66% e 68%, e, na aplicação da atrazina isolada o controle foi de 20% e 30%, ambos nas doses de 500 g i.a. ha⁻¹ e 1000 g i.a. ha⁻¹ de atrazina, respectivamente, conforme figura 9.

Figura 9. Controle de buva (*Conyza* spp.) aos 21 DAT no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.



Aos 28 DAT, a aplicação da mistura formulada de atrazina + mesotriona mais uma vez se sobressaiu à mistura isolada de atrazina no controle das plantas de buva e também nos valores de C_{50} , apresentando razão de 45,3, conforme tabela 6. O controle médio foi de aproximadamente 28% nas doses de 500 g i.a. ha⁻¹ e 1000 g i.a. ha⁻¹ quando aplicado a atrazina isolada, e de 78% e 83% quando aplicado o herbicida mesotriona + atrazina, nas doses de 500 g i.a. ha⁻¹ e 1000 g i.a. ha⁻¹, respectivamente, conforme figura 10.

Figura 10. Controle de buva (*Conyza* spp.) aos 28 DAT no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.



Aos 35 DAT, foi realizada a última avaliação de controle das plantas de buva pelos herbicidas testados neste estudo. A mistura formulada de mesotriona + atrazina apresentou controle satisfatório das plantas de buva, com valores correspondentes a 90% nas doses de 500 g i.a. ha⁻¹ e 1000 g i.a. ha⁻¹ de atrazina e C₅₀ correspondente à 132,8 gramas de atrazina. Por outro lado, a aplicação isolada da atrazina não resultou em controle satisfatório das plantas de buva, com valores próximos a 28% quando aplicadas as doses de 500 g i.a. ha⁻¹ e 1000 g i.a. ha⁻¹ e apresentou valores de C₅₀ correspondente à 3624,34 gramas de atrazina. Quando aplicado o herbicida mesotriona isolado, o controle das plantas de buva ficou na casa dos 55%, resultando em um controle pobre assim como na aplicação isolada de atrazina nas doses recomendadas. Em contrapartida, o controle de buva foi elevado utilizando ambos herbicidas na dose de 2000 g i.a. ha⁻¹ de atrazina, com valores na faixa de 85% e 100% de controle, para a atrazina aplicada isolada e aplicada na mistura formulada com mesotriona, respectivamente, conforme dados da tabela 6 e das figuras 11 e 12.

Figura 11. Controle de buva (*Conyza* spp.) aos 35 DAT sob aplicação de atrazina e atrazina + mesotriona no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.

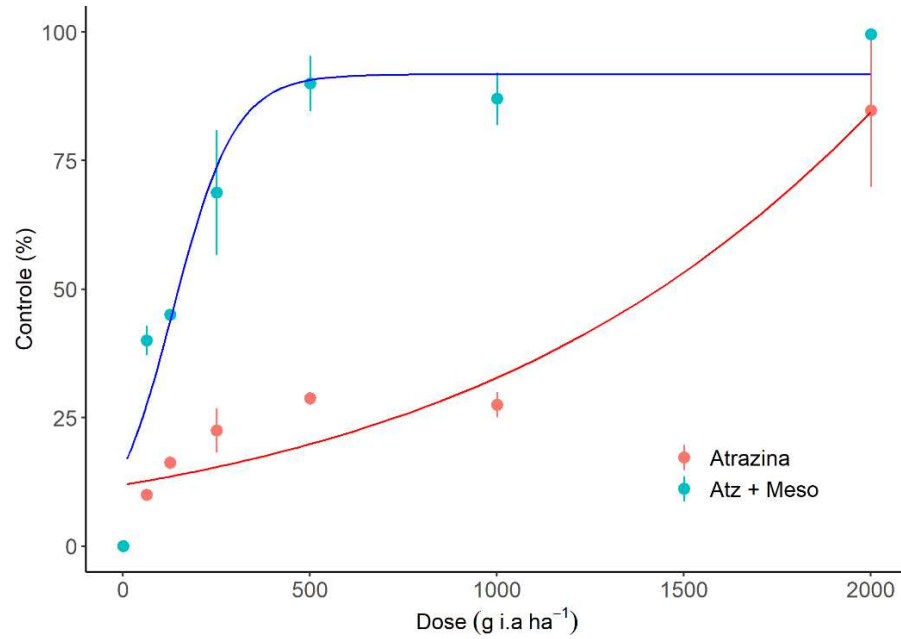


Figura 12. Controle visual de buva (*Conyza* spp.) aos 35 DAT sob aplicação de atrazina e atrazina + mesotriona no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.



*Da esquerda para a direita, doses de atrazina correspondentes à, 0 g; 62,5g; 125; 250g; 500g; 1000g



e 2000g.

Podemos destacar também que na avaliação de 35 DAT, quando aplicada a atrazina isolada, apenas na dose de 2000 g i.a. ha⁻¹ houve controle correspondente à 100% de duas plantas de buva, enquanto que, quando aplicada a mistura de mesotriona + atrazina, na dose de 500 g i.a. ha⁻¹, uma planta foi 100% controlada, na dose de 1000 g i.a. ha⁻¹, duas plantas foram 100% controladas, e na dose de 2000 g i.a. ha⁻¹ três plantas de buva foram 100% controladas, demonstrando assim o sinergismo entre os ingredientes ativos mesotriona e atrazina, que constituem um dos herbicidas utilizados neste estudo, conforme a tabela 7.

Aos 35 DAT também foram determinadas a massa fresca da parte aérea (MFPA) e a massa seca da parte aérea (MSPA). Em ambos resultados é possível observar redução na massa das plantas de buva conforme o aumento da

dose de atrazina utilizada, porém, assim como nos dados de controle, o herbicida mesotriona + atrazina apresentou resultados mais satisfatórios que a aplicação da atrazina isolada (Figuras 13 e 14).

Figura 13. Massa fresca da parte aérea (MFPA) das plantas de buva (*Conyza* spp.) determinada aos 35 DAT sob aplicação de atrazina e atrazina + mesotriona no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.

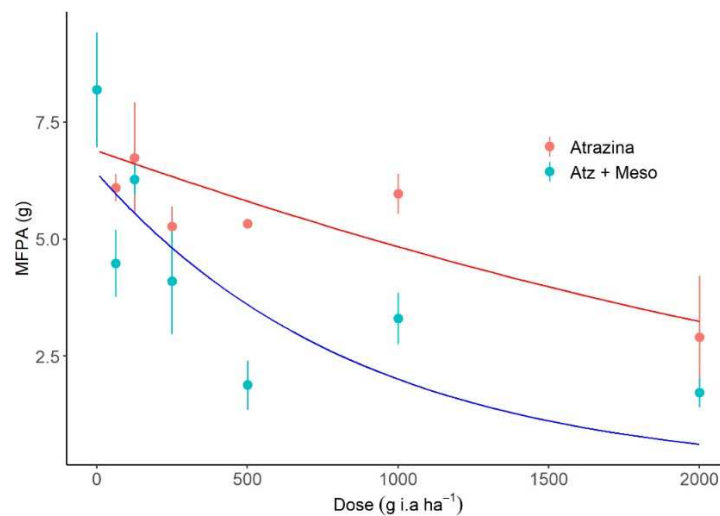
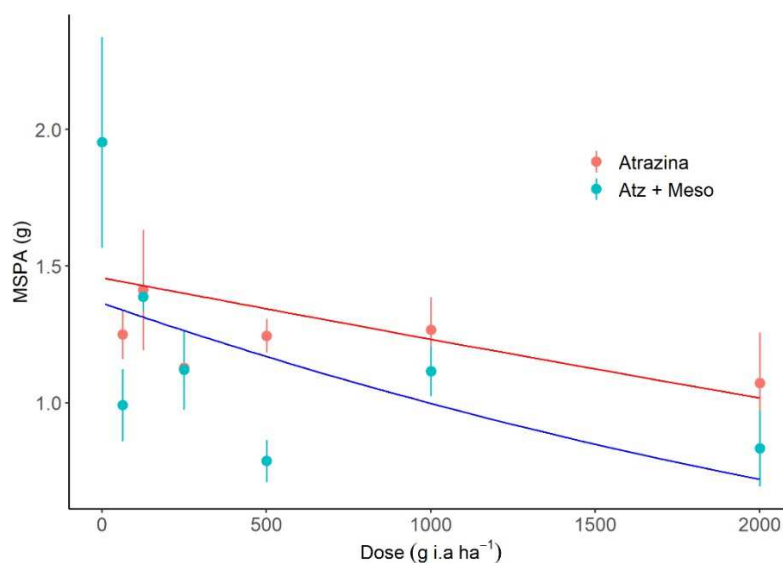


Figura 14. Massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de buva (*Conyza* spp.) determinada aos 35 DAT sob aplicação de atrazina e atrazina + mesotriona no experimento conduzido na casa de vegetação na Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR.



O efeito da atividade conjunta dos ingredientes ativos que constituem o herbicida utilizado neste estudo, no caso a mesotriona e a atrazina, foram determinados seguindo o método proposto por Colby em 1967. Para o controle de buva, apenas na avaliação realizada aos 7 DAT não apresentou efeito sinérgico. Por outro lado, todas as outras avaliações de controle e também de MFPA e MSPA o herbicida mesotriona + atrazina apresentou efeito sinérgico para o manejo de buva (Tabela 7).

Tabela 7. Efeito da atividade conjunta da dose correspondente à 1 litro do herbicida mesotriona + atrazina no controle de buva (*Conyza spp.*) calcula seguindo o método de Colby (1967).

	Controle observado (%)	Controle estimado (%)	Valor p	Resposta
7 DAT	14,0	16,8	0,179	Aditivo
14 DAT	57,5	34,0	0,017	Sinergismo
21 DAT	68,8	44,0	0,008	Sinergismo
28 DAT	83,8	55,5	0,026	Sinergismo
35 DAT	87,0	67,3	0,030	Sinergismo
MFPA	3,3	12,2	0,004	Sinergismo
MSPA	1,1	2,73	0,003	Sinergismo

Resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho já foram descritos por Kruse e colaboradores em 2001 para o controle de *Bidens pilosa*. Em seus estudos, relataram o sinergismo entre a mistura de metribuzin e clomazone, inibidores do fotossistema II e da síntese de carotenoides, assim como a atrazina e a mesotriona, respectivamente. Westberg e seus colaboradores (1989) também relatam a existência de sinergismo da mistura de herbicidas inibidores do fotossistema II e da síntese de carotenoides para o controle de *Ipomea hederacea* var. *integrifolia*.

Em sua dissertação, Silveira (2018) comprovou a existência de sinergismo entre mesotriona e atrazina no controle de *Ipomea hederifolia* aos 7 dias após aplicação dos tratamentos. A mistura apresentou sinergismo em 8 doses sendo, (62,5 + 20; 125 + 20; 250 + 20; 62,5 + 40; 125 + 40; 62,5 + 80; 125 + 80; 500+ 80 g i.a. ha⁻¹) de atrazina + mesotriona, respectivamente. Ainda em sua dissertação, Silveira (2018) apresenta doses de atrazina + mesotriona com efeito sinérgico aos 14

e 21 dias após aplicação dos tratamentos, confirmando a existencia de sinergismos entre as duas moléculas herbicidas.

Assim como Silveira (2018), Walsh e colaboradores (2012) constataram a sinergia entre atrazina e mesotriona, e afirmam que o efeito sinérgico é mais visível com a aplicação de baixas doses de ambos herbicidas. Em seus estudos, utilizando doses equivalentes à 0,5 g i.a. ha⁻¹ de mesotriona e 25 g i.a. ha⁻¹ de atrazina, a mortalidade de plantas daninhas foi inferior a 10% quando utilizados os herbicidas isolados, e de 47% quando aplicados os dois herbicidas em conjunto.

Correia (2016) também comprovou o efeito sinérgico entre mesotriona e atrazina no controle de *Merremia aegyptia*. Em seu trabalho, quando utilizou dose de mesotriona correspondente a 192 g ha⁻¹, o controle foi de aproximadamente 37%, e, quando foi aplicado a mistura de mesotriona (120 g ha⁻¹) + atrazina (1500 g ha⁻¹) o controle de *Merremia aegyptia* foi excelente, com valores equivalentes a 98%, mesmo 120 dias após aplicação dos herbicidas.

A associação de herbicidas do grupo químico das triazinas, inibidoras do fotossistema II, a outros mecanismos de ação, tais como o grupo químico dos inibidores da síntese de carotenoides tem por objetivo ampliar o espectro de controle de plantas daninhas mono e dicotiledôneas, contribuindo ainda para a prevenção do surgimento de biótipos resistentes (BELAPART et al., 2013; THEODORO et al., 2018). Outro benefício da mistura destes mecanismos de ação é melhorar o controle de plantas daninhas que apresentam resistência aos herbicidas pertencentes ao grupo das triazinas, como a atrazina. Essa combinação possui efeito sinérgico, como mencionada anteriormente e comprovada para *Raphanus raphanistrum* (WALSH et. Al, 2012) e para *Amaranthus retroflexus* (HUGIE et. Al, 2008; WOODYARD; HUGIE; RIECHERS, 2009). Maciel e seus colaboradores (2013) também constaram o sinergismo na mistura entre atrazina e mesotriona, mas, desta vez para o controle de *Digitaria horizontalis*, e, ainda relatam melhora na absorção radicular e foliar do produto pela planta. Hugie et. al (2008), afirmam que o aumento da dose de mesotriona utilizada com atrazina corrobora com o aumento do efeito sinérgico da mistura destes herbicidas.

O manejo de buva pode ser considerado satisfatório com a mistura comercial de mesotriona + atrazina testada neste estudo. Matte e seus colaboradores (2018) também obtiveram controle satisfatório utilizando o mesmo produto formulado.

Em seu trabalho, as plantas de buva foram controladas 100% aos 14 dias após aplicação do herbicida na dose de 500 g i.a. ha⁻¹ de atrazina e 50 g i.a. ha⁻¹ de mesotriona, correspondente à 1 litro do produto comercial. Neste mesmo estudo a mistura comercial também controlou 100% as plantas daninhas *Commelina benghalensis*, *Bidens pilosa*, *Ipomoea grandifolia* e *Urochloa plantaginea*.

4.4 CONCLUSÃO

A mistura comercial de mesotriona e atrazina é eficaz no controle deste biótipo de buva (*Conyza* spp.) nas suas doses recomendadas que variam de 1 à 2 litros, correspondendo à (50 g i.a ha⁻¹ + 500 g i.a ha⁻¹) e (100 g i.a ha⁻¹ + 1000 g i.a ha⁻¹) de mesotriona + atrazina, respectivamente.

A aplicação de atrazina isolada também é eficiente no controle deste biótipo de buva (*Conyza* spp.), porém para isto é necessária a aplicação de dose correspondente à 2000 g i.a ha⁻¹ de atrazina para que o controle seja satisfatório.

Por fim, pode-se assegurar que existe sinergismo entre os herbicidas inibidores do fotossistema II (atrazina) e inibidores da síntese de carotenoides (mesotriona) presentes na mistura comercial utilizada neste estudo.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, R. C. F.; CRUSCIOL, C. A. C.; RODRIGUES, J. D.; ALVAREZ, A. C. C. Aplicação de reguladores vegetais na cultura de arroz de terras altas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 2, p. 241-249, 2007.
- BELAPART, D.; MARCHESI, B. B.; GIROTTI, M.; TROPALDI, L.; CASTRO, E. B. Eficiência fotossintética de misturas de herbicidas no controle de *Ipomoea grandifolia*. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 24, n. 2, p. 102-109, 2013.
- BAZZO, J. H. B.; BARBOSA A. P.; CARDOSO, C. P.; ZUCARELI, C.; FONSECA, I. C. B. Physiological quality of seeds of white oat cultivars in response to trinexapac-ethyl application. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 4, p. 636-643, 2018.
- COLBY, S. R. Calculating synergistic and antagonistic responses of herbicide combinations. **Weeds**, v. 15, n. 1, p. 20-22, 1967.
- CORREIA, N. M. Chemical control of morning glory species in sugarcane harvested in the dry semi-wet seasons. **Planta Daninha**, v. 34, n. 2, p. 333-343, 2016.
- HUGIE, J. A.; BOLLERO, G. A.; TRANEL, P. J.; RIECHERS, D. E. Defining the rate requirements for synergism between mesotrione and atrazine in redroot pigweed (*Amaranthus Retroflexus*). **Weed Science**, v. 56, n. 2, p. 265–270, 2008.
- KRUSE, N. D.; VIDAL, R. A.; BAUMAN, T. T.; TREZZI, M. M. Potential synergism between herbicides inhibitors of the photosystem II and carotenoids synthesis. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 569-575, 2001.
- MACIEL, C. D. de G. et al. Potencialização da eficiência do mesotrione em mistura com inibidores de Fotossistema II em diferentes vias de absorção de capim-colchão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 3, p. 210–219, 2013.
- MATTE, W. D.; DE OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; MACHADO, F. G.; CONSTANTIN, J.; BIFFE, D. F.; GUTIERREZ, F. D. S. D.; SILVA, J. R. V. Eficácia de [atrazine+ mesotrione] para o controle de plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 2, p. 1-15, 2018.
- SILVEIRA, R. F. Caracterização de sinergismo e estudos de absorção e translocação de mesotrione e atrazine aplicados em associação e isoladamente em *Ipomoea hederifolia*. **Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo**, 2018.
- THEODORO, J. G. C.; DE OLIVEIRA, G. M. P.; DOS SANTOS, É. S. T.; PADUAN, F. N.; ALBERTI, R. P.; LOFRANO, L. G.; OSIPE, J. B. Herbicidas utilizados em milho no controle de soja voluntária. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 4, p. 1-8, 2018.
- WALSH, M. et al. Synergistic effects of atrazine and mesotrione on susceptible and resistant wild radish (*Raphanus raphanistrum*) populations and the potential for overcoming resistance to triazina herbicides. **Weed Technology**, v. 26, n. 2, p. 341-

347, 2012.

WESTBERG, D. E.; OLIVER, L. R.; FRANS, R. E. Weed control with clomazone alone and with other herbicides. **Weed Technology**, v. 3, n. 4, p. 678-685, 1989.

WOODYARD, A. J.; HUGIE, J. A.; RIECHERS, D. E. Interactions of Mesotrione and Atrazine in Two weed species with different mechanisms for atrazine resistance. **Weed Science**, v. 57, n. 4, p. 369–378, 2009.

5 CONCLUSÕES GERAIS

A aplicação do herbicida mesotriona + atrazina não interfere na produtividade das cultivares Brasmax Fibra, Don Mario 64i63 e Don Mario 66i68, desde que respeitadas as doses de bula que variam de 1 a 2 L ha⁻¹.

A aplicação do herbicida mesotriona + atrazina na dose correspondente a 1 L ha⁻¹ não interfere na produtividade da cultivar Brasmax Fibra, mesmo quando aplicado 7 dias antes da semeadura da cultivar no campo.

A mistura comercial mesotriona + atrazina apresenta controle de buva (*Conyza* spp.) superior à 90% nas doses de (50 + 500 g i.a. ha⁻¹) e (100 + 1000 g i.a. ha⁻¹) de mesotriona + atrazina, respectivamente.

A aplicação de atrazina isolada é eficiente no controle de buva (*Conyza* spp.) na dose correspondente à 2000 g i.a ha⁻¹ de atrazina.

Portanto, é possível afirmar que existe sinergismo no controle de buva entre os herbicidas inibidores do fotossistema II (atrazina) e inibidores da síntese de carotenoides (mesotriona) presentes na mistura comercial utilizada neste estudo.