



MARIA LUÍZA DOS SANTOS MOREIRA

**TOLERÂNCIA DO FEIJOEIRO-COMUM A HERBICIDAS
APLICADOS EM PRÉ-EMERGÊNCIA**

**LAVRAS - MG
2023**

MARIA LUÍZA DOS SANTOS MOREIRA

**TOLERÂNCIA DO FEIJOEIRO-COMUM A HERBICIDAS APLICADOS EM PRÉ-
EMERGÊNCIA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras - DAG, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Christiane Augusta Diniz Melo
Orientadora

**LAVRAS - MG
2023**

MARIA LUÍZA DOS SANTOS MOREIRA

**TOLERÂNCIA DO FEIJOEIRO-COMUM A HERBICIDAS APLICADOS EM PRÉ-
EMERGÊNCIA**

**TOLERANCE OF THE COMMON BEAN TO HERBICIDES APPLIED IN PRE-
EMERGENCY**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras - DAG, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovado em 20 de julho de 2023

Me. Taine Teotônio Teixeira da Rocha - UFLA

Me. Josias Reis Flausino Gaudêncio - UFLA

Profa. Dra. Christiane Augusta Diniz Melo
Orientadora

**LAVRAS – MG
2023**

AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento é ao meu Criador, e criador de todas as coisas que estão em minha volta. Ele me colocou em um lugar incrível, num berço de ouro, com companhias extraordinárias. Por agora, em 2018 me apresentou a faculdade, ao curso de agronomia, no qual me identifiquei muito. Até aqui, obrigada meu Deus por me proporcionar a vida e, essa vida.

Com carinho agradeço aos meus professores que deram as suas aulas com tanta dedicação e comprometimento. Em especial minha orientadora, Christiane que foi muito receptiva para comigo e prestativa na sua função.

Aos meus pais, Sirley e José Augusto, e familiares, pelo suporte dado desde o início da vida escolar, e por terem me acompanhado até agora. Sem dúvidas com muito esforço e abdicando de muitos gostos.

Agradeço por todas as amizades feitas em Lavras, colegas de curso, núcleos de estudo, as meninas que moraram comigo. Aos meus pedacinhos, minhas irmãs Aline e Mariana e meu companheiro Fábio, agradeço por toda a ajuda e cumplicidade.

Por fim, o agradecimento mais especial a Deus foi o filho que me deu, Luiz Otávio. Foi desafiador conciliar maternidade e os estudos, mas muito gratificante ter sua companhia, filho, do amor mais puro, que não me imagino sem.

Durante o tempo de graduação, tive inúmeros acontecimentos, conhecimentos, vivências, experiências. E por todas essas situações, por todas as amizades fica o meu carinho e minha alegria de ter participado e vivido tudo isso. E a todos o meu desejo é que Deus abençoe e guie a vida de cada um assim como a minha. Muito obrigada!

RESUMO

O feijoeiro é sensível a muitas moléculas herbicidas, por isso são limitadas as opções para o manejo químico em pré-emergência das plantas daninhas, especialmente de folhas largas. Com o objetivo de avaliar os níveis de tolerância do feijão a doses crescentes de três herbicidas pré-emergentes, foi desenvolvido em casa de vegetação do Setor de Grandes Culturas da UFLA, um experimento inteiramente casualizado (DIC) em vasos, com quatro repetições. Foram utilizados três herbicidas registrados atualmente para cultura da soja: Apresa® (Flumioxazin+s-metolachlor) nas doses de 0,0; 0,75; 1,0; 1,25 e 1,50 L ha⁻¹; Zethamaxx® (Flumioxazin+imazethapyr) nas doses 0,0; 0,3; 0,4; 0,5 e 0,6 L ha⁻¹ e Eddus® (Fomesafen+s-metolachlor) nas doses de 0,0; 1,75; 2,0; 2,25 e 2,50 L ha⁻¹, os quais foram testados em experimentos individuais. Os herbicidas acima foram aplicados com pulverizador costal pressurizado a CO₂, a pressão de 2 bar. A classe comercial do feijão utilizada foi o carioca, cv. BRS ESTILO. Foram determinadas a altura de planta e fitotoxicidade aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA); e aos 28 DAA foi aferida a massa da matéria seca da parte aérea (MSPA). As doses testadas do herbicida Apresa® não foram seletivas ao feijão. O nível de fitotoxicidade do herbicida Zethamaxx® variou de acordo com a dose aplicada, ocorrendo a morte das plantas nas doses 0,5 e 0,6 L ha⁻¹. A altura e massa da matéria seca de parte aérea das plantas de feijão sob aplicação do herbicida Eddus® tiveram comportamento decrescente com o aumento da dose, em qualquer época de avaliação, porém o feijoeiro-comum se mostrou tolerante ao produto. Em conclusão, dentre os herbicidas testados aquele que apresentou maior seletividade foi o herbicida Eddus®. O herbicida Zethamaxx®, em menores doses de até 0,4 L ha⁻¹, também apresentou seletividade ao feijão.

Palavras-chaves: *Phaseolus vulgaris* L. Feijão carioca. Plantas daninhas. Seletividade, Doses.

ABSTRACT

The bean crop is sensitive to many herbicidal molecules, therefore options for pre-emergence chemical weed management, especially broad leaf ones are limited. With the aim of assessing the levels of tolerance of beans to increasing doses of three pre-emergent herbicides, a completely randomized experiment was carried out in pots, with four replications, in a greenhouse at the Sector of Great Cultures at UFLA. Three herbicides currently registered for soybean cultivation were used: Apresa® (Flumioxazin+s-metolachlor) at doses of 0,0; 0,75; 1,0; 1,25 e 1,50 L ha⁻¹; Zethamaxx® (Flumioxazin+imazethapyr) at doses of 0,0; 0,3; 0,4; 0,5 e 0,6 L ha⁻¹ and Eddus® (Fomesafen+s-metolachlor) at doses of 0,0; 1,75; 2,0; 2,25 e 2,50 L ha⁻¹ which were tested in individual experiments. The herbicides above were applied with a costal sprayer pressurized with CO₂, at a pressure of 2 bar. The commercial class of bean used was Carioquinha, cultivar BRS ESTILO. Plant height and phytotoxicity were determined at 7, 14, 21 and 28 days after application (DAA); and at 28 DAA the shoot dry matter mass was quantified. The tested doses of the Apresa® herbicide were not selective for beans. The level of phytotoxicity of the Zethamaxx® herbicide varied according to the dose applied, occurred plant death at doses of 0,5 and 0,6 L ha⁻¹. The height and the shoot dry matter mass of bean plants under application of the Eddus® herbicide showed a decreasing behavior with the increase of the dose, at any time of evaluation, although common bean showed tolerant to the product. In conclusion, among the herbicides tested, the Eddus® herbicide was the one that showed the greatest selectivity. The Zethamaxx® herbicide in smaller doses of up to 0,4 L ha⁻¹ showed selectivity.

Keywords: Phaseolus vulgaris L. Carioca bean. Damaging plants. Selectivity, Doses.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** - Fitotoxicidade (A), altura (B) e massa da matéria seca da parte aérea (C) do feijão carioca BRS Estilo, submetidos a aplicação de diferentes doses do herbicida Apresa®.23
- Figura 2** - Sintomas de fitotoxicidade nas plantas de feijão aos 7 dias após a aplicação do herbicida Apresa® em sua menor dose (A) ao lado da Testemunha (B).24
- Figura 3** - Fitotoxicidade (A), altura (B) e massa da matéria seca da parte aérea (C) do feijão carioca BRS Estilo, submetidos a aplicação de diferentes doses do herbicida Zethamaxx®. .26
- Figura 4** - Sintomas de fitotoxicidade nas plantas de feijão aos 7 dias após a aplicação do herbicida Zethamaxx® nas doses 0,3 (esquerda-A) e 0,4 L ha⁻¹ (direita-A) ao lado da Testemunha (B).28
- Figura 5** - Fitotoxicidade (A), altura (B) e massa da matéria seca da parte aérea (C) do feijão carioca BRS Estilo, submetidos a aplicação de diferentes doses do herbicida Eddus®.30
- Figura 6** - Sintomas de fitotoxicidade nas plantas de feijão 7 dias após a aplicação do herbicida Eddus® na sua menor dose (A) e a Testemunha(B).31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físico-químicas do solo utilizado no experimento.	21
Tabela 2 - Escala de Frans: avaliação da fitotoxicidade das plantas.	22
Tabela 3 - Resposta do feijão carioca, BRS Estilo, à aplicação em pré-emergência do herbicida Apresa® aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) em diferentes doses. UFLA - Campus Lavras – MG, 2023	25
Tabela 4 - Resposta do feijão carioca, BRS Estilo, à aplicação em pré-emergência do herbicida Zethamaxx® aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) em diferentes doses. UFLA - Campus Lavras – MG, 2023 (continua).	28
Tabela 5 - Resposta do feijão carioca, BRS Estilo, à aplicação em pré-emergência do herbicida Eddus® aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) em diferentes doses. UFLA - Campus Lavras – MG, 2023.	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	A cultura do feijoeiro-comum (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	12
2.2	Plantas daninhas e uso de herbicidas na cultura	14
2.2.1	Herbicidas pré-emergentes com potencial uso na cultura do feijão.....	15
2.2.1.1	Inibidores da protoporfirinogenio oxidase (Protox ou PPO)	16
2.2.1.2	Inibidores da divisão celular/ inibidores de crescimento	17
2.2.1.3	Inibidores da ALS.....	18
2.3	Seletividade das plantas aos herbicidas	19
3	METODOLOGIA	21
4	RESULTADOS.....	23
5	DISCUSSÃO.....	33
6	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

O feijão é uma das principais culturas anuais do Brasil, sendo cultivado tanto pela agricultura familiar quanto em cultivos altamente tecnificados, em até três safras durante o ano. Por ser uma cultura bastante diversificada, abrangendo dois gêneros também diversos da família Fabaceae, *Phaseolus* L. e *Vigna* spp., e diferentes classes comerciais, a preferência do consumidor é conforme sua região e cultura. No entanto, o consumo e, conseqüentemente, o cultivo no país é predominantemente da classe carioca. Na safra 21/2022, a produção de feijão (feijão-comum cores, feijão-comum preto e feijão-caupi) foi de 2.997 mil toneladas, com produtividade média de 1.050 kg ha^{-1} (CONAB, 2023c), o que demonstra a importância da cultura no país e a possibilidade de alcançar maiores médias com o aperfeiçoamento do manejo e técnicas.

Não obstante esse produto seja a grande preferência nacional, o cultivo do feijoeiro, de modo geral, apresenta alguns entraves quando comparado às demais espécies cultivadas, haja vista que se trata de uma cultura de ciclo curto, baixa estatura, sensível a muitas moléculas herbicidas existentes e, portanto, com opções limitadas para o controle químico de plantas daninhas. A duração do ciclo, que por um lado constitui vantagem ao produtor, permitindo sua inserção nos sistemas de produção, por outro lado pode ser uma limitação, pois a fitotoxicidade causada por herbicidas pode levar tempo para ser recuperada, comprometendo parte do crescimento e desenvolvimento da planta. Ademais, a baixa estatura da planta dificulta a competição com as espécies infestantes. Por esses motivos, as plantas daninhas constituem uma das dificuldades na condução da cultura e na obtenção de resultados mais satisfatórios.

Estão registradas no Brasil 29 moléculas herbicidas para a cultura do feijão, pertencentes a dez mecanismos de ação diferentes, dentre os quais apenas três deles contêm herbicidas recomendados para o controle de plantas daninhas em pré-emergência, totalizando cinco moléculas (AGROFIT, 2023). Os três mecanismos de ação são: inibidores da formação de microtúbulos (trifluralina e pendimethalin), inibidores da síntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (s-metolachlor e metolachlor) e inibidores da PROTOX (flumioxazin), recomendados principalmente para o controle de espécies monocotiledôneas e algumas eudicotiledôneas. No entanto, como o feijoeiro é uma planta eudicotiledônea, a maior dificuldade está no controle de plantas daninhas de folhas largas.

Para que o herbicida tenha seu uso validado, são necessários testes quanto ao produto e as doses a serem recomendadas, visando determinar as doses seletivas à cultura, ou seja, aquelas em que a espécie de interesse é preservada dos efeitos fitotóxicos. A seletividade é

caracterizada em fisiológica, toponômica ou, até mesmo, adquirida por transgenia. A fisiológica refere-se as características metabólicas da planta. A toponômica ou de posição ocorre porque o herbicida não entra em contato com a planta. Já a obtida por transgenia, a planta é modificada geneticamente, adquirindo tolerância, o que ainda não existe para a cultura do feijão (ROCHA; BARRETO; AUGUSTI, 2022).

Alguns herbicidas foram registrados recentemente para a soja, a exemplo do Apresa®, Zethamaxx® e Eddus®. O produto comercial Apresa®, formulado à base de Flumioxazin + s-metolachlor apresenta suas moléculas isoladas registradas para feijão, por isso é um potencial uso a ser estudado. O produto comercial Zethamaxx® (Flumioxazin + imazethapyr) foi lançado em 2016 para feijão e outras culturas (CAMPOS, 2016), porém, como algumas cultivares de feijão apresentaram sensibilidade, foi retirado do mercado e atualmente pode ser usado em soja e amendoim (SUMITOMO, 2022). Outro produto comercial com potencial de uso na cultura do feijão é o Eddus® (Fomesafen + s-metolachlor), cujas moléculas isoladamente são registradas para a cultura.

Diante da importância socioeconômica do feijoeiro no Brasil e da sensibilidade da cultura à herbicidas, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas e a seleção de produtos para o controle de plantas daninhas, tornando o sistema cada vez mais produtivo e rentável. Perante ao exposto, objetivou-se testar doses crescentes de três herbicidas pré-emergentes registrados para a cultura da soja, selecionando aquelas seletivas e com potencial de uso em experimentos de campo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.)

O cultivo do feijoeiro é de grande importância no Brasil, o qual ocupa a terceira colocação entre os maiores produtores mundiais, sendo Índia a maior produtora de *Phaseolus* spp. e *Vigna* spp., seguida de Mianmar. Além do viés econômico, sua relevância se estende, pois é componente base na cultura alimentar de diversos povos, principalmente na América Latina, que possui um cenário ainda deficiente no enfrentamento à fome. Potencializar a produção e o consumo dessa leguminosa é uma das ferramentas no combate à fome, que afeta 34 milhões de pessoas, segundo a FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (2023). As leguminosas combinadas aos cereais formam uma fonte de proteína completa, que é mais barata que a proteína de origem animal, e, conseqüentemente, estão ao alcance de famílias de baixa renda. Outro fator importante é o papel exercido na geração de empregos nas regiões produtoras, com destaque para a agricultura familiar (FAO, 2023).

No Brasil são cultivados cerca de três milhões de hectares de feijão por ano, sendo o grupo carioca o mais produzido e consumido no país. As classes/grupos são agrupadas pelas características das sementes quanto a cor e tamanho. A CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento divide o feijão em dois grupos: I- Feijão-comum e II- Feijão-caupi. O primeiro grupo enquadra os subgrupos preto, branco, misturado e cores, sendo que o feijão-comum cores é representado majoritariamente pelo feijão carioca (CONAB, 2017).

Pelas condições climáticas brasileiras é possível cultivar feijão em três épocas do ano, denominados de primeira safra (das águas), segunda safra (das secas) e safra de inverno (irrigado). A safra das secas é responsável pela maior parte da produção (CONAB, 2023b), devido, principalmente, ao ciclo curto do feijão, que se enquadra na disponibilidade hídrica restrita desses meses, configurando-se como uma boa opção para os produtores. O feijão é altamente sensível ao déficit hídrico nos estádios de germinação, floração na formação das vagens e enchimento de grãos. Durante a germinação se houver falta de água o estande de plantas será prejudicado. Durante o florescimento a restrição hídrica provocará o aborto e a queda de flores, reduzindo o número de vagens por planta. Já no início da formação das vagens, induzirá à queda das vagens recém-formadas (canivetinhos), prejudicando a formação dos grãos, resultando na redução da massa e, por conseqüência, a produtividade (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Portanto, a viabilidade do cultivo de inverno é dependente da disponibilidade de irrigação, sendo ainda restrita àquelas regiões mais quentes. Para altos rendimentos, a cultura requer valores médios de temperatura mínima, ótima e máxima do ar de 12 °C, 21 °C e 29 °C, respectivamente. Temperaturas do ar abaixo de 12 °C podem provocar abortamento de flores (EMBRAPA, 2021).

No verão, a área plantada não é a maior devido à concorrência com outras culturas, destacando-se os cultivos de soja e milho nessa época (CONAB, 2023b). O risco de perdas na colheita no período chuvoso e a alta pressão de doenças, em função das condições favoráveis, são fatores que contribuem para a diminuição da área plantada nessa época do ano.

Os estados com maiores produções são Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás e Bahia. A produtividade de feijão é muito variável entre as regiões, pois existem diferentes níveis tecnológicos e investimentos por parte dos produtores. Na região Norte/Nordeste, predomina agricultura familiar e a produtividade média (feijão total) foi de 514 kg ha⁻¹ na safra 2021/22; No Centro-Sul, região mais tecnificada, essa média foi de 1690 kg ha⁻¹ para o mesmo período (CONAB, 2023a). O contraste produtivo entre as duas regiões deve-se à alguns fatores: no Nordeste, por exemplo, cultiva-se tradicionalmente vários grupos de feijão; as sementes utilizadas muitas vezes são salvas diretamente pelo produtor, e são menos produtivas, devido ao baixo vigor e menor qualidade fitossanitária; o produtor familiar geralmente dispõe de menor nível tecnológico; é produzido geralmente em consórcio com outras culturas; não há tanta preocupação com análises de solo e tratos culturais. Já entre os produtores do Centro-Sul, há uma tendência de maior adoção de boas práticas de manejo: uso do feijão em rotação/sucessão a outras culturas, utilização de sementes comerciais melhoradas, realização da calagem e adubação conforme demanda e análise de solo, utilização de capina química no controle de plantas daninhas, manejo de pragas e doenças, além de atuação presente da assistência técnica (COELHO, 2021).

Um dos desafios no cultivo do feijoeiro é o controle de daninhas, que caracterizam-se pela alta capacidade competitiva por água, luz e nutrientes, além de ser possíveis hospedeiras de doenças e pragas. No cenário do cultivo brasileiro, há indícios de que a cultura do feijão é a que apresenta maior percentual de perda em função da ação de plantas daninhas (LAMEGO *et al.*, 2011). Para solucionar esse problema a principal ferramenta de controle empregada atualmente é o uso de herbicidas, pela sua praticidade e rapidez.

2.2 Plantas daninhas e uso de herbicidas na cultura

Na cultura do feijão, a interferência das plantas daninhas, durante todo o ciclo, pode causar redução de aproximadamente 70% no rendimento de grãos (KOZLOWSKI *et al.*, 2002). Além dessas plantas competirem por espaço, água, luz e nutrientes com a cultura principal, também influenciam na redução da qualidade dos grãos, provocam maturação desuniforme e perdas, além de dificuldades na operação da colheita (VARGAS; ROMAN, 2006). O controle dessas infestantes pode ser por meio do manejo preventivo, controle cultural, mecânico, físico, biológico e químico (OLIVEIRA; BRIGHENTI, 2018).

A partir da descoberta do 2,4-D em 1941, foram formulados muitos compostos herbicidas para utilização na agricultura, até hoje amplamente utilizados (ROCHA; BARRETO; AUGUSTI, 2022). Isso se justifica pelas vantagens do método: possui ação rápida e eficaz no controle de muitas espécies; é capaz de controlar as plantas daninhas desde a implantação da cultura; permite aplicação em diversas fases da cultura; permite controlar as plantas daninhas na linha da cultura e no solo; há no mercado produtos seletivos às plantas cultivadas, ampliando o uso; em muitas situações possui um custo compatível ou que permite viabilidade; menor dependência de mão de obra. Como desvantagem: seleção de espécies resistentes devido à pressão de seleção; necessidade de especialização na aplicação; exige equipamentos apropriados para aplicação; pode ser tóxico para humanos e animais e poluente ao meio ambiente (ALBRECHT *et al.*, 2021).

A escolha do herbicida e o momento da aplicação dependem das espécies de plantas daninhas presentes na área, do estágio de desenvolvimento do feijão, custo do tratamento, tipo de solo e tolerância da cultura (VARGAS; ROMAN, 2006). Os herbicidas podem ser aplicados antes da semeadura (dessecantes), logo após a semeadura, mas antes da emergência das plantas daninhas (pré-emergentes), após o plantio e a emergência das plantas daninhas (pós-emergentes).

Plantas daninhas são persistentes nos sistemas de produção. A sua infestação e presença deve-se principalmente às estratégias de perpetuação das espécies, como rápido desenvolvimento, grande reprodução e mecanismos eficientes de dispersão. As características das plantas daninhas que permitem maior adaptação em meio ao sistema agrícola são a maior plasticidade fenotípica e um nicho reprodutivo mais generalista e amplo quando comparado às culturas principais (LAI *et al.*, 2021). Em um levantamento fitossociológico feito em Goiás na cultura do feijão, 2010/2011 em três safras consecutivas, concluíram que as famílias de planta daninhas mais representativas, no que se refere ao número de espécies por família botânica

foram: Poaceae (8), Asteraceae (7), Euphorbiaceae (2), Solanaceae (2), Amaranthaceae (2) e as famílias Commelineaceae, Convolvulaceae, Fabaceae e Cyperaceae que apresentaram apenas uma espécie (TAVARES *et al.*, 2013).

Uma vez que, nos trinta primeiros dias, os danos causados pelas plantas daninhas têm mais impacto no feijão, os herbicidas pré-emergentes com efeito residual que garanta o estabelecimento da cultura no limpo é uma opção vantajosa, pois evita os efeitos negativos da competição inicial com as espécies daninhas presentes na área (LAMEGO *et al.*, 2011). Esse efeito não implica na eliminação da operação de pós-emergência, mas pode postergá-la, diminuindo a pressão de infestação e melhorando a eficiência dos pós-emergentes (MÁRIO, 2017).

Para o manejo das plantas daninhas, é necessário conhecer o período em que a cultura pode conviver com essas daninhas sem que haja perdas significativas, denominado Período Anterior à Interferência (PAI) e o Período Crítico de Prevenção à Interferência (PCPI), período onde medidas de controle devem ser adotadas. A soma entre o PAI e PCPI é denominado PTPI (Período Total de Prevenção à Interferência) (ALBRECHT *et al.*, 2021). Conforme aponta o estudo feito por Borchardt *et al.* (2011), para o feijão-comum o período total de prevenção da interferência (PTPI) foi de 18 dias após a emergência (DAE) e o período crítico de prevenção da interferência (PCPI) situou-se entre os 4 e os 18 DAE.

No trabalho de Machado *et al.* (2015), quando as plantas daninhas foram semeadas 12 dias antes da semeadura do feijão o impacto foi maior comparado àquelas semeadas no mesmo período que o feijão. Logo, o uso de herbicidas pré-emergentes é uma ferramenta importante para enfrentar os problemas relacionados a competitividade inicial do feijoeiro com as plantas invasoras. No entanto, as moléculas registradas para uso em pré-emergência na cultura do feijão são apenas de três mecanismos de ação, destinadas principalmente para o controle de folha estreita (AGROFIT, 2023). Portanto, há uma escassez de opções de moléculas destinadas ao controle de plantas daninhas eudicotiledôneas.

2.2.1 Herbicidas pré-emergentes com potencial uso na cultura do feijão.

Os herbicidas são substâncias químicas utilizadas no controle das plantas daninhas. Há variação na sua nomeação, pois são sintetizados em laboratório e cada ingrediente ativo tem um nome químico para descrever sua estrutura. Há também um nome comercial, que auxilia no marketing. Para evitar confusão e melhorar a acessibilidade, existe um nome comum para referir a todos produtos com o mesmo ingrediente ativo (OLIVEIRA, 2011a).

Depois de o herbicida ser absorvido pela planta, ele atua em seu local primário de ação – denominado mecanismo de ação - desencadeando vários eventos bioquímicos e fisiológicos relacionados - denominado modo de ação -, que define a ação fitotóxica e provoca alterações no desenvolvimento da planta e pode levá-la à morte (OLIVEIRA, 2011b).

Cada herbicida é destinado ao controle de um grupo de plantas daninhas, por isso é importante conhecer seus ingredientes ativos e seus mecanismos de ação. Nesse trabalho, foram utilizados três produtos comerciais que serão descritos abaixo com seus respectivos mecanismos de ação.

O produto comercial APRESA® é composto pelos ingredientes ativos FLUMIOXAZINA + S-METOLACHLOR, que apresenta como mecanismos de ação a inibição da protoporfirinogênio oxidase (PPO ou PROTOX), pertencente ao grupo E; e inibidores da síntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (VLCFAs) pertencente ao grupo K3, segundo classificação internacional do HRAC (Comitê de Ação à Resistência de Herbicidas), respectivamente (ADAMA, 2022).

ZETHAMAXX® é um herbicida resultante da combinação de dois ingredientes ativos – IMAZETAPIR e FLUMIOXAZINA - usado para aplicação em pré-emergência e pós-emergência das plantas daninhas, antes do plantio da cultura: dessecação das plantas daninhas em manejo para plantio direto. Modo de ação do Imazetapir: inibição da síntese de aminoácidos ramificados (ALS ou AHAS), grupo B e o modo de ação da Flumioxazina: inibição da protoporfirinogênio oxidase (PPO ou PROTOX), pertencente ao grupo E (SUMITOMO, 2022).

EDDUS® é um herbicida de ação pré-emergente resultante da combinação de FOMESAFEN e S-METOLACHLOR. O Fomesafen possui o mesmo mecanismo de ação que o Flumioxazina, inibição da protoporfirinogênio oxidase (PPO ou PROTOX). E o S-metolachlor pertence ao grupo K3, inibidores da síntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (VLCFAs) (SYNGENTA, 2022).

2.2.1.1 Inibidores da protoporfirinogenio oxidase (Protox ou PPO)

Neste mecanismo de ação estão presentes alguns grupos químicos, Difeniléteres, N-fenilftalimidas, Oxadiazóis, Triazolinonas e Pirimidinadionas. O ingrediente ativo flumioxazina pertence ao grupo das N-fenilftalimidas, e o fomesafen ao grupo dos difeniléteres. As versões comerciais dessa classe de herbicida, recomendados para cultura do milho e soja, são representados por herbicidas do grupo 14/E e atuam por contato.

A Protox é uma das enzimas responsáveis pela biossíntese de clorofila e de composto heme nas plantas. Esses compostos são formados a partir da oxidação do protoporfirinogênio IX em protoporfirina IX, na presença de oxigênio molecular (OLIVEIRA et al., 2021). Assim, a inibição dessa enzima compromete a produção de clorofila e composto heme. Sem esses compostos na célula, e na presença de luz, há acúmulo de protoporfirina IX e, conseqüentemente, produção de fotoprodutos tóxicos, principalmente de espécies reativas de oxigênio (EROs). Assim, o acúmulo de EROs age como radical livre resultando em peroxidação de lipídeos na membrana celular e rompimento desta, seguida de vazamento do conteúdo celular, quebra de pigmento e necrose da folha, que resulta na morte da planta. Esse processo é rápido sob condições de luz solar, as folhas ficam com aparência úmida e flácida (ROCHA; BARRETO; AUGUSTI, 2022).

2.2.1.2 Inibidores da divisão celular/ inibidores de crescimento

A inibição do crescimento pode ser induzida por herbicidas de três grupos: Inibidores da formação de microtúbulos 3 (K1), Inibidores da síntese de ácidos graxos de cadeia muito longa (VLCFAs) 15 (K3) e Inibidores da organização de microtúbulos 23 (K2). Porém, no Brasil, são comercializados os dois primeiros grupos. Esses herbicidas são utilizados principalmente em pré-emergência das culturas (ROCHA; BARRETO; AUGUSTI, 2022).

Inserido neste grupo está o ingrediente S-metolachlor, pertencente ao grupo químico das α -Cloroacetamidas, do grupo 15 (K3), Inibidores de Ácidos Graxos de Cadeia Muito Longa (VLCFAs). Esses herbicidas são utilizados no controle de espécies de gramíneas anuais, comelináceas e em número menor de latifoliadas (ROCHA; BARRETO; AUGUSTI, 2022).

Esse grupo de herbicida provoca a inibição da atividade da enzima acetil-CoA elongases, que por sua vez, está associada ao retículo endoplasmático e atua na síntese de ácidos graxos de cadeia muito longa. Na falta de VLCFAs, a membrana perde estabilidade e torna-se permeável levando à morte da planta tratada (ROCHA; BARRETO; AUGUSTI, 2022).

Tais herbicidas, após serem absorvidos, afetam a emergência das plantas. Por esse herbicida acometer as partes meristemáticas, região de maior atividade celular, o crescimento das folhas é prejudicado, portanto, as que conseguem emergir apresentam folhas deformadas, retorcidas e encarquilhadas (ROCHA; BARRETO; AUGUSTI, 2022).

2.2.1.3 Inibidores da ALS

O ingrediente imazethapyr, do grupo das imidazolinonas, está inserido no grupo Inibidores da enzima ALS (aceto lactato sintase). A inibição dessa enzima por esses herbicidas causa o acúmulo de seus precursores (2- cetobutirato ou (S)-2-aceto-2-hidroxitirato), o que leva a diminuição dos níveis dos aminoácidos na planta (ROCHA; BARRETO; AUGUSTI, 2022). Essa deficiência é a possível causa da morte da planta, pois provoca a interrupção na síntese de proteínas, interferindo no crescimento celular. Dessa forma, os sintomas nas plantas são clorose, raízes reduzidas e posterior parada do crescimento da parte aérea (FERREIRA *et al.*, 2008). Contudo, podem surgir outros sintomas: vermelhidão das nervuras, morte de meristemas, necroses e murchamento (ROCHA; BARRETO; AUGUSTI, 2022).

Um herbicida pode exercer sua função de controle ou dano/injúria à alguns grupos de plantas e a outros não. Isso se dá por diversos motivos, entre eles pelas diferenças morfofisiológicas das plantas, essas características faz com que algumas plantas tolerem a aplicação de alguns herbicidas, enquanto outras não apresentam a mesma resposta. À essa variação no efeito herbicida, dá-se o nome de seletividade.

2.3 Seletividade das plantas aos herbicidas

A base da seletividade aos herbicidas é a diferença entre a tolerância das culturas e das plantas daninhas a um tratamento específico, portanto, é relativa. Quanto maior a diferença de tolerância entre a cultura e a planta daninha, maior a segurança de aplicação (OLIVEIRA, 2011c).

A seletividade constitui-se da interação de diferentes fatores, assim classificados: fatores relacionados às características dos herbicidas ou ao método de aplicação e fatores relacionados às características das plantas. Na primeira categoria são citadas: a dose, formulação, localização espacial ou temporal do herbicida. A localização espacial e temporal do herbicida relaciona-se aos fatores ambientais, propriedades físico-químicas dos herbicidas e do solo, irrigação, incorporação no solo, posicionamento da aplicação (jato dirigido ou em área total). No tocante à planta há que se considerar a retenção e absorção diferencial, idade das plantas, cultivar, tamanho da semente ou estrutura de propagação vegetativa, translocação diferencial e metabolismo diferencial (destoxificação) (OLIVEIRA, 2011c).

Existem diferenças na seletividade das plantas aos herbicidas a depender da dose e da cultivar. Procópio et al. (2001) desenvolveram um trabalho com cinco cultivares de feijão (Jalo Precoce, Xamego, Carioca, Rudá e Pérola) para avaliar o desempenho agrônômico e a tolerância ao herbicida s-metolachlor nas seguintes doses: 0; 0,48; 0,72; 0,96; 1,20; e 1,92 kg ha⁻¹, em duas condições de irrigação. Os autores não observaram toxicidade do s-metolachlor, nas doses avaliadas, a nenhuma das cultivares de feijão, independentemente das condições de irrigação antes ou após a aplicação do herbicida. Em contrapartida, em outro experimento também com cultivares de feijão, porém com outras doses do mesmo herbicida (0,00; 0,48; 0,96; 1,44; 1,92; 2,88 e 3,84 kg ha⁻¹) foi verificado que as cultivares Pérola e Jalo Precoce foram menos sensíveis ao herbicida s-metolachlor comparado aos cultivares de feijão Carioca e Vermelho 2157 e todas as cultivares apresentaram aumento na fitotoxicidade com o aumento da dose do s-metolachlor (PROCÓPIO *et al.*, 2003).

O trabalho de Kalsing e Vidal (2013) avaliou a seletividade dos herbicidas s-metolachlor, pendimethalin, trifluralin, alachlor e dimethenamid quando aplicados em doses crescentes na condição de pré-emergência na cultura do feijão. A dose de 1.675 g i.a. ha⁻¹ do herbicida alachlor (50% da dose máxima registrada desse herbicida para a cultura da soja) reduziu 50 % a emergência do feijão-comum. No entanto, os demais produtos, independente da dose, não tiveram efeito sobre a emergência das plantas, comparado à testemunha.

No trabalho de Marchioretto e Magro (2017) no qual foram testados diferentes herbicidas pós-emergentes (clethodim, cloransulam, imazethapyr, fomesafen, bentazon e diclosulam, isoladamente e em associação com clethodim, imazamox+bentazon, fomesafen+fluazifop, cloransulam+bentazon e imazethapyr+bentazon) em três cultivares de feijão (feijão ANfc 9, BRS Estilo e IPR Uirapuru), a cultivar ANfc9 foi mais tolerante aos herbicidas ALS em comparação com IPR Uirapuru e BRS Estilo. Tal fato pode ser justificado pela genética da cultivar, especialmente genes qualitativos, os quais regulam o teor de cera da folha e a permeabilidade da cutícula, influenciando consequentemente sobre a taxa de absorção e translocação de herbicidas ALS (BAUER *et al.*, 1995 apud MARCHIORETTO; MAGRO, 2017, p.5).

Os mecanismos de metabolização da molécula também podem influenciar sobre a tolerância de culturas a herbicidas (VIECELLI, 2021). Além disso, em estudo feito com girassol notou-se que essa tolerância pode ser aumentada também por mecanismos específicos como baixa absorção pela raiz, baixa translocação via xilema (KILINK; GRASSET; REYNAUD, 2011) e aumento da atividade de enzimas antioxidantes (XAVIER *et al.*, 2018).

Por fim, os herbicidas, quando em mistura apresentam interações entre si. A título de exemplo, Bauer *et al.* (1995 apud MARCHIORETTO; MAGRO, 2017, p. 4), afirmaram que o Bentazon proporciona um efeito de segurança sobre herbicidas ALS. Devido ao modo de ação do Bentazon (atua no fotossistema II (PSII)), faz com que a produção e translocação de fotoassimilados seja minimizada. Desse modo, a taxa de absorção e transporte do herbicida ALS no floema da planta diminui.

As misturas comerciais ou em tanque buscam aumentar o espectro de ação dos herbicidas. Atualmente novas misturas e moléculas estão sendo lançadas no mercado, no entanto, elas devem ser testadas de forma específica à cultura ou até mesmo para cada cultivar, a fim de confirmar sua ação apenas no controle das plantas daninhas e sem causar danos/injúrias às culturas principais, ou seja, apresentar seletividade.

3 METODOLOGIA

Foram instalados três experimentos, um para cada herbicida. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Setor de Grandes Culturas da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Campus Universitário Lavras – MG, situada à latitude de 21°13'35"S, longitude 44°58'21"W e altitude de 900 m. O clima de Lavras, segundo a classificação climática de Köppen, é Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso.

Foram utilizados vasos flexíveis de plástico com capacidade de 0,8 dm³, preenchidos com solo previamente adubado com 443,3 g de ureia (45% N) m⁻³ de solo, 283 g de Cloreto de Potássio (58% de K₂O) m⁻³ de solo e 3333 g de MAP (11% N e 52% P₂O₅) m⁻³ de solo, de acordo com a análise de solo (Tabela 1) e baseando nas recomendações de Novais e Alvarez (2002).

Tabela 1 - Características físico-químicas do solo utilizado no experimento.

Solos	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	Areia	Argila
	água	dag/kg	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³				%
A	5,60	1,41	0,53	0,16	2,71	0,59	2,20	5,66	28,00	59,00

Legenda: MO: Matéria orgânica; CTC: Capacidade de troca catiônica.

P -Na -K -Fe -Zn -Mn -Cu - Extrator Mehlich 1

pH em água, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5

Fonte: Do Autor (2023).

Realizou-se a semeadura do feijão, cultivar BRS Estilo, da classe comercial carioca, semeadas quatro sementes por vaso e mantidas, após o desbaste feito aos sete dias após a aplicação (DAA), duas plântulas de feijão.

No mesmo dia, foi realizada a aplicação dos três herbicidas sobre o solo úmido com o uso de um pulverizador costal, com pressão constante mantida por CO₂, acoplado de barra com um bico tipo leque 11002, a pressão de 2 bar, com volume de calda de 200 L ha⁻¹. As respectivas doses de cada herbicida serão descritas a seguir: Experimento 1: Apresa® (Flumioxazin+s-metolachlor) nas doses de 0,0; 0,75; 1,00; 1,25 e 1,50 L ha⁻¹; Experimento 2: Zethamaxx® (Flumioxazin+imazethapyr) nas doses 0,0; 0,30; 0,40; 0,50 e 0,60 L ha⁻¹. Experimento 3: Eddus® (Fomesafen+s-metolachlor) nas doses de 0,0; 1,75; 2,00; 2,25 e 2,50 L ha⁻¹. Os tratamentos foram atribuídos de forma inteiramente casualizada (DIC), com quatro repetições.

Os experimentos foram conduzidos com irrigações diárias manuais, mantendo-se o solo sempre próximo à capacidade de campo. As plantas foram mantidas até o estágio V4.

Para os três experimentos foram realizadas avaliações de altura de planta (ALT) e tolerância relativa (TR) aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA). Aos 28 DAA foi quantificada a massa da matéria seca da parte aérea (MSPA).

A altura foi mensurada com o auxílio de uma régua, medindo-se a distância entre colo da planta (rente ao solo) ao meristema apical (cm). A avaliação da TR foi realizada com o auxílio da escala de Frans *et al.* (1986), em que zero corresponde a ausência de injúria e 100 a morte das plantas (Tabela 2). Por fim, a MSPA (g) foi obtida após o corte da parte aérea rente ao solo e secagem em estufa a 60 °C, até atingir massa constante.

Tabela 2 - Escala de Frans: avaliação da fitotoxicidade das plantas.

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

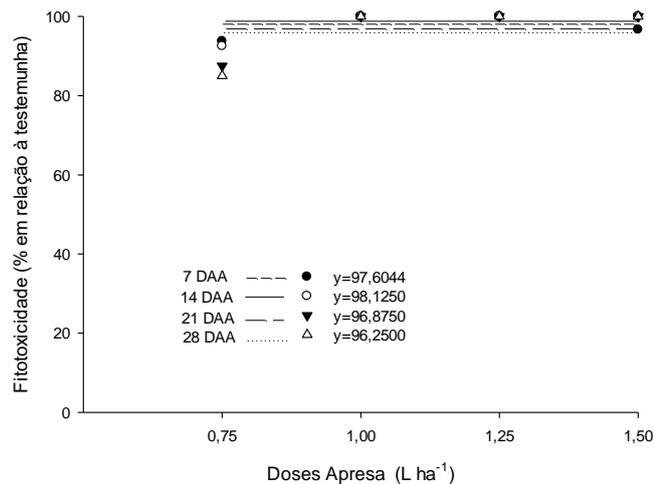
Fonte: Frans; Crowley (1986).

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o teste F ($p < 0,05$), software Sisvar. Posteriormente, ajustaram-se as equações de regressão por meio do pacote estatístico Sigmaplot 12.0 (2011). Os modelos de regressão foram escolhidos considerando-se a significância dos coeficientes de regressão, o coeficiente de determinação e a explicação do fenômeno biológico.

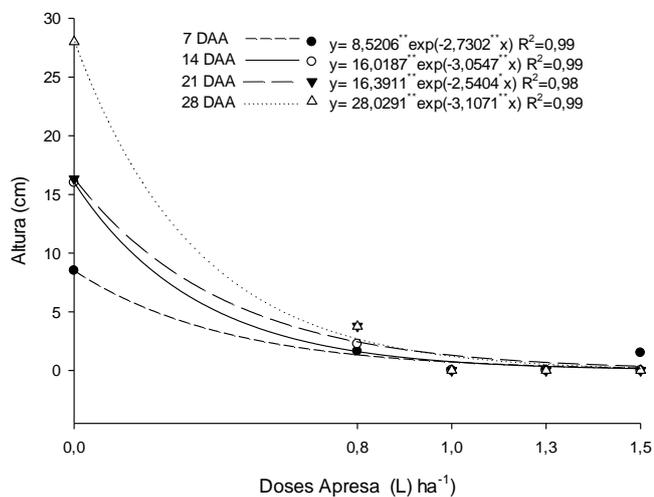
4 RESULTADOS

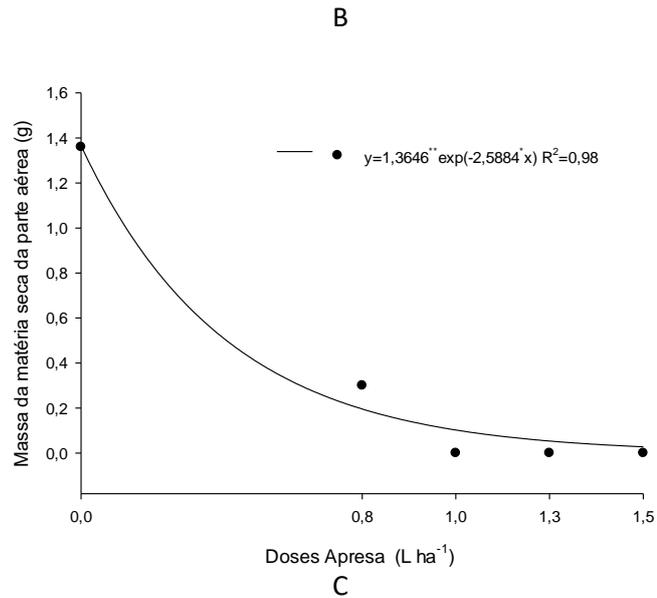
Para o experimento com o herbicida Apresa®, o aumento das doses não provocou diferença na fitotoxicidade, sendo acima de 96% em qualquer época de avaliação. O aumento da dose do herbicida Apresa® gerou diminuição exponencial em relação à altura das plantas de feijão. Aos 28 DAA a altura em relação à testemunha foi reduzida 99,3% com a maior dose (1,50 L ha⁻¹) aplicada. Ademais, o aumento da dose causou redução exponencial na massa da matéria seca da parte aérea das plantas. As doses testadas causaram uma redução entre 85% (menor dose) a 98% (maior dose) aproximadamente na MSPA (Figura 1).

Figura 1 - Fitotoxicidade (A), altura (B) e massa da matéria seca da parte aérea (C) do feijão carioca BRS Estilo, submetidos a aplicação de diferentes doses do herbicida Apresa®.



A





Legenda: Nas equações, ns, o, *, ** para os coeficientes da regressão significam não significativo, significativo a 10%, 5% e 1%.

Fonte: Do Autor (2023).

Os sintomas observados foram diminuição da altura e necrose da haste (Figura 2), o que causou na maioria das plantas efeitos severos a quase total de fitotoxicidade, segundo escala de Frans (1986).

Figura 2 - Sintomas de fitotoxicidade nas plantas de feijão aos 7 dias após a aplicação do herbicida Apresa® em sua menor dose (A) ao lado da Testemunha (B).



A



B

Fonte: Do Autor (2023).

A Tabela 3 ilustra o crescimento das plantas nas diferentes doses aplicadas em todas as épocas de avaliação. O feijão carioca apresentou baixa tolerância relativa ao herbicida Apresa®, em qualquer dose e época de avaliação.

Tabela 3 - Resposta do feijão carioca, BRS Estilo, à aplicação em pré-emergência do herbicida Apresa® aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) em diferentes doses. UFLA - Campus Lavras – MG, 2023.

Dias após a aplicação	Doses (L ha ⁻¹)				
	0,0	0,75	1,0	1,25	1,5
7					
14					
21					
28					

Fonte: Do Autor (2023).

Observou-se comportamento sigmoideal para a influência das doses crescentes de Zethamaxx® sobre a fitotoxicidade, altura de plantas e massa da matéria seca da parte aérea, ocorrendo morte das plantas nas doses de 0,5 e 0,6 L ha⁻¹.

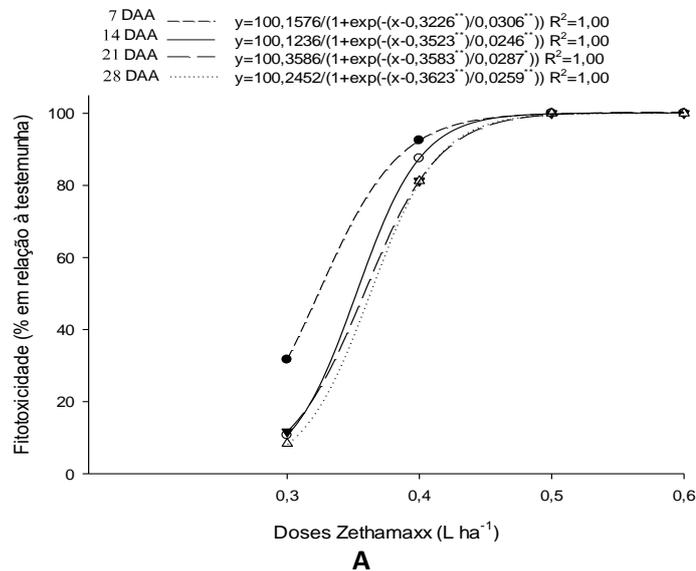
Na primeira dose do herbicida Zethamaxx® de 0,3 L ha⁻¹ o feijoeiro apresentou baixa fitotoxicidade. Na primeira avaliação a fitotoxicidade foi de 33,30%, com posterior recuperação

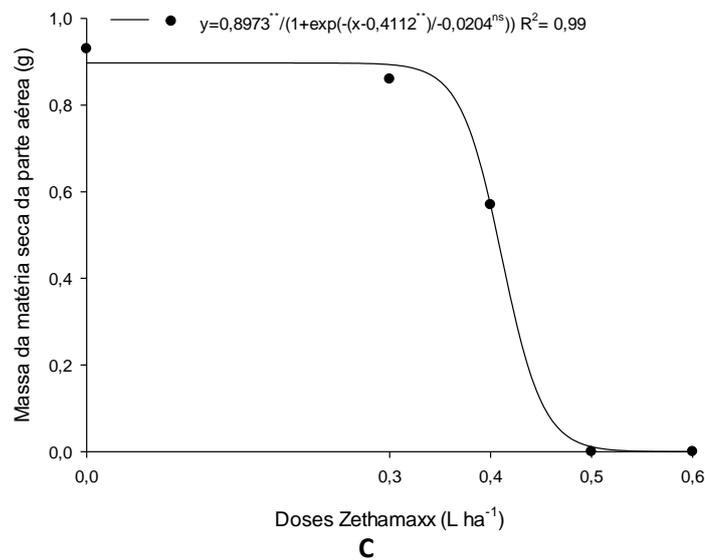
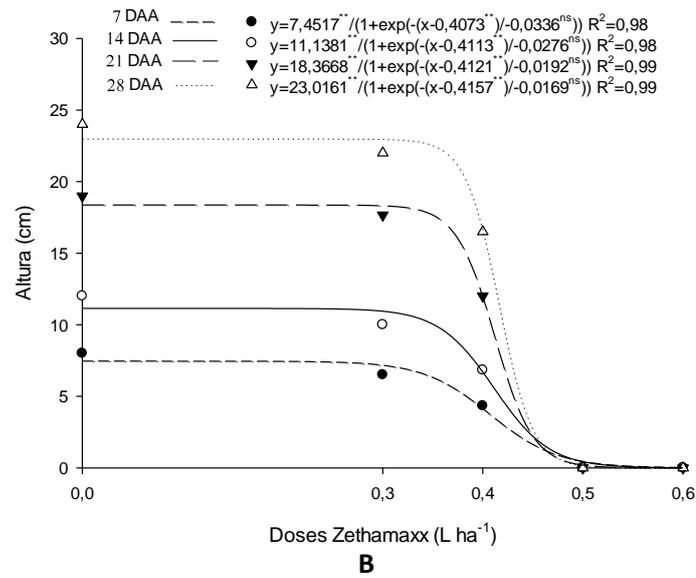
com nota de 8,30% na avaliação realizada aos 28 DAA. Já na dose de 0,4 L ha⁻¹ o feijão apresentou alta fitotoxicidade na primeira avaliação (92,76%) e teve uma leve recuperação, em 21 e 28 DAA esse nível estava próximo de 80%. Nas doses de 0,5 e 0,6 L ha⁻¹ o feijão não tolerou comprometendo a sua emergência.

Em relação à altura, na primeira dose do Zethamaxx as plantas de feijão tiveram suas alturas iguais a da testemunha em todas as épocas de avaliação, com redução da altura na dose de 0,4 L ha⁻¹ e morte das plantas submetidas às doses de 0,5 e 0,6 L ha⁻¹. A redução observada com a aplicação da dose 0,4 L ha⁻¹ foi de 45%, 40%, 35% e 29% aos 7, 14, 21 e 28 DAA, respectivamente, em relação à testemunha.

Em relação a massa da matéria seca de parte aérea, na dose de 0,3 L ha⁻¹ verificou-se acúmulo semelhante ao da testemunha, mostrando que o herbicida foi seletivo para o feijão nessa dose. Na dose de 0,4 L ha⁻¹ as plantas exibiram tolerância intermediária, não morreram mas perderam no acúmulo de MSPA 37% em relação à testemunha (Figura 3).

Figura 3 - Fitotoxicidade (A), altura (B) e massa da matéria seca da parte aérea (C) do feijão carioca BRS Estilo, submetidos a aplicação de diferentes doses do herbicida Zethamaxx®.





Legenda: Nas equações, ns, o, *, ** para os coeficientes da regressão significam não significativo, significativo a 10%, 5% e 1%.

Fonte: Do Autor (2023).

Os sintomas de fitotoxicidade observados foram ilustrados na Figura 4. Necrose da haste e redução altura reduzida em relação à testemunha foram verificados.

Figura 4 - Sintomas de fitotoxicidade nas plantas de feijão aos 7 dias após a aplicação do herbicida Zethamaxx® nas doses 0,3 (esquerda-A) e 0,4 L ha⁻¹ (direita-A) ao lado da Testemunha (B).



Fonte: Do Autor (2023).

A Tabela 4 ilustra o crescimento das plantas nas diferentes doses aplicadas em todas as épocas de avaliação. Quando administradas doses elevadas do herbicida Zethamaxx® (0,50 e 0,60 L ha⁻¹) não houve emergência das plantas.

Tabela 4 - Resposta do feijão carioca, BRS Estilo, à aplicação em pré-emergência do herbicida Zethamaxx® aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) em diferentes doses. UFLA - Campus Lavras – MG, 2023 (continua).

Dias após a aplicação	Doses (L / ha ⁻¹)				
	0,0	0,30	0,40	0,50	0,60
7					
14					
21					

Tabela 4 - Resposta do feijão carioca, BRS Estilo, à aplicação em pré-emergência do herbicida Zethamaxx® aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) em diferentes doses. UFLA - Campus Lavras – MG, 2023 (conclusão).

Dias após a aplicação	Doses (L / ha ⁻¹)				
	0,0	0,30	0,40	0,50	0,60
28					

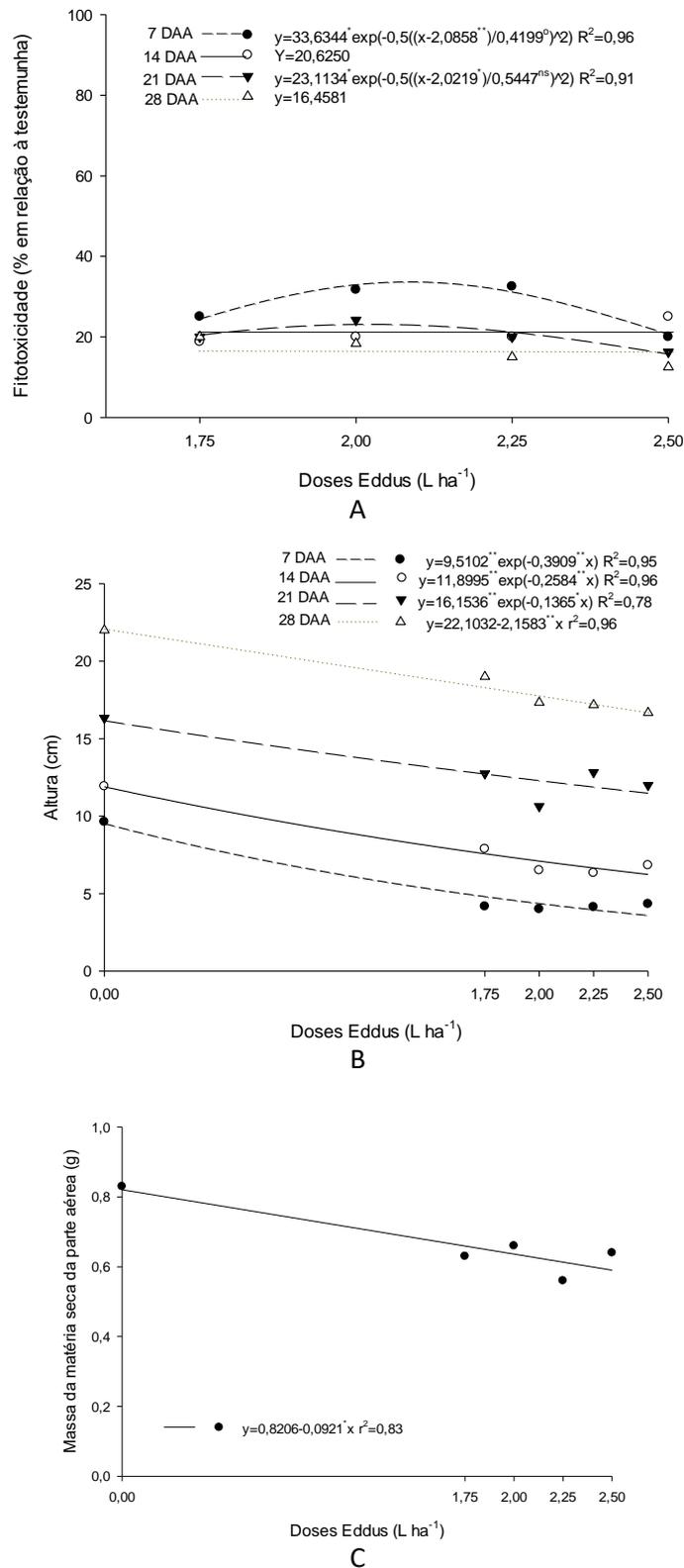
Fonte: Do Autor (2023).

Na primeira avaliação do herbicida Eddus® (7 DAA), a curva referente a fitotoxicidade apresentou comportamento quadrático. Na maior e menor dose verificou-se menores valores de fitotoxicidade, na ordem de 20,68% e 24,43%, respectivamente. No entanto, nas doses intermediárias de 2,00 e 2,25 L ha⁻¹ essas porcentagens foram de 32,94% e 31,16%. O que não era esperado já que com o aumento das doses espera-se também o aumento da fitotoxicidade, portanto possivelmente houve um erro experimental.

Na terceira avaliação (21 DAA) as três primeiras doses tiveram valores próximos de fitotoxicidade, com valores de 20 a 23%. Já a quarta dose de 2,5 L ha⁻¹ verificou-se decréscimo da fitotoxicidade, 23% mais baixa que a fitotoxicidade da primeira dose, evidenciando diminuição dos sintomas visuais.

Por fim, na segunda e última avaliação (14 e 28 DAA) os valores de fitotoxicidade não deram diferença significativa entre as doses. As plantas que apresentavam fitotoxicidade se recuperaram na última avaliação.

Figura 5 - Fitotoxicidade (A), altura (B) e massa da matéria seca da parte aérea (C) do feijão carioca BRS Estilo, submetidos a aplicação de diferentes doses do herbicida Eddus®.



Legenda: Nas equações, ns, o, *, ** para os coeficientes da regressão significam não significativo, significativo a 10%, 5% e 1%.

Fonte: Do Autor (2023).

A altura de plantas de feijão para todas as avaliações foi exponencialmente reduzida com o aumento da dose. Na avaliação realizada aos 7 DAA na menor dose a altura diminuiu pela metade em relação à testemunha, sendo a redução relativa na maior dose de 62%.

Na segunda avaliação, 14 DAA, a menor dose diminuiu a altura 36% em relação à testemunha e a maior dose 47%. Na terceira avaliação, 21 DAA, a menor e maior dose diminuíram respectivamente 21% e 29% em relação à testemunha. Na última avaliação, aos 28 DAA, a menor dose resultou em diminuição de 17% da altura e a maior dose em 24% em relação à testemunha.

A curva da massa da matéria seca de parte aérea das plantas de feijão teve comportamento linear decrescente, com redução da MSPA em 20% e 28% em relação à testemunha quando cultivado em solo que recebeu dose de 1,75 L ha⁻¹ e 2,5 L ha⁻¹, respectivamente (Figura 5).

Foi possível observar sintomas leves de deformação da folha aos 7 DAA na menor dose do herbicida Eddus® (Figura 6).

Figura 6 - Sintomas de fitotoxicidade nas plantas de feijão 7 dias após a aplicação do herbicida Eddus® na sua menor dose (A) e a Testemunha(B).



A



B

Fonte: Do Autor (2023).

A Tabela 5 ilustra o crescimento das plantas nas diferentes doses aplicadas em todas as épocas de avaliação. Ao analisar o crescimento das plantas 7 DAA foi possível observar uma discrepância entre a testemunha e as plantas submetidas a qualquer dose do herbicida Eddus®. Porém a partir da avaliação 14 DAA houve recuperação das plantas.

Tabela 5 - Resposta do feijão carioca, BRS Estilo, à aplicação em pré-emergência do herbicida Eddus® aos 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação (DAA) em diferentes doses. UFLA - Campus Lavras – MG, 2023.

Dias após a aplicação	Doses (L ha ⁻¹)				
	0,0	1,75	2,00	2,25	2,50
7					
14					
21					
28					

Fonte: Do Autor (2023).

Embora tenha sido possível observar crescimento da cultivar em todas as doses aplicadas, menor tamanho e massa da matéria seca da parte aérea foi observado com o aumento das doses (Tabela 5).

5 DISCUSSÃO

Esse trabalho visa preencher uma lacuna na literatura, pois, até o momento, poucas moléculas de herbicidas foram registradas para a cultura do feijão para aplicação em pré-emergência. Os resultados demonstram que dentre os diferentes herbicidas testados aquele que apresentou menor fitotoxicidade e maior seletividade foi o herbicida Eddus®. Zethamaxx®, em menor dosagem (0,3 L ha⁻¹), também apresentou pequena redução no acúmulo de matéria seca, enquanto que o herbicida Apresa® resultou em danos severos das plantas, ainda que utilizado em menor dosagem.

O resultado apresentado no presente trabalho demonstrou que independente da dosagem utilizada do herbicida Eddus® o feijão apresentou baixa fitotoxicidade em relação à testemunha. Galon *et al.* (2017) observaram que fomesafen + s-metolachlor (1200 + 250 g ha⁻¹), ao serem comparados com a testemunha capinada na cultura do feijão-preto, também apresentou baixa fitotoxicidade aos 21 DAA (7%) e 28 DAA (4%). Porém, com menor produtividade (669 kg ha⁻¹) quando comparado à testemunha capinada (1436 kg ha⁻¹), pois embora o número de plantas, número de grãos por vagem e massa de mil grãos tenha sido pouco influenciado pelo herbicida, houve redução significativa no número de vagens por planta em detrimento da testemunha capinada (4,3 vs 7,9 vagens por planta, respectivamente).

O estudo de Drehmer *et al.* (2015) avaliou a fitotoxicidade de diferentes herbicidas (s-metolachlor, clomazone, imazethapyr, flumioxazin e imazethapyr + flumioxazin) na cultura do feijão do grupo carioca (BRS-Estilo). O herbicida imazethapyr + flumioxazin (106 + 50 g i.a. ha⁻¹) foi um dos mais eficientes no controle das plantas daninhas e seletivo à cultura do feijão, apresentando produtividade da cultura do feijão similar em detrimento à testemunha capinada.

Em contrapartida, no presente estudo, o herbicida Zethamaxx® (imazethapyr + flumioxazin, com dosagem variando entre 60 g i.a. ha⁻¹ + 30 g i.a. ha⁻¹ e 120 g i.a. ha⁻¹ + 60 g i.a. ha⁻¹) apresentou elevada fitotoxicidade, evoluindo para a morte das plantas, como pôde ser observado pela menor altura e massa seca da parte aérea a partir da segunda dose. Em concordância, Sikkema *et al.* (2006) constataram que a aplicação de imazethapyr em pré-plantio na cultura do feijão-de-otebo (*Phaseolus vulgaris*) causou até 7% de injúria visual e reduziu a altura de plantas, a massa seca da parte aérea e a produtividade de grãos, com maiores prejuízos observados na maior dose do herbicida (75 g ha⁻¹ vs 150 g ha⁻¹).

Sobre a dosagem de 0,4 L ha⁻¹ do herbicida Zethamaxx, é interessante um estudo mais aprofundado para ver o comportamento das plantas no decorrer do ciclo, pois nesse trabalho a fitotoxicidade foi reduzida da primeira (7 DAA, fitotoxicidade de 33,3%) para a última

avaliação (28 DAA, fitotoxicidade de 8,3%). Portanto, é relevante outras pesquisas no intuito de complementar esse resultado, constando se essa recuperação é progressiva e não influenciará na produção.

De fato, perdas de rendimento ou alterações no crescimento podem ser causadas por fitotoxicidade grave. Modelos matemáticos dos efeitos da fitotoxicidade de herbicidas no crescimento e produtividade de culturas demonstram que quando a planta é submetida ao estresse temporário, a exemplo da aplicação de um herbicida de contato ou sistêmico em pós-emergência, esta pode se recuperar dos danos sem mudanças definitivas na taxa de crescimento. Todavia, quando exposta a estresse permanente, a exemplo de herbicidas pré-emergentes que mantêm atividade prolongada no solo, como ocasionado pelo herbicida Zethamaxx® no presente estudo, a taxa de crescimento é prejudicada permanentemente, levando à redução do crescimento de cultivares com baixa tolerância ao produto (CARVALHO *et al.*, 2009).

Constatou-se que o Eddus® (fomesafen e s-metolachlor) e Apresa® (flumioxazina + s-metolachlor), por apresentarem moléculas químicas com o mesmo mecanismo de ação (fomesafen e flumioxazina), atuam como inibidores da protoporfirinogênio oxidase. Porém, como são moléculas pertencentes a grupos químicos diferentes, a hipótese desse estudo é que, ao modificar a molécula, a seletividade também pode ter sido alterada, sem contar na dinâmica que cada molécula pode apresentar estando em mistura formulada com o s-metolachlor.

A bula dos herbicidas indica em sua composição que o herbicida Apresa® possui maiores concentrações de s-metolachlor (840 g i.a. L⁻¹) em detrimento do herbicida Eddus® (517 g L⁻¹). No presente trabalho, as concentrações de s-metolachlor no herbicida Apresa® variaram entre 630 g i.a. ha⁻¹ e 1260 g i.a. ha⁻¹ e do herbicida Eddus® variaram entre 904 g i.a. ha⁻¹ e 1292,5 g i.a. ha⁻¹. No caso do herbicida Apresa®, mesmo quando utilizado em doses inferiores a dose recomendada de s-metolachlor na cultura de feijão (1,25L de produto comercial ha⁻¹, equivalente a 1200 g i.a. ha⁻¹) não houve seletividade.

Os resultados discrepantes entre os dois herbicidas podem estar associados a perda da seletividade quando os ingredientes flumioxazina e s-metolachlor (herbicida Apresa®) foram usados em mistura, dado que de forma isolada os ingredientes flumioxazina e s-metolachlor são registrados para uso na cultura do feijão, com adequada seletividade. Em adendo, possivelmente, esse mesmo mecanismo acontece com o herbicida Zethamaxx®, pois assim como a flumioxazina o princípio ativo imazethapyr também é registrado. No entanto, quando ambos foram associados, houve baixa seletividade, especialmente quando utilizados em maiores doses (0,5 e 0,6 L ha⁻¹). Estudos futuros podem investigar os possíveis fatores associados a esse resultado. Tais achados podem ter contribuído para que o feijão tenha

apresentado menor seletividade ao herbicida Apresa®, independente da dose utilizada, e ao herbicida Zethamaxx® nas maiores doses.

Por fim, no que se refere a melhor seletividade do herbicida Eddus® em detrimento do Apresa® pode-se considerar a adequada seletividade do composto Fomesafen. Estudo que objetivou investigar a tolerância de diferentes cultivares brasileiras de feijão, dos grupos comerciais carioca, preto e especial, a diferentes herbicidas inibidores da protoporfirinogênio oxidase (fomesafen, flumioxazin, sulfentrazone e saflufenacil) em pré-emergência verificou que o Fomesafen se destacou pela maior seletividade em relação aos demais herbicidas nas diferentes cultivares, com níveis de tolerância acima de 68% para todas as cultivares mesmo com a uso da maior taxa de Fomesafen (840 g a.i. ha⁻¹) (BRUSAMARELLO *et al.*, 2021).

Embora os achados do presente estudo sejam promissores, devem ser considerados no contexto de suas limitações. Apenas uma cultivar de feijão foi investigada, assim, os resultados só podem ser generalizados para outras cultivares após pesquisas futuras investigarem suas propriedades. Ademais, as análises foram realizadas apenas com feijão cultivado em vaso e não foram realizadas análises em campo avaliando também o efeito sobre desses herbicidas sobre o potencial produtivo da cultura.

6 CONCLUSÃO

O feijão carioca não apresentou tolerância ao herbicida Apresa®. O herbicida Zethamaxx®, somente nas doses 0,3 e 0,4 L ha⁻¹ foi seletivo para o feijão. Por fim, o herbicida Eddus® foi seletivo em todas as doses, com as plantas exibindo tolerância diferencial com o aumento das doses. Dessa forma, como um trabalho exploratório, as doses aqui levantadas como seletivas podem servir como ponto de partida para estudos futuros, com investigação em campo e com outras cultivares.

REFERÊNCIAS

- ADAMA. Adama Brasil S/A. **Apresa®**. 2022. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2022-09/apresa.pdf. Acesso em: 14 jun. 2023.
- AGROFIT - Sistemas de Agrotóxicos Fitossanitários. **Consulta de ingrediente ativo**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Coordenação-Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/SDA. 2023. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em 05 mai, 2023.
- ALBRECHT, L. P. *et al.* **Métodos de Controle de Plantas Daninhas**. In. BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. *Matologia: estudos sobre plantas daninhas*, 1. ed., Jaboticabal: Fábrica da Palavra, p. 145-169, 2021.
- BORCHARTT, L. *et al.* **Períodos de interferência de plantas daninhas na cultura do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Rev. Ciênc. Agron., v. 42, n. 3, p. 725-734, jul-set, 2011. DOI: 10.1590/S1806-66902011000300019. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1176>. Acesso em: 26/05/2023.
- BRUSAMARELLO, A. P. *et al.* **Tolerance of Brazilian bean cultivars to protoporphyrinogen oxidase inhibiting-herbicides**. Journal of Plant Protection Research, v. 61, n. 2, p. 117–126, 2021. DOI: 10.24425/jppr.2021.137018. Disponível em: <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/137018/edition/119738/content>.
- CAMPOS, F.; **Herbicida para soja e feijão começa a ser distribuído no Brasil**. Grupo Cultivar de Publicações Ltda, setembro, 2016. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/herbicida-para-soja-e-feijao-comeca-a-ser-distribuido-no-brasil>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- CARVALHO, S. J. P. de. *et al.* **Herbicide selectivity by differential metabolism: considerations for reducing crop damages**. Scientia Agricola, v. 66, n. 1, p. 136–142, 2009. DOI: 10.1590/S0103-90162009000100020. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010390162009000100020&lng=en&tlng=en.
- COÊLHO, J. D. Feijão: Produção e Mercados. **Caderno Setorial ETENE, Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste**, n. 197, dezembro, 2021. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1031/1/2021_CDS_197.pdf. Acesso em: 5 jun. 2023
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da Safra de Grãos: Décimo segundo levantamento, Tabela de dados – Produção e balanço de oferta e demanda de grãos - Safra 2021/2022**. 2023a. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 24 mai. 2023.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da Safra de Grãos: Nono levantamento - Safra 2022/2023**. 2023b. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 24 jun. 2023.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da Safra de Grãos: Décimo segundo levantamento, v, 9- Safra 2021/2022.** 2023c. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 24 mai. 2023.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Classificação e controle de qualidade.** 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/institucional/fiscalizacao/classificacao-e-controle-de-qualidade>. Acesso em: 29 mai. 2023.

DREHMER, M. H. *et al.* **Eficiência de herbicidas aplicados em pré-emergência para o controle de *Digitaria insularis* na cultura do feijão.** Revista Brasileira de Herbicidas, v. 14, n. 2, p. 141, 2015. DOI: 10.7824/rbh.v14i2.395. Disponível em: <http://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/395>.

EMBRAPA. **Cultivo do feijão – Clima.** 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/pre-producao/clima#:~:text=Para%20que%20o%20feijoeiro%20possa,preju%C3%ADzos%20ao%20rendimento%20do%20feijoeiro>. Acesso em: 20 mai. 2023.

FAO - Food and Agriculture Organization. **As leguminosas podem ajudar a combater as mudanças climáticas, a fome e a obesidade na América Latina e Caribe.** 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/409622/>. Acesso em: 26 mai. 2023.

FERREIRA, F. A.; *et al.* **Mecanismos de ação herbicida.** In: ZAMBOLIM, Laercio et al (ed.). Produtos Fitossanitários: fungicidas, inseticidas, acaricidas e herbicidas. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, cap. 8. p. 349-382, 2008.

FRANS, R.E., R. *et al.* **Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices.** South. Weed Sci. Soc., v.3, p.29-46, 1986.

FUENTES, J. R. *et al.* **Tolerância de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) aos herbicidas alachlor e linuron.** R. Ceres, v. 31, n. 174, p. 136-145, 1984.

GALON, L. *et al.* **Associação de herbicidas para o controle de plantas daninhas em feijão do tipo preto.** Revista Brasileira de Herbicidas, v. 16, n. 4, p. 268-278, 2017. DOI: 10.7824/rbh.v16i4.559. Disponível em: <http://www.rbherbicidas.com.br/index.php/rbh/article/view/559>.

KALSING, A; VIDAL, R. A.; **Seletividade de herbicidas residuais ao feijão-comum durante o período inicial da fase vegetativa.** Planta Daninha, v. 31, n. 2, p. 411-417, 2013. DOI: 10.1590/S0100-83582013000200019. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/99289#:~:text=Avaliou-se%20neste%20trabalho%20a%20seletividade%20de%20herbicidas%20residuais%2C,durant e%20o%20in%C3%ADcio%20da%20fase%20vegetativa%20da%20cultura>.

KILINC, O; GRASSET, R.; REYNAUD, S. **The herbicide acifluorfen: The complete theoretical bases of sunflower tolerance.** Pesticide Biochemistry and Physiology, v. 100, n. 2, p. 193-198, 2011. DOI: 10.1016/J.PESTBP.2011.04.001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048357511000654>.

KOZLOWSKI, L. A. *et al.* **Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do feijoeiro-comum em sistema de semeadura direta.** *Planta Daninha*, v. 20, n. 3, p. 213-220, 2002. DOI: 10.1590/S0100-83582002000200007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/JdWWjSPQTrT5yBSmLhcdjpy/#>.

LAI, R. L. D. L. de. *et al.* **Ecologia de populações e comunidades de Plantas Daninhas.** In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. *Matologia: estudos sobre plantas daninhas*, 1. ed., Jaboticabal: Fábrica da Palavra, p. 38-59, 2021.

LAMEGO, F. P.; *et al.* **Seletividade dos herbicidas S-metolachlor e alachlor para o feijão-carioca.** *Planta Daninha*, v. 29, n. 4, p. 877-883, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/rCNYmzsbVGr4BYSYZkCGKHQ/?format=pdf>.

MACHADO, A. B.; *et al.* **Rendimento de grãos de feijão e nível de dano econômico sob dois períodos de competição com *Euphorbia heterophylla*.** *Planta Daninha*, v. 33, n. 1, p. 41-48, 2015. DOI: 10.1590/S0100-83582015000100005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/X39xpMs7hwCmJhSQ9GQdZPP/>.

MARCHIORETTO, L. de R.; MAGRO, T. D. **Weed control and crop selectivity of post-emergence herbicides in common beans.** *Ciência Rural*, v. 47, n. 3, 2017. DOI: 10.1590/0103-8478cr20160295. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782017000300407&lng=en&tlng=en.

MÁRIO, V. **Uso dos herbicidas pré-emergentes na cultura da soja.** Informativo Técnico Nortox, 1 ed. 2017. Disponível em: <https://portal-api.nortox.com.br/technical-information/file/9dade274-009b-45c5-bc34-d08acabf575d.pdf>.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. **Um sistema simples de interpretação de análise de solo e recomendação de corretivos e fertilizantes.** *Anais FertBio*. Santa Maria-RS, 2002. Disponível em: <https://docplayer.com.br/8337114-Um-sistema-simples-de-interpretacao-de-analise-de-solo-e-recomendacao-de-corretivos-e-fertilizantes-1-roberto-ferreira-de-novais.html> OLIVEIRA, R. S. de. *et al.* **Mecanismos de ação de herbicidas.** In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. *Matologia: estudos sobre plantas daninhas*, 1. ed., Jaboticabal: Fábrica da Palavra, p. 170-204, 2021.

OLIVEIRA JR., R. S. **Introdução ao controle químico.** In: OLIVEIRAJR, R. S. De; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Eds.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. 1. ed. Curitiba: Omnipax, p. 125–139, 2011a.

OLIVEIRA JR., R. S. **Mecanismo de ação de herbicidas.** In: OLIVEIRAJR, R. S. De; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Eds.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. 1. ed. Curitiba: Omnipax, p. 141–191, 2011b.

OLIVEIRA JR., R. S. **Seletividade de Herbicidas para Culturas e Plantas Daninhas.** In: OLIVEIRAJR, R. S. De; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Eds.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. 1. ed. Curitiba: Omnipax, p. 243–261, 2011c.

OLIVEIRA, M. F. de; BRIGHENTI, A. M. (ed.). **Controle de plantas daninhas: métodos físico, mecânico, cultural, biológico e alelopatia.** Brasília, DF: Embrapa, 2018.

OLIVEIRA, M.G. *et al.* **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. 1. ed. Brasília. DF: Embrapa. 2018. 59 p.

PROCÓPIO, S. O. *et al.* **Tolerância de cultivares de feijão ao S-metolachlor em diferentes condições de aplicação**. *Planta Daninha*, v. 19, n. 2, p. 263-271, 2001. DOI: 10.1590/S0100-83582001000200015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pd/a/qpCFMNV6vBLFVSQqmnTZgcQ/#>.

PROCÓPIO, S. de O. *et al.* Seletividade do s-metolachlor a cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 150–157, 2003. DOI: 10.1590/S1413-70542003000100018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542003000100018&lng=pt&tlng=pt.

ROCHA., P. R. R.; BARRETO, G. F.; AUGUSTI., M. L. **Herbicidologia**. In: ALMEIDA, E. I. B.; FERRÃO, G. da E. *Fundamentos de Biologia e Manejo de Plantas Daninhas*. 1. ed. São Luís: EDUFMA, p. 95-117, 2022.

SIKKEMA, P. H. *et al.* **Tolerance of Otebo Bean (*Phaseolus vulgaris*) to New Herbicides in Ontario**. *Weed Technology*, v. 20, n. 4, p. 862–866, 2006. DOI: 10.1614/WT-05-144.1. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/S0890037X00019060/type/journal_article.

SUMITOMO (Sumitomo Chemical do Brasil Representações Ltda). **Zethamaxx®**. 2022. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2022-03/zethamaxx.pdf. Acesso em: 14 jun. 2023.

SYNGENTA (Syngenta Proteção de Cultivos Ltda). **Eddus®**. 2022. Disponível em: https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2023-01/eddus.pdf. Acesso em: 14 jun. 2023.

TAVARES, C. J. *et al.* **Fitossociologia de plantas daninhas na cultura do feijão**. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 8, n. 1, p. 27-32, 2013. DOI: 10.5039/agraria.v8i1a1849. Disponível em: <http://agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v8i1a1849>.

VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Manejo e controle de plantas daninhas na cultura de soja**. Passo Fundo. RS: Embrapa. 2006. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1040338/manejo-e-controle-de-plantas-daninhas>. Acesso em: 03 julho 2023.

VIECELLI, M. **Tolerância de genótipos brasileiros de feijoeiro ao sulfentrazone**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/24890>.

XAVIER, E. *et al.* **Atividade de enzimas antioxidantes em biótipos de *Euphorbia heterophylla* e sua relação com a resistência cruzada a inibidores de ALS e Protox**. *Planta Daninha*, v. 36, p. 1-4, 2018.